

Grünes Licht

Licht, Luft, Freiraum und Gebäudebegrünung im
großvolumigen Passivhauswohnbau

U. Schneider, G. Birnbauer, F. Brakhan, et. al.

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

03/2006

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
oder unter:

Projektfabrik Waldhör
Währingerstraße 121/3, 1180 Wien
Email: versand@projektfabrik.at

Grünes Licht

Licht, Luft, Freiraum und Gebäudebegrünung im
großvolumigen Passivhauswohnbau

Architektin DI Ursula Schneider, DI Gerhard Birnbauer, DI
Frank Brakhan
pos architekten ZT KEG
DI Thomas Zelger
IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und- ökologie
DI Christine Haas
Garten- & Landschaftsplanung
DI Klaus Pokorny
Pokorny Lichtarchitektur
DI Michael Berger
Team GMI – Ingenieure für Energieeffizienz und Komfort

Wien, 31.08.2005

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der zweiten Ausschreibung der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit dem Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie auch in der Schriftenreihe "Nachhaltig Wirtschaften konkret" publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse www.hausderzukunft.at dem Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

0. Kurzfassung Deutsch/Englisch

0.1. Kurzfassung Deutsch

0.1.1. Motivation

Energieeffizienz und Passivhausstandard haben sich im allgemeinen Bewusstsein bereits eine Position erkämpft. Im Sinne der Nachhaltigkeit ist aber nicht nur der wärmetechnische Standard sondern die Bauform ganz allgemein zu überdenken. Was heute im allgemeinen Bewusstsein noch in keiner Weise verankert ist, ist die Tatsache, dass mit der Bauform Einfamilienhaus in Bezug auf den Primärenergieeinsatz pro Person für das Wohnen in Errichtung und Betrieb samt seiner Folgewirkung auf Infrastruktur und Verkehr selbst mit modernstem Standard nur bescheidene Ziele zu erreichen sind.

Im Sanierungsbereich wird der Passivhausstandard auch über kurz oder lang vermehrt Einzug halten. Beim Fenstertausch wird dann mit üblichen Einbaudetails die Belichtung der Räume deutlich reduziert.

Es muss vermieden werden, dass durch die Sanierung bzw. auch im Neubau durch den Einsatz von 3 Scheiben Verglasungen zwar die thermische Behaglichkeit steigt, aber der visuelle Komfort sinkt, dass also die Sanierungslösungen von heute bereits die Sanierungsfälle von morgen beinhalten.

Die thermische Sanierung kann meistens nur einen kleinen Teil des Sanierungsbedarfes abdecken. Funktionale Mängel und Mängel der Wohnqualität wie ein fehlender wohnungseigener Freiraum dürfen dabei nicht aus dem Auge verloren werden.

0.1.2. Inhalt

Im vorliegenden Projekt wird daher erarbeitet

- welche modernen Anforderungen es an die Belichtung von Wohnräumen gibt und wie die Belichtung beim Fenstertausch und im Neubaufall optimiert werden kann,
- wie ein großzügiger wohnungseigener Freiraum ausgebildet sein muss, der hinsichtlich Nutztiefe und Belichtung ohne Widerspruch bleiben soll,
- wie große Häuser professionell und nachhaltig begrünt werden,
- welche Möglichkeiten für eine ökologische Luftfeuchtkonditionierung es gibt, im speziellen welche Auswirkungen Pflanzen auf die Luftfeuchtigkeit haben,
- wie sich das großvolumige Passivhaus im Verhältnis zum Einfamilienpassivhaus energetisch darstellt, welche großen Unterschiede es gibt und welche speziellen Anforderungen an die Passivhausbauweise im Geschosswohnbau entstehen.
- wie das Sanierungskonzept für einen großvolumigen Wohnbau zum Passivhaus aussehen könnte.

0.1.3. Beabsichtigte Ziele

Der Beitrag dieses Projektes soll zum einen darin liegen, die wesentlich höhere energetische Effizienz von Gebäuden großen Volumens zu erklären und im Vergleich darzustellen und zum anderen darin der Bauform Einfamilienhaus eine nachhaltige, interessante und vor allem attraktive Alternative in der dichten städtischen Umgebung gegenüberzustellen.

Die Attraktivität einer Wohnung für Nutzer stark von den Kriterien Helligkeit, privater Freiraum und Qualität des Wohnumfeldes bestimmt.

Wir glauben daher, dass für die Zukunft des Wohnens in sanierten (aber auch in neu zu errichtenden) nachhaltigen Gebäuden diesen Elemente des zeitgemäßen Wohnkomforts ein höherer Stellenwert eingeräumt werden muss, und möchten Lösungen dafür aufzeigen.

0.1.4. Methoden und Daten

Die Grundlagenforschung wurde mit Hilfe eingehender Literaturstudien durchgeführt.

Die U- werte wurden mit dem Programm Archiphysik gerechnet, der Heizwärmebedarf und die Heizlast mit dem Programm PHPP 2004 des Passivhausinstitutes Darmstadt.

Die sonstigen Berechnungen wurden mit dem Programm excel durchgeführt, die Tageslichtsimulationen mit dem Programm relux 2005, die raumklimatischen Untersuchungen wurden mit Hilfe des dynamischen Gebäudesimulationsprogramms Trnsys 16 durchgeführt.

Die 2- und 3-dimensionalen Wärmebrückenberechnungen wurden mit dem Programm waebtu 6.0 durchgeführt und die Lichtmessungen mit einem eigens angefertigten Modell und einem Lutron LX-107 Luxmeter mit der Lichtquellenwahl 1 (= SUN).

Die Angaben zur Bauwerksbegrünung stammen aus der 20 jährigen Erfahrung der Konsultantin und der Zusammenarbeit mit dem Verband für Bauwerksbegrünung.

0.1.5. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

0.1.5.1. Ergebnisse Vergleichsmatrix großes Volumen

Im Kapitel allgemeine und geometrisch Kenndaten von Wohngebäuden in Bezug auf den Energieverbrauch werden die allgemeinen und geometrischen Parameter die den Energieverbrauch eines Gebäudes prädestinieren erklärt und mit Beispielen hinterlegt.

Im Kapitel U-Wert wird gezeigt, wie sich die Dämmstärken der Außenhüllfläche mit steigenden Gebäudeabmessungen verringern können.

Im Kapitel Kompakte Form wird u.a. gezeigt, dass ein stark gegliedertes Einfamilienhaus im Vergleich mit einem sehr großen kompakten Wohnbau pro m² Nutzfläche den 20igfachen Verbrauch an Dämmstoff hat.

Im Kapitel Fenster kann gezeigt werden, dass bei sehr großen kompakten Gebäuden (mit U wert der Wand z.B. 0,25 W/(m²K)) und der Verwendung von großen Scheiben (2,5-3 m²) mit kleinem Rahmenanteil auch auf einer (verschatteten) West und Ostseite die Fenster im Mittel über alle Geschosse energetisch besser bilanzieren als die opake Wand.

Im Kapitel Dämmstärkenoptimierung wurde für die optimale Dämmstoffdicke der Kellerdecke ca 70% der Dachdecke errechnet.

Im Kapitel Heizlast werden für den Spezialfall von Eck und Randwohnungen mit ihrer wesentlich größeren Außenoberfläche Lösungen und Handlungsspielräume aufgezeigt.

Dabei können abgerundete Formen und schlanke Konstruktionsstärken eine Verminderung der Heizlast von jeweils ca. 10 % erzielen.

Die haustechnischen Möglichkeiten zur Lösung der Heizlast in Randwohnungen besteht in der Verwendung eines einfachen wassergeführten Systems mit Heizkörpern über den Zimmertüren. Die Mehrkosten betragen ca.8 -10 € pro m² Wohnnutzfläche.

0.1.5.2. Ergebnisse Tageslichtoptimierung

0.1.5.2.1. Definition eines zeitgemäßen Standards

Prinzipiell ist die generelle Unterteilung der Forderungen aus der DIN 5034 nach Sichtverbindung, Helligkeit, Blendung und Besonnung sinnvoll.

Ausgehend von den derzeitigen Forderungen aus der DIN 5034 sollte folgendes beachtet werden:

- nur die Nettoglasfläche der Bewertung unterziehen.
- Erhöhung der derzeitigen Vorgaben der DIN um einen Faktor 1,5 um die Verminderung des Lichttransmissionswertes von zukünftigen 3fachVerglasungen auszugleichen.

- Anzustreben ist eine maximale Verschattung durch Nachbargebäude von 30° oder ein Verhältnis Abstand/Höhe von 2:1.

Man erhält damit in etwa die Forderung nach einer **Nettoglasfläche** von 25% von der Nutzfläche des Raumes, was bei großen Glasteilungen und teilweisen Fixverglasung einer Rohbaulichkeit von 30% -35% der Nutzfläche des Raumes entspricht.

Einschränkungen aus Verschattung durch Balkone sind gesondert zu bewerten.

Die Festlegung eines erforderlichen Tageslichtquotienten als Bewertungskriterium halten wir zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht für sinnvoll, da Messungen und Simulationen mit verschiedenen Programmen keine ausreichende Übereinstimmung zeigten und der bedeckte Himmel in der Realität zu unterschiedliche Leuchtdichte aufweist um vergleichbare Messungen zu gewährleisten.

0.1.5.2.2. Optimierung der Lichtmenge pro Fenster

Alle im Modell gemessenen Varianten der Leibungsbildung unterscheiden sich wenig, so lange die Leibung weiß gestrichen ist. Daher erscheint es nicht sinnvoll, Lösungen wie zum Beispiel eine Abschrägung der Leibung mit erhöhtem technischen und finanziellen Aufwand umzusetzen.

Den wesentlichsten Einfluss hat jedoch der Glasanteil eines Fensters. Wir zeigen mehrere Varianten wie hier die Einbaudetails optimiert werden können. Während normale Fenstergrößen und Passivhausprofile einen Rahmenanteil von 50 % besitzen, kann mit schlanken Profilen, großen Formaten und Fixverglasungen eine Vergrößerung der Glasfläche von bis zu 60% erzielt werden.

0.1.5.3. Ergebnisse wohnungseigener Freiraum

Im Kapitel Einschränkung der Größe wird die Kontroverse zwischen maximaler Nutztiefe einerseits und minimaler Belichtungseinschränkung dargestellt und eine maximale Einschränkung des Blickfeldes definiert.

Die Verringerung der solaren Gewinne wird im Vergleich mit dem Wohnqualitätsgewinn nachrangig bewertet.

Es wird die Forderung aufgestellt, dass mit Balkon die Belichtungsqualität auf minimal 70% des unverschatteten Raumes absinken soll.

Im darauffolgenden Kapitel werden folgende Maßnahmen untersucht:

Höhersetzen des Balkons auf 40 cm über FOK, Seitliches Versetzen gegenüber dem dahinter liegenden Raum, die Ausbildung von 2 Ebenen, und zweimal höher setzen.

Die Maßnahme Höhersetzen ist nach unserer Meinung die einzig vielversprechende Maßnahme für den kompakten Wohnbau. Sie ermöglicht großzügiges Wohnen im Freien. Die gestellten Anforderungen an die Belichtung werden leicht eingehalten, die Nutztiefe beträgt 1,8M über die gesamte Fassadenbreite. Mit zweimaligem Höhersetzen sind hier sogar noch Steigerungen der Nutztiefe möglich.

Im letzten Kapitel wird der Einfluss der Verschattung durch Nachbargebäude auf das EG untersucht. Betrachtet man die Ergebnisse, wird deutlich, dass eine Kombination aus Nachbarverschattung mit 45° wie in der Bauordnung erlaubt, Balkonverschattung und großer Raumtiefe im Erdgeschoss eindeutig zu untragbaren Belichtungssituationen führt. Eine Verschattung von 30°, d.h. ca. ein Verhältnis von 1: 2 (Höhe zu Breite), sollte nicht überschritten werden.

0.1.5.4. Ergebnisse professionelle Bauwerksbegrünung

0.1.5.4.1. ökologische und gesundheitliche Aspekte

Der Bauwerksbegrünung kommt im Hinblick auf die Reduktion sommerlicher Überwärmung, Regenwasserretention, Schadstoffbindung durch die Wurzeln, Staubbindung durch die Blätter, Bildung von Inselbiotopen ökologischen Wertes, Verbesserung des U Wertes, die Dämpfung von hochfrequenter Strahlung und auf die therapeutischen Möglichkeiten hoher Stellenwert zu.

0.1.5.4.2. ökonomische Aspekte

Dachbegrünungen sind kostenneutral, da der Aufwand für Errichtung und Pflege durch die Minderkosten bei Dämmstoff, Reparaturkosten und die verlängerte Lebensdauer der Abdichtung aufgewogen wird. Dabei sind die Minderkosten der städt. Kläreinrichtungen durch die Wasserretention noch nicht berücksichtigt.

0.1.5.4.3. Fassadenbegrünung, Dachbegrünung

In Vegetationsmodul, Technikmodul und Pflegemodul werden die relevanten Parameter für eine funktionierende professionelle Fassadenbegrünung und Dachbegrünung für größere Gebäude dargestellt.

Hinsichtlich der Direktbegrünung von modernen Gebäudefassaden (mit Selbstklimmern ohne Rankgerüst) liegen heute keine ausreichenden Daten darüber vor, welches Risiko der Durchwurzelung oder Schädigung einer Vollwärmeschutzfassade angenommen werden muss, und ob bei mängelfreier Ausführung überhaupt ein Risiko besteht.

0.1.5.4.4. Bepflanzung wohnungseigener Freiräume

Es werden hier platzsparende Begrünungsvarianten dargestellt, die Sichtschutz, Windschutz und/oder Beschattung gewährleisten.

0.1.5.4.5. Fensterbeschattung

Ost und Westfenster können anstelle eines außen liegenden Sonnenschutzes auch eine temporäre Bepflanzung erhalten, die gleiches leistet und individuell verändert (ausgeschnitten) werden kann. Beispiele für Pflanzen, Pflanzgefäße und Pflege werden angeführt.

0.1.5.4.6. Zeit/Entscheidungsplan

Wichtigste Aussage aus dem Kapitel Bauwerksbegrünung ist, dass vieles kostengünstig machbar ist, wenn rechtzeitig und in Verbindung mit der Architektenplanung Fachplaner für die Bauwerksbegrünung beigezogen werden. In einer Zeit und Entscheidungsmatrix werden die erforderlichen Entscheidungen dem Zeitplan nach Architektenplanungsfortschritt zugeordnet.

0.1.5.5. Ergebnisse Luftfeuchteoptimierung

Mit der Passivhaustechnologie ist nun erstmals eine Technologie entwickelt worden, mit der sowohl den physiologischen Bedürfnissen des Menschen als auch der Schadensfreiheit des Gebäudes entsprochen werden kann, da selbst unter ungünstigsten Bedingungen in Raumecken hinter Möbeln keine Temperaturen unter 15° mehr auftreten.

Eine Luftfeuchtigkeit von 40-60% ist für den Menschen in unserem Klima am optimalsten, wobei im Winter aus physiologischer Sicht eher die Obergrenze, im Sommer in Hinblick auf die Verminderung von Schwüle eher die Untergrenze anstrebenswert wäre.

In den weiteren Kapitel werden die einzelnen inneren Feuchtequellen ausführlich dargestellt, und anhand von 4 statischen Feuchtebilanzen für 1 Wohnung mit unterschiedlichem Nutzungsprofil die Spannweite des Feuchtebedarfes aufgezeigt.

0.1.5.5.1. Feuchteerzeugung mit Pflanzen, Raumsimulation

In diesem Kapitel wurde untersucht, welche Auswirkungen die Verwendung der Pflanze *Cyperus alternifolius* in Individualräumen hat. Es wurden 2 Räume, 2 Stellungen der Pflanzen und 11 unterschiedliche Varianten untersucht. Dabei kann abgelesen werden, dass mit hochfeuchtespendenden Pflanzen sehr gute Ergebnisse erzielt werden können. Die Räume sollten etwas größere Fenster haben, damit die Pflanzen viel Tageslicht erhalten, die Pflanzen sollten im Hochwinter am Fenster stehen, in der Übergangszeit in der Tiefe des Raumes und im Sommer am Balkon. Im Kernwinter muss- will man die Feuchtigkeit um 45 % halten- teilweise zusätzlich beleuchtet werden. Gut ablesbar ist der positive, regulierende Einfluss von feuchteaktiven Oberflächen wie Lehm. Mit diesen können Feuchtespitzen deutlich verringert werden. Für die Zukunft wäre ein System in Kombination mit Feuchtebewahrung optimal, da dies am Energiesparendsten ist.

0.1.5.6. Ergebnisse Sanierungskonzept Pensionistenwohnhaus Penzing

Bei dem Pensionistenwohnhaus Penzing handelt es sich um einen 13-geschossigen Stahlbetonbau plus dreigeschossigem Zubau und Untergeschoss aus 1974 .

0.1.5.6.1. Sanierungsbedarf

Derzeit liegt der Wärmeverbrauch Heizung bei durchschnittlich 167 kWh/m² Jahr.

Der Wohntrakt weist derzeit ein schlechtes A/V Verhältnis auf, da große eingeschnittene Loggien die Hüllfläche stark vergrößern. Die Wohnungen sind zu klein, die Bäder veraltet und nicht barrierefrei, haustechnische Mängel liegen in der Regelung der Heizung mit der keine gleichmäßige Temperaturverteilung gewährleistet werden kann. Der Veranstaltungssaal überwärmt im Sommer stark, auch im Küchenbereich fehlt die Klimatisierung.

0.1.5.6.2. Sanierungskonzept

Die Loggiafläche wird in die beheizte Wohnfläche integriert. Die beheizte Wohnnutzfläche wird so um 26% vergrößert, die Hüllfläche minimiert. Das Verhältnis „Fassadenoberfläche / WNFL“ wird dadurch mehr als halbiert

Die Hüllfläche des Wohntraktes wird um 23,5% verringert. Das A/V-Verhältnis des Wohntraktes beträgt nun 0,18.

Wärmedämmung 30 cm, am Dach 52 cm, neue 3 Scheibenverglasung.

Haustechnisch wurde ein semizentrales Lüftungssystem geschossweise je Stiege ausgewählt, wobei über je zwei Lüftungsgeräte pro Geschoss mit > 80% Wärme- und Feuchterückgewinnung jeweils 10 Wohneinheiten versorgt werden.

Die Wärmeabgabe im Raum erfolgt durch die Wärmefrischlufthbox.

0.1.5.6.3. Balkon mit Fassadenbegrünung

Die neue Balkon- und Pflanzenschicht wird als eigenständige Konstruktion vor das Gebäude gesetzt und nur punktuell mit dem Bestand verbunden.

In 30 cm Abstand von Geländer und von den bei jeder Wohnung angeordneten Pflanztrögen führen schräge Edelstahlseile als Kletterhilfen für die Pflanzen über die 13 Geschosse hohe Fassade. Form und Funktion wurden von Architektin und Freiraumplanerin zur gestalterischen Einheit zusammengesetzt.

0.1.5.6.4. PHPP, zukünftiger Energieverbrauch

Mit den vorgeschlagenen Maßnahmen kann im Wohntrakt trotz der großen, nicht behebbaren Verluste im Bereich des beheizten Kellers Passivhausstandard erreicht werden. Der Heizwärmebedarf berechnet sich auf 12,5 kWh/m²,a.

Für den Servicetrakt ist eine Sanierung zum Passivhaus nicht möglich. Dennoch gelingt es, den Heizwärmebedarf für den gesamten Servicetrakt auf ein Drittel der Ausgangslage, nämlich auf ca. 55 kWh/m² a zu reduzieren.

Berechnet man einen Mittelwert an Heizwärmebedarf für die gesamte Anlage so erreicht man immerhin 20,3 kWh/ m² a. Damit kann der Heizwärmebedarf von über 140 kWh/m²,a auf 15 % dieses Ausgangswertes gesenkt werden.

0.1.5.6.5. Funktionelle Sanierung

Die funktionelle Sanierung beinhaltet primär die Umgestaltung der Servicezone in der Wohnung: Eingang/Vorraum, Bad, Schlafen, Kochen.

Die Barrierefreiheit nach ÖNORM B1600 & B1601 kann im Sanierungskonzept eingehalten werden, die geforderte Nutzflächenvergrößerung beträgt 26%.

Die Lüftungsanlage (mit Wärmerückgewinnung), die im Passivhausbereich aus energetischen Gründen nötig ist, bietet gerade im Seniorenbereich einen enormen Gewinn an Lebensqualität.

0.2. English Abstract

0.2.1. motivation

Energy efficiency and Passivhausstandards have made their way to public awareness already. Dealing with sustainability, not only the standards for the energy efficiency of buildings have to be thought over, but also the building types on the whole.

The fact, that the single family home can only achieve very modest objectives in terms of primary energy per person due to its implications on infrastructure and traffic is still unanchored in public awareness.

Passivhausstandards will sooner or later increasingly find their way into building refurbishment. Renewing the windows with triple glazing using conventional fitting details will definitely reduce day lighting conditions in the rooms.

It has to be avoided, that with using triple glazing in refurbishment as well as in new buildings thermal comfort increases while visual comfort decreases. It has to be avoided, that the refurbishment solutions of today include the refurbishment demands of tomorrow.

Thermal refurbishment can only meet a small part of the refurbishing demand. Functional faults and the lack of modern living quality must not be lost out of sight.

0.2.2. contents

In this research paper you will find answers to the questions

- what the contemporary requests for day lighting standards in living spaces are and how the amount of daylight in the room can be optimised.
- how a private exterior space has to be constructed, so that there should not occur any discrepancy between usable width and illumination of the rooms behind.
- how residential buildings can be planted over sustainably and professionally
- what possibilities there are for the ecological conditioning of the ambient humidity of the air, and what special plants will contribute to this topic
- how the large multi storey passiv haus performs energetically in comparison to a passiv haus single family dwelling, what differences there are to be pointed out, and what special needs there are for passiv haus standard in multi storey housing.
- how the renovation concept for a large multi storey residential building to gain passiv haus standard will look like.

0.2.3. targets

The contribution of this research work is on the one hand to explain the considerably higher energy efficiency of buildings of large volume and to demonstrate the topic by comparison and on the other hand to offer sustainable, interesting and first of all attractive alternatives to the building type of single family houses for dense urban areas.

The attractiveness of a flat is highly determined by the criteria of brightness, private exterior space and the quality of the surrounding quarter.

We are convinced, that these elements of comfortable contemporary living have to be regarded essential (as well in renovation as in building construction) and we want to point out some solutions.

0.2.4. methods and data

Basic research has been supported by internet and literature inquiry and our practical experience as architects.

The U values have been calculated with the simulation tool "archiphysik", the demand of thermal heat and the heating load have been calculated with the tool PHPP 2004 of "Passivhausinstitut Darmstadt".

Other calculations have been carried out with an excel software, the daylighting simulations have been carried out with the tool Relux 2005.

The simulation of the thermal and hygric conditions have been carried out with simulation tool Trnsys 16.

The calculation of the thermal bridges has been carried out with the simulation tool WAEBRU 6.0. The daylight measurements were done with a specially constructed model, and a Lutron LX-107 luxmeter.

All specifications to the topic of planted over buildings result from the over 20 years experience of C. Haas in this field, and from her cooperation with the "Verband für Bauwerksbegrünung"-the Austrian organisation for planted over buildings.

All of the planning has been done in form of integrated planning, with discussion and dialogue between all projects partners right from the beginning.

0.2.5. results and conclusions

0.2.5.1. results: large volume buildings in comparison to single family dwellings

In the chapter 'overall and geometric data' of residential buildings dealing with their energy consumption the overall and geometric parameters, which predetermine the energy consumption of a building are explained and several examples are provided.

In the chapter 'U values' we show, how the insulation material thickness of the building shell may decrease with increasing building dimensions.

In the chapter 'compact form' it will be demonstrated, that a highly structured single family home will take 20 times as much insulation material per m² of floor area as a large volume residential building with equal energetic standard.

In the chapter 'windows' we will show, that in large volume buildings of passiv haus standard (U values of the wall about 0,25 W/(m²°K) and the use of large undivided glass panels with slim frames even shaded east and west orientated windows will average to a better energetic balance than the described insulated wall.

In the chapter 'optimising insulation thickness' an optimised thickness of insulation of the bottom floor slab (all regarding passiv haus standards) has been calculated to be about 70% of the insulation thickness of the roof.

In the chapter 'heating load' we show solutions for apartments in the corner or at the fringe of a large building. Those apartments possess more exterior walls than other apartments and provide therefore more difficult conditions for being heated only by the air.

Rounded forms and slim dimensions of the construction (of the exterior walls) can reduce the heating load of the apartment by 10%.

Solutions for corner apartments by means of building services provide a simple water based heating system above the doors of the rooms. Extra costs for this system are about 8-10 € per m².

0.2.5.2. results: daylight optimisation

0.2.5.2.1. definition of a new contemporary standard

In general the chapter of requests for brightness, glare, sunlight and contact to the outside world in DIN 5034 seems to make sense.

Apart from contemporary requests in the DIN 5034 the following should be regarded:

- Only the net glazed area should be part of the evaluation.
- The recommendations in the DIN should be multiplied by a factor of 1,5. This will take into consideration that in the near future triple glazing with a lower light transmission will become standard for housing.
- Overshadowing by neighbouring buildings should be limited by not exceeding an obstruction angle of more than 30° or a 2:1 ratio of distance and height.

Applying these three additional demands to the DIN, the solution will be a window with a net glazed area of 25% of the usable room area. Using large unpartitioned windows, and partly fixed glazing elements, the area of the wall opening will thereby rise to 30%-35% of the floor area.

Restrictions caused by balconies have to be considered separately.

It does not seem to be sensible to commit to a certain daylight factor as a method of evaluation at this juncture, due to a lack of congruence between measurements in the physical model and the day lighting simulation tools

0.2.5.2.2. optimising the amount of light per window

In the physical model we measured several variations of the window reveal. They all differed little as long as they were painted white. Therefore slanting the reveal e.g. does not seem to be a favoured solution.

It is most important to design the net glazed area as large as possible. We show some solutions how that could be done in passiv haus standard. With normal window dimensions and passiv haus standard the frame takes about 50 % of the window area. By the use of slim frames, unpartitioned windows and partly fixed glazing, the net glazed area can be increased up to 60%.

0.2.5.3. results: dedicated exterior space

Planning a balcony in multi storey housing is always a controversial issue: on the one hand, it should have maximum usable width, on the other hand, it should not reduce the light in the room behind.

The reduction of solar gains we regard of minor priority, compared to the benefits of a large exterior space for the apartment.

We are setting up the demand, that with a balcony the day lighting conditions in the room behind shall not fall shorter than 70% of the unshaded room.

Out of the large amount of various measures we simulated, only one seemed to be promising for multi-storey residential buildings:

To place the balcony 40 cm higher than the floor of the room behind. This measure allows amply exterior space. It matches the day lighting demands, the useable width will be 1,8 M all over the façade. By placing a second level in front still higher the usable width can yet be extended.

In the last chapter we examined the shading influence of an adjacent building on the daylight conditions on ground floor level. 45° of shading, combined with a standard balcony above, provide unbearably bad daylight conditions. The angle of shading should not exceed 30° or a proportion of 2:1 (width to height)

0.2.5.4. results: planting over buildings professionally

0.2.5.4.1. ecological aspects and aspects of health

Planting over buildings is of essential importance relating to the reduction of heat in summer, rainwater retention, the absorption of pollutants and dust, setting up an insular biotope of high ecological value, the reduction of the U value of the construction, the cushioning of high frequency radiation and relating to therapy and health.

0.2.5.4.2. economic aspects

Roof greening is self financing, because the costs for construction and maintaining are counterbalanced by less expenses for insulation material, less expenses for maintenance and repair of the sealing. Reduced costs for city sewage treatment plants due to rainwater retention are not yet included.

0.2.5.4.3. façade planting and roof greening

Relevant parameters for professional planting of large buildings are dealt with in the chapters vegetation, techniques and maintenance.

Dealing with planting facades directly without any twining scaffold there are no sufficient data available to assess the risk of a damage or root penetration of the insulated façade. We do not even have sufficient information, whether there is any risk for these facades at all.

0.2.5.4.4. Planting of dedicated exterior spaces

Several variations of plantings for little space are described, which can provide a screen from view, from wind and from sun.

0.2.5.4.5. Shading windows with plants

Windows directed east or west can be equipped with temporary greening instead of an exterior shading device. Examples for plants, planting boxes and maintenance advises are given.

0.2.5.4.6. time and decision layout

Façade and roof planting is possible at low costs, if specialised consultants are involved early and can work simultaneously with the architects. In the time and decision layout the decisions to be made are related to the planning process of the architect.

0.2.5.5. results: optimising the ambient humidity of the indoor air

Passiv haus standard provides a technology for the first time in history, with which physiologic requirements of man can be met as well as buildings can keep out of claims of structural damages. Even under disadvantageous conditions there will not occur any room temperature below 15° C (even in edges, behind furniture) .

In our climate an ambient humidity of the air of 40%-60% is the optimum for human beings , physiologically speaking we should prefer the upper limit in winter and the lower limit in summer.

In the following chapters indoor humidity sources are described in detail. 4 static balances for a 75 m² flat with a different number of occupants and professions show the range of humidity demand in winter.

0.2.5.5.1. humidity production with plants, thermal and hygric simulation

The impact of the plant *Cyperus alternifolius* on the ambient humidity of a room of 12 m² was object of the investigation.

2 different room, 2 ways of positioning the plants, and 11 variations have been simulated. We can show, that highly transpiring plants, such as *Cyperus alternifolius* will achieve excellent results. The rooms should have slightly larger windows than normally, so that the plants will gain a large amount of daylight even in winter, the plants should be positioned directly in front of the window in winter, and should be moved to the back during march and October and should be transferred to the balcony in summer. To achieve an ambient humidity of 45% in Winter the plants have to be additionally lit with artificial light. Humidity absorbing surfaces like loam or wood have positive, regulating influence on the indoor climate. Humidity peaks can thus be reduced. In the future, a combination of plants with moisture recovery would be the optimum, and most energy efficient.

0.2.5.6. results: reconstruction concept for a residential home for the elderly in Penzing

The residential building in Penzing is a 13 storey reinforced concrete construction with a 3 storey part for kitchen and services, all built in 1974.

0.2.5.6.1. renovation demand

The heat consumption of the building at the moment is about 167 kWh/m²,a on average.

The residential part of the building has a very bad proportion of surface to volume at the moment, due to large cut-in loggias which enlarge the surface drastically. The apartments are too small , the bathrooms are old and lack handicapped accessibility, the room temperature of the apartments differs considerably between ground floor and highest level. The dining and reception hall gets much too warm in summer, there is also no cooling in the kitchen area.

0.2.5.6.2. renovation concept

The loggia is going to be integrated into the living space. The heated living area is thus increased by 26%, the surface is minimised. The proportion of surface to living area is thus cut in half.

The overall surface of the residential part is reduced by 23,5%. The new proportion of surface to volume is 0,18.

Heat insulation: 30 cm at the wall, 52 cm on the roof, new triple glazing with passiv haus standard.

building services: a semi-central ventilation system is regarded best. two ventilation appliances per storey will supply 10 apartments each with fresh air. Heat and moisture recovery >80%.

The heat dissipation in the rooms will be made by the so called "thermal fresh air box"

0.2.5.6.3. balcony and façade planting

The new layer of balconies and façade planting will be positioned independently outside the building, with selective junctures only.

In a distance of 30cm from the railing and the planting boxes diagonal cables of stainless steel cover the 13 storey high façade as a twining scaffold for the plants. Form and function have been put together to a unity of design.

0.2.5.6.4. PHPP and future energy demand

The proposed measures will guarantee passiv haus standard in the residential part, in spite of the high, unrecoverable energy losses in the heated bottom floor. The calculated thermal heat demand is 12,5 kWh/m²,a

In the service area passiv haus standard will not be obtainable. However, the thermal heat demand for the service area may be lowered to 55 kWh/m² a.

On an average the renovated building will achieve a thermal heat demand of 20,3 kWh/m²,a. Thus the thermal heat demand can be cut down from 140 kWh/m²,a to about 15 % of this initial value.

0.2.5.6.5. functional renovation

Functional renovation includes primarily the rearrangement of the service zone in the apartment : entrance, bathroom, kitchenette, sleeping alcove.

Handicapped accessibility according to ÖNORM B 1600 and 1601 can be obtained, the demanded increase of floor area will add up to 26%.

The ventilation system with heat recovery, which is necessary anyway for the purpose of energy saving will offer a decisive gain of living quality, especially in a residential home for the elderly.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Problembeschreibung	1
1.1.1.	Ausgangslage	1
1.1.2.	Forschungs und Handlungsbedarf	1
1.1.3.	Projekthinhalte	1
1.2.	Vorarbeiten zum Thema	2
1.3.	allgemeine Einführung in die Thematik	2
1.3.1.	Vergleichsmatrix großen Volumen	2
1.3.2.	Belichtung	3
1.3.3.	wohnungseigener Freiraum	4
1.3.4.	Bauwerksbegrünung	5
1.3.5.	Luftfeuchtigkeit	6
1.3.6.	Sanierungskonzept	8
1.4.	Aufbau der Arbeit	8
1.5.	Verwendete Methoden und Daten	8
1.5.1.	Wärmebrückensimulation	9
1.5.2.	Dynamische Gebäudesimulation TRNSYS	10
2.	Relevante Daten aus anderen HdZ Projekten	12
2.1.	Technischer Status von Wohnraumlüftungen, HdZ Projekt	12
2.1.1.	Luftfeuchte	12
2.1.2.	Luftgeschwindigkeit	13
2.1.3.	Fensterlüftung	14
2.1.4.	Wärmetechnische Grundlagen zur Wohnraumlüftung	14
2.1.5.	Luftmengen bei Wohnraumlüftungsanlagen	16
2.1.6.	Einfluss der gewählten Lüftungsstrategie auf die Auslegung	19
2.1.7.	Technische Evaluierung von Wohnraumlüftungen	21
2.1.8.	Zusammenfassung der Inhalte, die für "grünes Licht " maßgeblich waren	27
2.2.	Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser, HdZ Projekt	28
2.2.1.	Zusammenfassung der Projektautoren	28
2.2.2.	Nutzerverhalten	28
2.2.3.	Vergleich von Norm und Nutzerverhalten	29
2.2.4.	Untersuchungen zum Nutzungsverhalten	32
2.2.5.	Qualitative Bewertung von Heizungskonzepten	35
2.2.6.	Quantitative Bewertung von Heizungskonzepten	36
2.2.7.	Zusammenfassung der Inhalte, die für "grünes Licht " maßgeblich waren	41
3.	Vergleichsmatrix Großes Volumen	43
3.1.	Ziel und Methode	43
3.2.	Geometrische Kenndaten	43
3.2.1.	Oberflächen-Volumsverhältnis, charakteristische Länge	43
3.3.	Allgemeine Kenndaten von Wohngebäuden	48
3.3.1.	Bauklassen, Gebäudehöhen	48
3.3.2.	Traktiefen	48
3.3.3.	offene und geschlossene Bauweise	49
3.3.4.	Verhältnis beheizte Bruttogeschossfläche zu beheizter Wohnnutzfläche	49
3.3.5.	Verhältnis Aufenthaltsräume zu Nebenräume	50
3.3.6.	Belichtung	51
3.3.7.	Verschattung	52
3.3.8.	Belegung	52
3.4.	Das Standardgebäude, Annahmen	52
3.5.	Zusammensetzung des Heizwärmebedarfes im Standardgebäude großen Volumens	55
3.5.1.	Lüftungswärmeverluste	57

3.5.2.	Solare Gewinne	59
3.5.3.	interne Gewinne.....	59
3.5.4.	Nutzungsgrad der Gewinne	59
3.5.5.	Transmissionswärmeverluste	63
3.6.	Exkurs U- wert: Relation zu Oberflächen-Volumsverhältnis	65
3.7.	Exkurs kompakte Form: Änderung der Dämmstoffdicke	67
3.8.	Exkurs Fenster: Orientierung, Größen, Profile, Verschattung	68
3.8.1.	Orientierung	68
3.8.2.	Größen, Rahmenanteil	69
3.8.3.	Verschattung.....	71
3.9.	Exkurs Dämmstärke: Optimierung für Dach und Keller	72
3.10.	Exkurs Wärmebrücken:	74
3.11.	Heizlast	76
3.11.1.	theoretische Heizlast des Standardgebäudes	77
3.11.2.	Ortung der Problemkreise.....	78
3.11.3.	Handlungsspielraum Heizlast /Wärmeträger Luft	81
3.11.4.	Optimierung der Transmissionsverluste in Randwohnungen	88
3.11.5.	Haustechnische Möglichkeiten	96
3.12.	Bewertung der Problemlösungen	99
4.	Belichtung/ Komforthandbuch Teil 1	101
4.1.	Grundlagen	101
4.1.1.	Gesetzliche Grundlagen	101
4.1.2.	Normen	102
4.1.3.	Gebäudebewertungstool Total Quality, TQ	104
4.1.4.	Vergleich der Vorschriften und Empfehlungen	106
4.1.5.	Wirkungen des Tageslichtes auf den Menschen	107
4.1.6.	Einflüsse auf den Belichtungskomfort in Wohnräumen:	109
4.2.	Bewertung der Gesetzeslage.....	110
4.3.	Versuch einer Definition:.....	110
4.3.1.	zeitgemäßer Belichtungsstandard in Wohnräumen	110
4.4.	Detaillierte Untersuchungen zum Belichtungskomfort	112
4.4.1.	Der TQ in Messung und Simulation, Übereinstimmung gescheitert	113
4.4.2.	Untersuchung zum Fenster, Optimierung der Lichtausbeute/m ²	117
4.4.3.	Messungen zum Fenster, Optimierung der Leibung.....	124
4.4.4.	Detaillierte Simulationen zum Raum, vergleichende Tageslichtbewertung für ein 12m ² Zimmer	134
5.	wohnungseigener Freiraum/ Komforthandb. Teil 2	168
5.1.	wozu ?.....	168
5.1.1.	wider die Zersiedelung.....	168
5.1.2.	Balkon contra Garten.....	168
5.1.3.	physiologische Aspekte	169
5.2.	Grundlagen: Tätigkeiten und Platzbedarf	169
5.2.1.	Platzbedarf.....	169
5.3.	Einschränkung der Größe.....	170
5.3.1.	Einschränkung des Blickfeldes	170
5.3.2.	Reduktion von Besonnung und Strahlungsgewinnen	173
5.3.3.	Einschränkung der Belichtung	176
5.4.	Lichtsimulationen für Wohnräume unter Balkonen	177
5.4.1.	Grundannahmen	177
5.4.2.	Unterschied zwischen Simulation und Messung:	177
5.4.3.	Darstellung der Ergebnisse	178
5.4.4.	Der Istzustand als Ausgangslage	179
5.4.5.	angestrebte Werte für den Innenraum	186
5.4.6.	optimierte Lösungen	187
5.5.	Städtebauliche und typologische Konsequenzen	219
5.5.1.	Veränderte Raumgeometrie des Wohnraumes	219

5.5.2.	Einfluss der Verschattung durch ein Nachbargebäude auf die Belichtung ...	222
5.5.3.	Exkurs: Einfluss der Verschattung durch ein Nachbargebäude im Erdgeschoss - Varianten	232
5.5.4.	Frage nach der maximalen Höhe des Nachbargebäudes bei dem die Belichtungsqualität noch in einem akzeptablen Rahmen bleibt	238
6.	professionelle Bauwerksbegrünung	241
6.1.	Ökologische Aspekte der Bauwerksbegrünung	242
6.1.1.	Verbesserung des Mikroklimas durch Verdunstung und Beschattung	242
6.1.2.	Aktive Staubbindung durch die Blätter und Reduktion von Schadstoffen	244
6.1.3.	Bauwerksbegrünung als Lebensraum für verschiedenste Tiere	245
6.1.4.	Zusätzliche Wärmedämmung des Gebäudes durch Substratschichten und Biomasse	247
6.1.5.	Wasserrückhaltung von Bauwerksbegrünungen	248
6.2.	Ökonomische Aspekte der Bauwerksbegrünung	249
6.2.1.	Wirtschaftlichkeit von begrünten Dächern	249
6.2.2.	Werbeeffekt von Bauwerksbegrünungen	250
6.3.	Psychologische und therapeutische Aspekte	251
6.3.1.	Schallreduktion durch Bauwerksbegrünungen	251
6.3.2.	Dachbegrünung und hochfrequente Strahlung	251
6.3.3.	Balkonbegrünung und Dachterrassen als Anreiz zu Bewegung an der frischen Luft	251
6.3.4.	Bauwerksbegrünung und Gartentherapie	253
6.3.5.	Optische Wirkungen von Gebäudebegrünung auf Gesundheit und Wohlbefinden.	254
6.3.6.	Begrünung als Werbemaßnahme	256
6.4.	Fassadenbegrünung	256
6.4.1.	Vegetationsmodul	258
6.4.2.	Technikmodul	261
6.4.3.	Pflegemodul	266
6.5.	Dachbegrünung	267
6.5.1.	Vegetationsmodul	268
6.5.2.	Technikmodul	274
6.5.3.	Pflegemodul	279
6.6.	Bepflanzung der wohnungseigenen Freiräume	280
6.6.1.	Screen	281
6.6.2.	Solitär	283
6.6.3.	Blüte, Duft und Geschmack	285
6.7.	Fensterbeschattung mit temporärer Begrünung	287
6.7.1.	Problemstellung und Ziel	287
6.7.2.	Pflanzgefäße, Rankgerüst, Befestigung	289
6.8.	Zeit/Entscheidungsplan, Pflanzlisten	290
7.	Luftfeuchtigkeit/ Komforthandbuch Teil 3	291
7.1.	Grundbegriffe, generelle Zusammenhänge	291
7.1.1.	physikalische Grundlagen	291
7.1.2.	Grenzwerte für die Luftfeuchtigkeit in Wohnräumen	294
7.1.3.	Bauphysikalische Grundlagen	298
7.2.	Raumluft im Spannungsfeld zu feucht, zu trocken	308
7.2.1.	Welche Einflussfaktoren auf die Raumluftfeuchtigkeit gibt es?	308
7.2.2.	Interne Feuchtequellen, Werte	310
7.3.	Feuchtemanagement in der Passivwohnung	322
7.3.1.	Statische Feuchtebilanz in der Passivwohnung	322
7.3.2.	Feuchtebewahrung	328
7.3.3.	Feuchteerzeugung mit Pflanzen, Raumsimulation	331
8.	Sanierungskonzept	348
8.1.	Objektsuche	348
8.1.1.	angesprochene Bauträger	349

8.1.2.	Objekt Pensionistenwohnhaus Penzing	356
8.2.	Pensionistenwohnhaus Penzing, Objektanalyse	359
8.2.1.	Datenerhebung	359
8.2.2.	Sanierungsbedarf und Sanierungswunsch	362
8.3.	Sanierungskonzept	369
8.3.1.	Energetische Sanierung	369
8.3.2.	Funktionelle Sanierung	406
8.3.3.	Bewertung	411
9.	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	412
9.1.	Ergebnisse Vergleichsmatrix großes Volumen	412
9.1.1.	allgemeine und geometrisch Kenndaten von Wohngebäuden in Bezug auf den Energieverbrauch	412
9.1.2.	Exkurs U Wert	413
9.1.3.	Exkurs kompakte Form	413
9.1.4.	Exkurs Fenster	413
9.1.5.	Exkurs Dämmstärkenoptimierung	414
9.1.6.	Problem Heizlast	414
9.2.	Ergebnisse Tageslichtoptimierung	416
9.2.1.	Einflüsse auf den Belichtungskomfort in Wohnräumen	416
9.2.2.	Versuch einer Definition: zeitgemäßer Belichtungsstandard in Wohnräumen	417
9.2.3.	Vergleiche zwischen Messungen und Simulationen	418
9.2.4.	Optimierung der Glasfläche/ m ² Fenster	418
9.2.5.	Optimierung der Leibung	419
9.2.6.	Vergleichende Tageslichtbewertung für ein 12 m ² Zimmer in der Simulation	419
9.2.7.	Lösungen für Wohnräume mit unzureichender Tageslichtversorgung	420
9.2.8.	Conclusio Fenster	420
9.3.	Ergebnisse wohnungseigener Freiraum	420
9.3.1.	wozu?	420
9.3.2.	Einschränkung der Größe des Balkones	420
9.3.3.	Reduktion von Besonnung und Strahlungsgewinnen	421
9.3.4.	Einschränkung der Belichtung der Wohnung darunter	421
9.3.5.	Lichtsimation für Wohnräume unter Balkonen	421
9.4.	Ergebnisse professionelle Bauwerksbegrünung	423
9.4.1.	ökologische Aspekte	423
9.4.2.	Ökonomische Aspekte	423
9.4.3.	Gesundheitliche Aspekte	424
9.4.4.	Fassadenbegrünung	424
9.4.5.	Dachbegrünung	425
9.4.6.	Bepflanzung der wohnungseigenen Freiräume	426
9.4.7.	Fensterbeschattung mit temporärer Begrünung	426
9.4.8.	Zeit/Entscheidungsplan	426
9.5.	Ergebnisse Luftfeuchteoptimierung	427
9.5.1.	Grundbegriffe, generelle Zusammenhänge	427
9.5.2.	Raumluft im Spannungsfeld zu feucht, zu trocken	428
9.5.3.	Feuchtemanagement in der Passivwohnung	429
9.6.	Ergebnisse Sanierungskonzept Pensionistenwohnhaus Penzing	430
9.6.1.	Objektanalyse	430
10.	Ausblick	435
11.	Weiterführende Literatur	436
12.	Anhang	444

1. Einleitung

1.1. Problembeschreibung

Es soll der großvolumigen Wohnbau als Passivhaus sowohl als Neubau als auch als Sanierungsobjekt unter spezieller Behandlung der Themenbereiche Licht, Luftfeuchtigkeit, wohnungseigener Freiraum und Bauwerksbegrünung betrachtet werden, und darauf aufbauend für ein konkretes großes Wohnobjekt ein Sanierungskonzept zum Passivhaus erarbeitet werden.

1.1.1. Ausgangslage

Obwohl man sowohl in der Wohnhausneubau- als auch in der Wohnhaussanierungspraxis von der Errichtung eines Passivhauses oder der Sanierung zum Passivhaus in der Regel weit entfernt ist, kann der Grund hierfür nicht in der mangelnden technischen Machbarkeit gesucht werden.

Und obwohl der Großteil der Menschen in Österreich den Komfort warmer Innenoberflächen, zugfreier, kondensatfreier, warmer Fenster sowie den großen Komfort einer kontinuierlichen und vor allem ausreichenden Versorgung mit vorgewärmter Frischluft nicht aus eigener Wohnerfahrung kennt, sind die hierfür erforderlichen technischen Komponenten und Bauteile in entsprechender Qualität am Markt vorhanden.

Der Wunsch nach dem Einfamilienhaus ist in weiten Teilen der Bevölkerung ungebrochen, raumplanerische und ökologische Konsequenzen dieses Wunsches sowie attraktive Alternativen dazu sind kaum bekannt.

1.1.2. Forschungs- und Handlungsbedarf

Da ein wesentlicher Faktor der Nachhaltigkeit des Bauens darin liegt, Zersiedlung und Ressourcenverschwendung durch Einfamilienhäuser und Zweitwohnsitze einzudämmen, soll der Beitrag dieses Projektes zum einen darin liegen, die wesentlich höhere energetische Effizienz von Gebäuden großen Volumens zu erklären und im Vergleich darzustellen und zum anderen darin der Bauform Einfamilienhaus eine nachhaltige, interessante und vor allem attraktive Alternative in der dichten städtischen Umgebung gegenüberzustellen.

Was aber ist attraktiv?

Die Attraktivität einer Wohnung für Nutzer wird nach neuesten Umfragen stark von den Kriterien Helligkeit, privater Freiraum und Qualität des Wohnumfeldes bestimmt.

Wir glauben daher, dass für die Zukunft des Wohnens in sanierten (aber auch in neu zu errichtenden) Gebäuden im Sinne des Leitprinzips der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung diese Elemente des zeitgemäßen Wohnkomforts genauer beleuchtet werden müssen.

1.1.3. Projektinhalt

Im vorliegenden Projekt wird daher erarbeitet

- welche modernen Anforderungen es an die Belichtung von Wohnräumen gibt und wie die Belichtung beim Fenstertausch und im Neubaufall optimiert werden kann,
- wie ein großzügiger wohnungseigener Freiraum ausgebildet sein muss, der hinsichtlich Nutztiefe und Belichtung ohne Widerspruch bleiben soll,
- wie große Häuser professionell und nachhaltig begrünt werden,
- welche Möglichkeiten für eine ökologische Luftfeuchtkonditionierung es gibt, im speziellen welche Auswirkungen Pflanzen auf die Luftfeuchtigkeit haben,

- wie sich das großvolumige Passivhaus im Verhältnis zum Einfamilienpassivhaus energetisch darstellt, welche großen Unterschiede es gibt und welche speziellen Anforderungen an die Passivhausbauweise im Geschosswohnbau entstehen.

1.2. Vorarbeiten zum Thema

Neben der Literatur, die im Literaturverzeichnis zur Vertiefung angeführt ist, konnten folgende Vorarbeiten zum Thema ausgemacht und verwendet werden:

Haus der Zukunft Projekte der vergangenen 5 Jahre:

aus folgenden HdZ Projekte konnten die Daten als Ausgangsbasis für "grünes Licht" verwendet werden:

1. Techn. Status von Wohnraumlüftungsanlagen- in diesem Projekt zeigt sich deutlich der mechanistische Ansatz der derzeitigen Bewertung

2. themenwohnen musik hier ging es um Luftfeuchtebewahrung im Wohnbau-Neubau, Luftmengenverschiebungen durch Spezialanforderungen in der Wohnung

3. sunny research, nachhaltiges Gebäude- und Energiekonzept für ein modernes Büro- und Gewerbegebäude- Anwendung von Pflanzen für die Luftfeuchtigkeit im Bürobau

4. Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser, hier wurden diverse Grundlagen übersichtlich aufbereitet und Nutzerbefragungen durchgeführt

5. Passivhaustechnologie im sozialen Wohnbau, ein Projekt, das sich präzise mit den Kosten der Passivhaustechnologie im sozialen Wohnbau auseinandersetzt und wertvolle Entwicklungen und Berechnungen zum Thema Wärmebrücken enthält.

6. altes Haus, ein Projekt in dem es um barrierefreies Wohnen ging und das für das Sanierungskonzept (ein Wohnhaus für Senioren) wertvolle Daten lieferte.

1.3. allgemeine Einführung in die Thematik

1.3.1. Vergleichsmatrix großen Volumen

Passivhäuser begannen als Einfamilienhäuser und wurden als kleinere und mittlere Mehrfamilienhäuser weiterentwickelt. Aus diesen Volumina stammen auch die Erfahrungen und Aussagen in Bezug auf die Gebäudehülle(z.B. das Dogma: U kleiner als $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Viele der anstehenden Sanierungsaufgaben betreffen aber den großvolumigen Wohnbau, teilweise sogar in der geschlossenen Bauweise, was die Ausgangslage noch einmal verändert.

Klar ist, dass zwischen dem Einfamilienhaus und dem großvolumigen Wohnbau große Unterschiede bestehen, und dass diese Tatsachen teilweise noch nicht ausreichend im Bewusstsein der Planer verankert sind.

Ein Einfamilienhaus mit 115 m^2 Wnfl. weist z.B. eine Außenoberfläche (=Transmissionswärmeverlustfläche) von 410 m^2 auf (330 m^2 gegen Außenluft, 80 m^2 gegen Keller). Im Unterschied dazu weist eine Wohnung gleicher Größe in Mittellage in einem großen Wohnbau z.B. nur 50 m^2 Außenoberfläche auf, das sind nicht einmal 15 %. Eine Wohnung in Randlage allerdings bereits wieder ca. 300 m^2 , also die 6-fache Außenoberfläche. Die Unterschiede sind nicht nur in diesem Bereich enorm, und Lösungen zur Bewältigung müssen aufgezeigt werden.

Es sollte daher eine Vergleichsmatrix erstellt werden, die anhand von Typenbeispielen aus dem großvolumigen Wohnbau die entsprechenden Verhältnisse von Nutzfläche, Volumen und Oberfläche im Vergleich zum EF-Haus und der Reihenhausbauweise dokumentiert und Größenordnungen greifbar werden lässt.

Die Bereiche, in denen sich Gebäude großen und kleinen Volumens voneinander unterscheiden sollten aufgearbeitet und dargestellt werden.

Definition der relevanten Parameter

Außenoberfläche, Nutzfläche, Heizleistung, Heizwärmebedarf

Beispielhafte Berechnung des Einflusses der einzelnen Bauteile auf das Gesamtergebnis für das kleine, mittlere und große Volumen

Beispielhafte Berechnung von Mittel und Randwohnungen, Problemerkennung

Anhand dieser Matrix sollte dann in weiterer Folge untersucht werden, wie mit diesen Ungleichheiten sinnvoll umgegangen werden.

Weiters sollte geklärt werden, welche Strategien oder Bauteile im großvolumigen Wohnbau im Verhältnis zur derzeitigen Passivhausbauweise an Bedeutung gewinnen werden.

1.3.2. Belichtung

Bei modernen Gebäuden ohne Anspruch auf geringen Energieverbrauch dominieren heute großzügige Glasflächen auf mehreren Seiten und lichtdurchflutete Räume.

Die Vorstellung von hellen, großzügigen Wohnräumen entspricht eindeutig modernen Wohnbedürfnissen ebenso wie den neuesten medizinischen Erkenntnissen für die Wohnqualität (s. z.B. Lichttherapien gegen die Winterdepression).

Im Gegensatz dazu weisen sowohl Bestandsobjekte als auch Neubauprojekte im Wohnbau oft Fensterflächen auf, die nicht weit über der behördlich geforderten Mindestbelichtung liegen. Diese behördlich geforderte Mindestbelichtung stimmt aber mit modernen Wohnbedürfnissen keinesfalls mehr überein.

Darüber hinaus sind im Wohnbau derzeit für die Belichtung/Beleuchtung kaum Qualitätsstandards definiert. Das im Bürobau angewandte Maß der horizontalen Beleuchtungsstärke ist im Wohnbau nicht von eindeutiger Relevanz.

Verschärfend kommt dazu, dass in Zukunft vermehrt 3-Scheiben Verglasungen zum Einsatz kommen werden, die einen geringeren Lichtdurchgangskoeffizienten besitzen und noch weniger Licht in den Raum gelangen lassen.

Im Sanierungsbereich wird der Passivhausstandard auch über kurz oder lang vermehrt Einzug halten. Wenn hier keine Optimierung stattfindet bedeutet der Fenstertausch und das Einsetzen von Passivhausfenstern mit gängigen Einbaudetails eine weitere starke Reduktion der Belichtung.

Dies 1. durch die Verkleinerung des Fensters (der Glasfläche) infolge des nachträglichen Einbaus, 2. durch eine Verkleinerung der Glasfläche durch dickere Rahmenprofile, 3. durch eine Minderung des TL und des g-Wertes infolge der 3-Scheiben Verglasung, und 4. durch die höhere Leibungstiefe infolge der großen Dämmstärke.

Die Belichtung eines Raumes wird normalerweise nur im Vergleich mit der erforderlichen Mindestbelichtung lt. Bauordnung geprüft. Hier werden die vorab genannten Punkte 2 bis 4 aber nicht bewertet, im Sanierungsfall gibt es sogar überhaupt keine behördliche Überprüfung.

Es muss vermieden werden, dass durch die Sanierung bzw. auch im Neubau durch den Einsatz von 3-Scheiben Verglasungen zwar die thermische Behaglichkeit steigt, aber der visuelle Komfort sinkt. Es muss weiters dringend vermieden werden, dass die Sanierungslösungen von heute bereits die Sanierungsfälle von morgen beinhalten.

Daher soll im vorliegenden Projekt erarbeitet werden, wie Standards für die Belichtung im Wohnbau definiert werden können, weiters sollen kreative, kostengünstige Detaillösungen gesucht und schließlich an einem gebauten Objekt in der Sanierung umgesetzt werden.

Es sollte daher eine Untersuchung durchgeführt werden, welche Menge an Tageslicht in Aufenthaltsräumen für die Gesundheit des Menschen empfehlenswert ist, ob und wie untere Grenzwerte definiert werden können.

Es sollte weiters eine vergleichende Untersuchung und Messung im zu sanierenden Objekt oder in typischen Vergleichsobjekten erfolgen, welche Beleuchtungsstärken, welche Tageslichtquotienten in exemplarischen Aufenthaltsräumen vorherrschen, abhängig von der Fenstergröße, der Himmelsrichtung, der Lage im Gebäude (EG oder 8.OG) und der Verschattung durch Nachbargebäude.

Aufbauend auf diese Erkenntnisse sollte mittels Simulation an mehreren Beispielen überprüft werden, welche Verschlechterung der Tageslichtverhältnisse sich im Sanierungsfall nach Passivhausstandard ergeben könnte, bzw. welche Parameter für eine optimale Belichtung zu beachten sind..

In mehreren Schritten sollte eine Standardlösung für den lichttechnisch optimierten Einbau eines Passivhausfensters erarbeitet werden.

Folgende Parameter sollten untersucht werden:

1. Optimierung der Größe

Durch sorgfältige Planung des Einbaudetails und des Fensterprofils kann die Glaslicht optimiert werden.

2. Optimierung der Leibung

Hier sollte rechnerisch festgestellt und im Modell gemessen werden, welchen Einfluss auf die Tageslichtverhältnisse im Raum unterschiedliche Leibungsausbildungen und Materialien haben.

3. Vergrößerung der Rohbauöffnung

Bei Räumen, in denen die Belichtungsverhältnisse auch derzeit schon ungenügend sind, muss an eine Vergrößerung der Rohbauöffnung gedacht werden.

In der Breite ist dies statisch nur mit großem Aufwand möglich, während zumeist relativ kostengünstig die Brüstung abgebrochen und ein sogenanntes "französisches Fenster" hergestellt werden kann. Dies umso eher, da bei der Passivhausqualität der hier angebrachte Heizkörper entfernt werden kann.

Obwohl die Lage der vergrößerten Öffnung (im unteren Bereich der Wand) für die Belichtung des Raumes auf den ersten Blick nicht optimal erscheint, ist der subjektive Helligkeitserfolg doch sehr deutlich.

Auch dieser Ansatz sollte rechnerisch und im Modell bewertet werden.

4. Kreativlösung

Zuletzt sollte unter dem Aspekt der Lichtoptimierung und der architektonischen Qualität eine Kreativlösung gesucht werden, die von einer vorhandenen Öffnung ausgeht, die Fensterfläche aber seitlich und oben gegenüber dem Rohbauloch vergrößert und durch eine geänderte Teilung und den Einsatz von Nurglas, Fix und öffnenbaren Elementen die Belichtung des Raumes verbessert.

1.3.3. wohnungseigener Freiraum

Auf der Prioritätenliste für den Kauf oder die Miete einer Wohnung liegt das Vorhandensein eines wohnungseigenen Freiraumes (Balkon, Terrasse) ganz oben.

Wenn der Geschosswohnbau attraktiv sein und eine echte Alternative zum Einfamilienhaus darstellen soll, so ist der wohnungseigene Freiraum ein essentieller Bestandteil, eigentlich eine *conditio sine qua non*.

Daraus folgt, dass die Beschäftigung mit diesem Element einen wesentlichen Baustein auf dem Weg in eine nachhaltig gebaute Zukunft darstellt.

Für Wohnungen in den mittleren Geschossen eines Geschosswohnbaues existiert gerade hier aber seit jeher ein großes Dilemma.

Einerseits sollten Balkone eigentlich min. 2 m tief sein, um eine adäquate Nutzung zu erlauben, andererseits sollten sie nicht mehr als 1 m tief sein, um die Belichtung und Besonnung des darunter liegenden Geschosses nicht wesentlich einzuschränken. Bis heute wird dieses Dilemma bei Neubauten und in Sanierungsvorhaben zumeist beiseite geschoben. Schlecht nutzbare Balkone, dunkle Wohnzimmer oder thermisch ungünstige Einschnitte sind die Folge.

Anhand von zahlreichen Simulationen unterschiedlicher Beispiele sollte gezeigt werden wie in der Passivhausbauweise Wohnungen um Balkone erweitert werden, und zwar neben der technisch korrekten Detaillausbildung- deren Parameter ja bekannt sind- vor allem so, dass Nutzbarkeit, Belichtung und Besonnung keine Widersprüche mehr darstellen.

Die bearbeiteten Lösungen sollten typologischen Charakter haben und einen generellen Vorschlag zur sinnvollen Ausbildung von Balkonen im Sinne der Belichtungs- und Nutzungsoptimierung im Geschosswohnbau darstellen.

Folgende typologischen Möglichkeiten sollten bearbeitet sowie licht- und nutzungstechnisch bewertet werden:

1. Höhersetzen:

Dabei handelt es sich um einen Balkon, der bei ähnlicher Belichtung eine größere Nutztiefe aufweisen können soll. Dies wird durch Höhersetzen des Balkons um ca. 40 cm erreicht. Es entsteht dadurch im Inneren eine durchlaufende Sitzbank vor dem Fenster, die als optische Verbindung dient und den Balkon bei geöffneter Fensterwand noch zusätzlich erweitern kann.

2. Seitliches Versetzen:

Eine weitere Möglichkeit stellt das seitliche Versetzen eines Balkons dar. Hier sollte untersucht werden, wie weit ein Balkon versetzt werden muss um sinnvolle Ergebnisse zu erzielen.

3. Minimale Fläche

Um die Nutzbarkeit eines Balkons zu bewerten sind unterschiedliche Tätigkeiten bestimmend: Man möchte z. b. draußen essen, Pflanzen ziehen, Wäsche trocknen, in der Sonne liegen können u.a.m.

Da das Essen die einzige dieser Tätigkeiten ist, die eine große Nutztiefe erfordert, kann ein Balkon mit 1m Tiefe in großen Teilen ausreichen. Nur in einem minimalen Bereich (möglichst versetzt zum Wohnraum) wird die erforderliche Nutztiefe für einen Esstisch vorgesehen. Die Großzügigkeit des Balkons resultiert dann aus seiner Längenerstreckung und nicht aus seiner Tiefe.

4. Zwei Ebenen

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Balkon in zwei Ebenen aufzulösen, quasi mit Podesten zu arbeiten, und die untere (belichtungseinschränkende) Fläche möglichst gering zu halten.

Eine große Zahl an Beispielen wurde erarbeitet und in der Simulation bewertet.

1.3.4. Bauwerksbegrünung

Zu der ganzheitlichen Sanierung eines Wohnkomplexes gehört zu einem nicht unwesentlichen Teil die Qualität der Umgebung. Stadtquartiere können in dieser Hinsicht großen soziale, kulturelle, infrastrukturelle Vielfalt bieten, dem Mikroklima wurde hierbei seit langer Zeit kaum Beachtung geschenkt. Staubige, windige Straßenzüge, starke sommerliche Erwärmung, mangelnde Retentionsfähigkeit bei Niederschlägen sind der Normalzustand.

Hier geht es vor allem im dicht verbauten Gebiet um großflächige Begrünungen, ein starkes grünes Pendant zum gebauten Raum.

Die positive Wirkung wohnungsnaher Freiräume auf das Mikroklima hängt zu einem beträchtlichen Teil von ihrer Vegetationsausstattung ab.

Pflanzen sind Lebewesen, keine standardisierbaren Baustoffe oder Teile der Haustechnik. Sie können in einer Symbiose mit den Bewohnern eines Hauses leben, in der Menschen und Pflanzen voneinander profitieren, aber auch mit ihnen in Konkurrenz um Licht und Raum treten.

Für die großflächige Begrünung von Gebäuden ist es daher unbedingt erforderlich, kalkulierbare Größenordnungen und Planungsgrundlagen für die Gebäudevegetation und ihre langfristige Entwicklung zur Verfügung zu haben. In diesen wird die Funktionsweise der Begrünung unabhängig von der individuellen Einzelinitiative auf professioneller Basis dargestellt. Nur mit solchen Unterlagen können Bauträger diese bisher private Domäne für ihre Gebäude erschließen.

In dieser Studie sollten aus der Fülle vorhandener Erfahrungen und Daten über Bauwerksbegrünung die für den großvolumigen Geschosswohnbau relevanten Faktoren ausgewählt, übersichtlich dargestellt und gegebenenfalls ergänzt werden.

Für ein konkretes Objekt sollten beispielhaft eine großflächige Bauwerksbegrünung ausgearbeitet werden.

Folgende Themen sollten im einzelnen behandelt werden:

Fassadenbegrünung

Dachbegrünung

ein Vorschlag zur Bepflanzung der wohnungseigenen Freiräume

Fensterbeschattung mit temporärer Begrünung.

Dabei sollten jeweils folgende Module ausgearbeitet werden:

Vegetationsmodul

Technikmodul

Pflegemodul

Zeit- und Entscheidungsplan

Nach unserer Erfahrung stellt ein Zeitplan den wesentlichsten Faktor für den Erfolg einer Begrünung dar. Zumeist werden die vorab geschilderten Module nicht rechtzeitig geplant. Eine späte oder nachträgliche Einbindung ist meist zum Scheitern verurteilt, da ursprünglich einfache aber wesentliche Maßnahmen nicht mehr berücksichtigt werden können.

Um alle Module einer erfolgreichen Bauwerksbegrünung ausreichend planen zu können, muss diese rechtzeitig in den Planungsablauf integriert werden.

In der Studie sollte daher ein Zeit- und Entscheidungsplan ausgearbeitet werden, der die notwendigen Entscheidungen einzelnen Planungsphasen zuordnet.

1.3.5. Luftfeuchtigkeit

In Passivhäusern erfüllt die Lüftungsanlage einen dreifachen Zweck: Sie dient 1. als einziges Wärmeträgermedium, 2. stellt sie die erforderliche Frischluft zur Verfügung und 3. sorgt sie für die Abfuhr von Luftschadstoffen. Selbstverständlich stellt dies gegenüber ungelüfteten Wohnungen einen sehr großen Fortschritt dar

Gegenüber dem momentanen State of the arts in der Passivhausdiskussion sollte ein Problemkreis in diesem Projekt noch einmal eingehend aufbereitet werden, dem sich die allgemeine Diskussion derzeit hartnäckig und teilweise mit mangelhafter wissenschaftlicher Genauigkeit verschließt:

Die Luftfeuchtigkeit, die nach wie vor als Luftschadstoff behandelt und so rasch wie möglich abgeführt wird.

Wir halten es für unabdingbar in der Zukunft Systeme zu etablieren, die ein fundiertes (und nicht zufälliges) Feuchtemanagement in der Wohnung betreiben

Aufbauend auf bisherigen Erkenntnissen zu diesem Thema (Siehe Ergebnisse HdZ Forschungsprojekt "themenwohnen musik") soll eine differenzierte Betrachtung der Luftfeuchteconditionierung durchgeführt werden.

Auf dem Gebiet der Luftfeuchtigkeit gibt es sowohl bei Planern als auch bei Nutzern ein großes Wissensdefizit. Einfache physikalische Zusammenhänge sind wenig bekannt, Unterlagen über die tatsächliche Leistung von Pflanzen nicht zugänglich.

Die Probleme mit Schimmelbildungen der vergangenen Jahrzehnte sollen nicht dazu führen, dass hohe Lufttrockenheit den Standardproblemfall in 20 Jahren darstellt.

Im Projekt soll daher eine Nutzer/Planerfibel mit dem Thema Luftfeuchtigkeit (physikalische Grundbegriffe, Physiologische Optimalwerte, wo ist es wann warum zu trocken/feucht? technische Angaben und Beispiele zum Einsatz von Pflanzen zur Luftbefeuchtung) erstellt werden um Planern wie Nutzern einen kontrollierten Umgang mit der Feuchtigkeit zu ermöglichen.

Wie dies in mehreren Messungen zum Thema Luftfeuchtigkeit festgestellt wurde [z.B. "Techn. Status von Wohnraumlüftungsanlagen", HdZ Projekt] und auch rechnerisch einfach nachweisbar ist, treten in Räumen mit ausreichender Lüftung im Winter und teilweise auch in der Übergangszeit relative Luftfeuchten von unter 30 % r.F. auf. Bei den Messungen wird im Regelfall zwischen Wohnräumen und Zimmern nicht unterschieden, was bedeutet, dass die Situation in den Zimmern zumeist noch schlechter ausfällt.

Bei diesen Luftfeuchtigkeiten werden Haare und Haut spröde, Holz reißt, die elektrostatische Aufladung steigt stark an.

Um die Luftfeuchtigkeit in Räumen zu erhöhen muss Energie aufgewendet werden. Daher ist es in energetischer Hinsicht sinnvoll vorhandene Feuchtigkeit zu bewahren und zu nutzen. Für eine 110 m² Wohnung und konstant 0,4 fachen Luftwechsel (h= 2,5 m) wäre (ohne Infiltrations und Pufferverluste) im Winter eine Nachfeuchtung in der Größenordnung von 10-14 kg Wasser pro Tag erforderlich.

Dies entspricht in etwa der Menge die täglich in einer Wohnung anfällt, jedoch normalerweise sofort abgeführt wird.

Um die Feuchtigkeit in der Wohnung zu bewahren, können folgende Maßnahmen getroffen werden: (1-2 wurden in dem Projekt themenwohnen musik erstmals entwickelt)

1. Wäschetrockenschrank in Zuluft

2. semipermeable Baddecke

3. Feuchtepufferung

4. Bepflanzung

5. Feuchtebewahrung mit Wärme- und Feuchterückgewinnungsgerät

Im Projekt sollte mittels Simulation die Wirkung einer speziellen hoch feuchteaktiven Pflanze für den Wohnbau beschrieben und die unterschiedlichen Parameter der Feuchtausbeute dargestellt werden.

Mit den beschriebenen Maßnahmen sollte die Luftfeuchtigkeit im Durchschnitt während eines Großteils der Zeit oberhalb von 40 % rel. Feuchte gehalten werden können und die Luftqualität bei gleicher Luftmenge deutlich verbessert werden können.

1.3.6. Sanierungskonzept

Die Sanierung im großvolumigen Wohnbau stellt eine Herausforderung dar, die neue Lösungen und vor allem eine gesamtheitliche Betrachtung erfordert.

In den Bereichen die noch teilweise unbearbeitet sind, sollten die erforderlichen Grundlagen zusammengestellt, erforscht und aufbereitet werden.

Darauf aufbauend sollen in einem größeren Modellsanierungsprojekt die Komponenten von **Grünes Licht** realisiert werden.

Ergebnis sollte ein saniertes Gebäude mit ungewöhnlichem äußeren Erscheinungsbild - und daher Wahrzeichenfunktion sein, welches exemplarisch die erarbeiteten Lösungen für die Bereiche Belichtung, wohnungseigener Freiraum, Luftfeuchtigkeit, und Bauwerksbegrünung darstellen kann.

1.4. Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in 12 Kapitel.

Kap. 1 bietet die allgemeine Einführung in das Thema,

in Kap. 2 werden die für das Projekt "Grünes Licht" interessanten Daten von 2 Haus der Zukunft Projekten zitiert und aufbereitet.

Die nächsten Kapitel (3 bis 7) bilden den theoretischen Teil der Arbeit, in denen die Themen: Großes Volumen, Belichtung, wohnungseigener Freiraum, professionelle Bauwerksbegrünung und Luftfeuchtigkeit näher behandelt werden. Generell wurde versucht, alle Themen von mehreren Seiten eingehend zu beleuchten mit Berechnungen, Simulationen und Messungen und so den Leser darin zu unterstützen, zu den einzelnen Themen neue Information zu sammeln und darauf aufbauend fundierte Entscheidungen treffen zu können.

In Kap. 8 schließlich wird Sanierungsbedarf und Sanierungskonzept für das Pensionistenwohnhaus Penzing genau dargestellt.

Das Komforthandbuch Licht und Luft in der Wohnhaussanierung, aus der Planer und Bauträger die grundlegende Informationen zu Licht und Luftfeuchtigkeit gewinnen können ist aufgeteilt auf die Kapitel 4, 5 und 7.

Die restlichen Kapitel 9 bis 12 bieten Schlussfolgerungen, Ausblick, weiterführende Literatur und den Anhang.

Generell wurde darauf geachtet, dass jedes Kapitel in sich abgeschlossen ist und als einzelner Baustein gelesen werden kann.

1.5. Verwendete Methoden und Daten

Die Grundlagenforschung wurde mit Hilfe eingehender Literaturstudien durchgeführt.

Die U- werte wurden mit dem Programm Archiphysik gerechnet, der Heizwärmebedarf und die Heizlast mit dem Programm PHPP 2004 des Passivhausinstitutes in Darmstadt.

Die sonstigen Berechnungen wurden mit dem Programm excel durchgeführt, die Tageslichtsimulationen mit dem Programm relux 2005 und die Lichtmessungen mit einem eigens angefertigten Modell und einem Lutron LX-107 Luxmeter mit der Lichtquellenwahl 1 (= SUN).

Die Angaben zur Bauwerksbegrünung stammen aus der 20 jährigen Erfahrung der Konsultantin und der Zusammenarbeit mit dem Verband für Bauwerksbegrünung.

Die 2- und 3-dimensionalen Wärmebrückenberechnungen wurden mit dem Programm waeburu 6.0 (Univ.Prof. Dr. E. Panzhauser und Univ.DoZ. Dr. K. Krec, TU-Wien) durchgeführt.

Die raumklimatischen Untersuchungen wurden mit Hilfe eines dynamischen Gebäudesimulationsprogrammes durchgeführt (Trnsys 16).

1.5.1. Wärmebrückensimulation

1.5.1.1. Kenngrößen und Methode Wärmebrückenberechnung

Ziel der Wärmebrückenberechnung ist die quantitative Erfassung der gegenüber einer 1-dimensionalen Wärmebedarfsberechnung bestehenden 2-dimensionalen Wärmebrückenkoeffizienten. Die Berechnung erfolgt gemäß den einschlägigen Normen:

- ÖNORM EN ISO 10211
- ÖNORM EN ISO 10077
- ÖNORM EN ISO 13370

Für die Berechnung der Wärmebrückenkoeffizienten und den Nachweis der Kondensatfreiheit wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Die inneren Wärmeübergangswiderstände wurden für die Berechnung der Wärmebrückenkoeffizienten gemäß ÖNORM EN ISO 10211 auf $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ gesetzt, die äußeren wurden mit $0,04 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen.
- Die Angabe des Wärmebrückenkoeffizienten erfolgt außenmaßbezogen. Dabei werden die Bruttomaße bis zur Hinterlüftungsebene herangezogen, bei erdberührten Bauteilen wird bis zur Oberkante Rollierung gemessen. Bei Fenstern wird nicht die Architekturlichte, sondern die tatsächlichen Abmessungen des Fensters herangezogen.
- Die herangezogenen Wärmeleitfähigkeiten sind in der folgenden Tabelle dokumentiert.

	Baustoff	Wärmeleitfähigkeit
		W/mK
1	Stahlbeton	2,300
2	EPS-F	0,040
3	MDF-Platte	0,080
4	Holz	0,130
5	XPS	0,040
6	Steinwolle	0,040
7	Erdreich	2,000
8	Innenputz	0,700
9	Außenputz	0,800
10	Vakuumdämmung	0,006
11	Gipskartonplatte	0,210
12	OSB	0,120
13	OSB längs	0,286

Die Berechnung erfolgt anhand 2- und 3-dimensionaler Wärmebrückenberechnung unter Zuhilfenahme des Programmpaketes WAEURU 6.0 (Univ.Prof. Dr. E. Panzhauser und Univ.DoZ. Dr. K. Krec, TU-Wien).

1.5.2. Dynamische Gebäudesimulation TRNSYS

Temperaturen, Feuchtigkeitszustände und Heizwärmebedarf der Raumgruppen wurden in Abhängigkeit von

- Klima (Außentemperatur, direkte und diffuse Einstrahlung auf alle Gebäudeaußenteile, relative Feuchte, Wind),
- Nutzereinflüssen (Lüftung, innere Lasten durch Personen, Beleuchtung und Geräte) und
- Qualität der Gebäudeteile (Speicherfähigkeit und Leitfähigkeit der Wärme und Feuchte, Solare Transmission bei transparenten Bauteilen, etc.)

in Zeitschritten berechnet (im vorliegenden Bericht Viertelstundenschritte). Die Ergebnisse werden in Stunden-Mittelwerten dargestellt.

1.5.2.1. Wetterdaten

Auf der Basis der von der MA25 (Richtlinie_Energiekennzahlen) zur Verfügung gestellten Monatsmittelwerten zum 14. Bezirk wurde mittels Meteonorm ein dynamisches Jahr synthetisch erstellt.

1.5.2.2. Modellierung Beleuchtungsstärke Raum, Feuchteabgabe Pflanzen

Die Beleuchtungsstärken an den Pflanzenstandorten (siehe Plandarstellung Kap. 7, Raumsimulation) erfolgte folgendermaßen:

- Da keine dynamischen, spektral aufgesplitteten Klimadaten zur Verfügung stehen, wird die Beleuchtungsstärke in [lx] näherungsweise durch die Multiplikation der entsprechenden Solarstrahlung in W mit dem Faktor 100 berechnet.
- Für den bedeckten Himmel steht ein Tageslichtquotient für die unterschiedlichen Standorte der Pflanzen zur Verfügung [siehe Beitrag Pokorny]:

	TLQ
Standardvariante A, Standardfenster, Pflanzen vorne	4,70 %
Pflanzen hinten	2,51 %
Standardvariante B, Großes Fenster, Pflanzen vorne	10,07 %
Pflanzen hinten	4,87 %

Anmerkung: Verschmutzung 10%, Lichttransmission 69%

- Für die Berechnung des für die Pflanzen wirksamen Direktlichtanteil wurde folgendermaßen vorgegangen:

Standardvariante B, Großes Fenster, Pflanzen vorne	Die Pflanzen erhalten 80% des Direktlichts, das auf die Pflanzen trifft (Eigenverschattung)
Standardvariante A, Standardfenster, Pflanzen hinten	Die eintreffende Direktstrahlung wird an Boden und Wänden reflektiert (Boden 40%, Wände 70%), dieser reflektierte Anteil wird gleichmäßig über alle Innenoberflächen verteilt, die 2 Pflanzen erhalten den Anteil von 5m ² Innenoberfläche
Standardvariante B, Pflanzen vorne	Eine Pflanze wird wie Standardvariante B, Großes Fenster, Pflanzen vorne, behandelt, die 2. Pflanze wie Standardvariante A, Pflanzen hinten

- Die Einteilung in dunkel- bis hellstehend wurde folgendermaßen vorgenommen:

TQ 2,51%	Dunkelstehend von 5.9.-4.4 Mittelstehend von 5.4.-20.5 und 21.7.-4.9. Hellstehend 21.5.-20.7.
TQ 4,7-5%	Dunkelstehend von 10.10.-30.2 Mittelstehend von 1.3.-24.3 und von 15.9.-9.10 Hellstehend von 25.3.-14.9. ohne Beschattung
TQ 10%	Dunkelstehend von 10.11.-31.1 Mittelstehend von 1.2.-30.2 und von 10.10.- 9.11. Hellstehend von 1.3.-9.10. ohne Beschattung

- Die Feuchteabgabe der Pflanzen erfolgt über die in Kapitel Interne Feuchtequellen / Pflanzen dargestellten Funktionen Feuchteabgabe in Abhängigkeit Tageslicht.

1.5.2.3. Feuchtespeicherung

Die Modellierung der Feuchtespeicherung durch Bauteile erfolgt durch die Aufspaltung aller angrenzenden Oberflächen in einen Oberflächen- und einen Tiefenspeicher, wobei ersterer mittels Austauschkoefizienten an die Raumluft und an den Tiefenspeicher gekoppelt ist.

Es wurden nur die Bauteile als hygrisch wirksame Materialien angenommen, Einrichtungsgegenstände wurden nicht mitberücksichtigt. Das heißt, es handelt sich um den Extremfall, mit Bücherwänden, Holzkästen etc. sind gedämpftere Feuchteverläufe zu erwarten.

2. Relevante Daten aus anderen HdZ Projekten

Die Endberichte verschiedener HdZ Projekte wurden auf für das gegenständliche Projekt relevante Aussagen untersucht. Teilweise schien es am sinnvollsten kurze Auszüge aus den Projekten zu übernehmen, soweit sie direktes Datenmaterial und die notwendigen Erklärungen beinhalten. Die zitierten Passagen sind jeweils kursiv gesetzt, die Anmerkungen der VerfasserIn dieses Berichtes finden sich in arial standard.

2.1. Technischer Status von Wohnraumlüftungen, HdZ Projekt

Evaluierung bestehender Wohnraumlüftungsanlagen bezüglich ihrer technischen Qualität und Praxistauglichkeit

2.1.1. Luftfeuchte

Der Mensch reguliert seinen Wärmehaushalt auch über die Atmung und Verdunstung. Bei normalen Raumtemperaturen um die 20°C spielt die Verdunstung allerdings eine untergeordnete Rolle. Im Allgemeinen wird bei 22°C Raumtemperatur eine relative Luftfeuchtigkeit von 30-70% als angenehm empfunden. Vermehrte Aufwirbelung von Staub durch Konvektion und auch verschwelender Staub durch hohe Oberflächentemperaturen von Radiatoren, Glühheizkörpern, etc. wird als trockene Luft empfunden, auch wenn die gemessene relative Luftfeuchtigkeit über 30% beträgt.

Staub verschwelt ab einer Oberflächentemperatur an den Heizflächen von etwa 55°C und setzt dabei Ammoniak und andere Gase frei (vgl. Recknagel 01/02, Seite 62). Mit der Staubverschwelung ist auch eine Geruchsbelästigung verbunden. Hohe Luftfeuchtigkeit bindet Staub und hält ihn am Boden. Die Luftgeschwindigkeiten von Wohnraumlüftungssystemen führen aufgrund der geringen Luftgeschwindigkeiten zu keinen Staubaufwirbelungen. Die Filter bei der Zuluft vermindern den Partikeleintrag von außen.

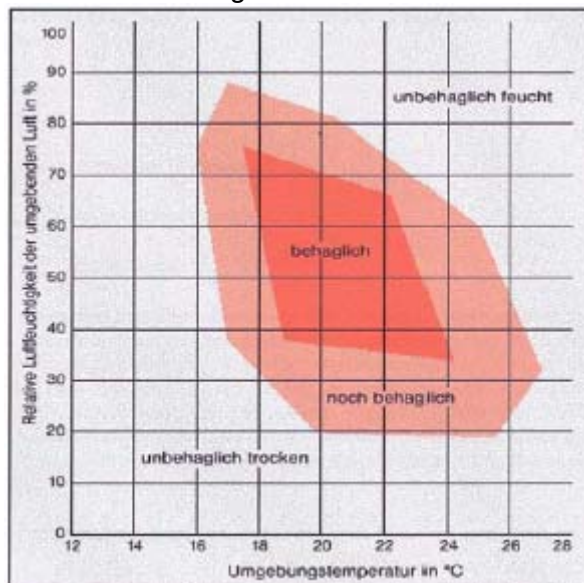


Abbildung 2.4: Diagramm mit eingetragenem Behaglichkeitsfeld abhängig von Temperatur und Feuchte.

(Heinz Gabernig, Energie- und Klimatechnik, Ausgabe 1995)

Manchmal wird als Nachteil von Wohnraumlüftungsanlagen eine zu niedrige Luftfeuchte angeführt. Im Winter ermöglicht der deutlich niedrigere Feuchtegehalt der Außenluft (absolute Feuchte) im Vergleich zur Raumluft eine wirkungsvolle Abfuhr zu hoher Feuchtelasten. Da im Normalfall beim Luftaustausch keine Übertragung von Feuchte zwischen Abluft und Frischluft stattfindet, ist es unter der Voraussetzung gleicher Luftwechselraten gleichgültig, ob der Luftaustausch über eine Lüftungsanlage oder über Fenster bzw. große Undichtheiten erfolgt.

Bilanziert man die Entfeuchtungsleistung des Abluftvolumenstroms mit unterschiedlichen Feuchtelasten erhält man unter Vernachlässigung von Pufferwirkungen durch sorptive Raumbooberflächen und der Annahme gleichmäßiger Feuchtefreisetzung die sich einstellende Raumluftfeuchte. Im folgenden Diagramm sind die Ausgleichsfeuchten der Raumluft für unterschiedliche Außentemperaturen (Annahme 90 % r. F.) und Feuchtelasten bei einem Luftvolumenstrom von 150 m³/h aufgetragen. Dabei wird deutlich, dass relativ hohe Feuchtelasten (kg/h) erforderlich sind, um Raumluftfeuchten größer 35 % halten zu können.

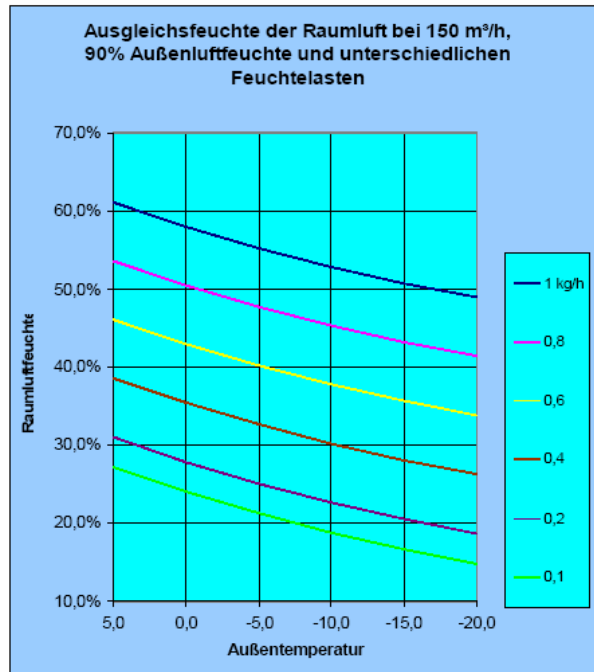


Abbildung 2.5: Ausgleichsfeuchte bei unterschiedlichen Außentemperaturen und Feuchtelasten (arsenal research)

2.1.2. Luftgeschwindigkeit

Reine Abluftanlagen haben durch das Einströmen von kalter, nicht vorgewärmter Zuluft sehr oft Behaglichkeitsprobleme im Zuluftbereich. Sie stellen von der Behaglichkeitsseite daher keine Wunschlösung dar. Bei Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung (Luftvorwärmung) sind die allgemeinen Geschwindigkeiten und Temperaturunterschiede im Wohnraum derart gering, dass eine Beeinträchtigung nur in unmittelbarer Nähe der Ventile bzw. Überströmöffnungen möglich ist, wenn diese falsch ausgewählt, dimensioniert, bzw. angebracht wurden.

Die DIN 1946-2 (1994) würde bei einer Lufttemperatur von 20-22°C eine mittlere Luftbewegung von maximal ca. 0,15 – 0,18 m/s abhängig vom Turbulenzgrad zulassen.

Grundsätzlich sollte die Luftgeschwindigkeit von Wohnraumlüftungsanlagen im Aufenthaltsbereich 0,1 m/s nicht überschreiten.

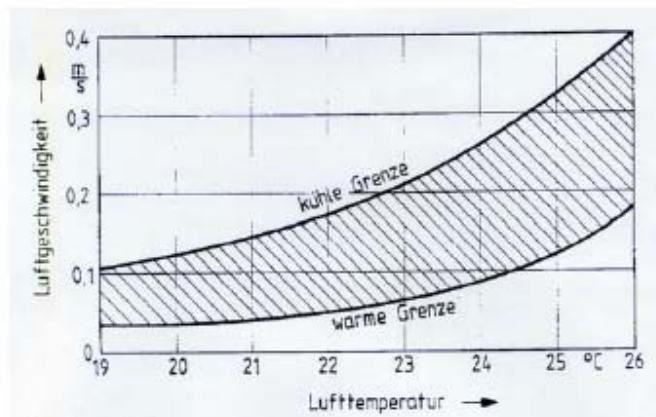


Abbildung 2.6: Diagramm mit eingetragenem Behaglichkeitsfeld abhängig von Lufttemperatur und Luftgeschwindigkeit. (DIN 1946-2)

2.1.3. Fensterlüftung

Selbst durch bewusstes Stoßlüften können höhere CO₂- und Feuchtekonzentrationen im Gebäude (hohe Konzentrationsspitzen) nicht immer verhindert werden. Zusätzlich führt diese Art der Lüftung in der Heizperiode zu unnötig hohen Wärmeverlusten.

Luftwechsel in Abhängigkeit von der Fensterstellung (Zufallslüftung):

- Fenster und Türen ganz zu 0,1 - 0,3
- Fenster gekippt, Rollläden zu 0,3 - 1,5
- Fenster gekippt, kein Rollladen 0,8 - 4,0
- Fenster halb offen 5 - 10
- Fenster ganz offen 9 - 15
- gegenüberliegende Fenster offen 40 und mehr

Quellen: Sagelsdorff 1982, Hauser 1979, Gertis 1979

Durch verbesserte Dichtungen bei Fenster und Türen liegen bei heutigen Neubauten die Werte bei „Fenster und Türen ganz zu“ niedriger.

2.1.4. Wärmetechnische Grundlagen zur Wohnraumlüftung

Anschaubar lassen sich die Verhältnisse im h-x Diagramm darstellen. Auf der y-Achse wird die Temperatur, auf der x-Achse der absolute Feuchtegehalt in g/kg trockene Luft aufgetragen. Die Kurven gleicher Enthalpie (Isenthalpen) sind schräge parallele Geraden, die von links oben nach rechts unten verlaufen. Enthalpie- und Feuchtedifferenzen lassen sich so einfach aus dem Diagramm herauslesen. Die Kurven gleicher relativer Feuchte verlaufen quer zu den Isenthalpen, sind aber gekrümmt. Begrenzt wird dieses Feld von der Sättigungskurve mit 100 % relativer Feuchte. Entlang dieser Kurve ist die Luft mit Wasserdampf gesättigt. Wird die Luft abgekühlt oder Feuchtigkeit zugeführt, fällt die überschüssige Feuchte in Form von Kondensat aus. (Programmquelle: Menerga)

Weitere vertiefende energetische Betrachtungen finden sie z.B. im Prüfrelement für Wohnraumlüftungsgeräte auf der Homepage des Europäischen Testzentrums für Wohnraumlüftung E.V. (TZWL) www.tzwl.de.

Die beiden folgenden dargestellten Fälle im h-x Diagramm stellen Extremsituationen im Winter bzw. Sommer dar.

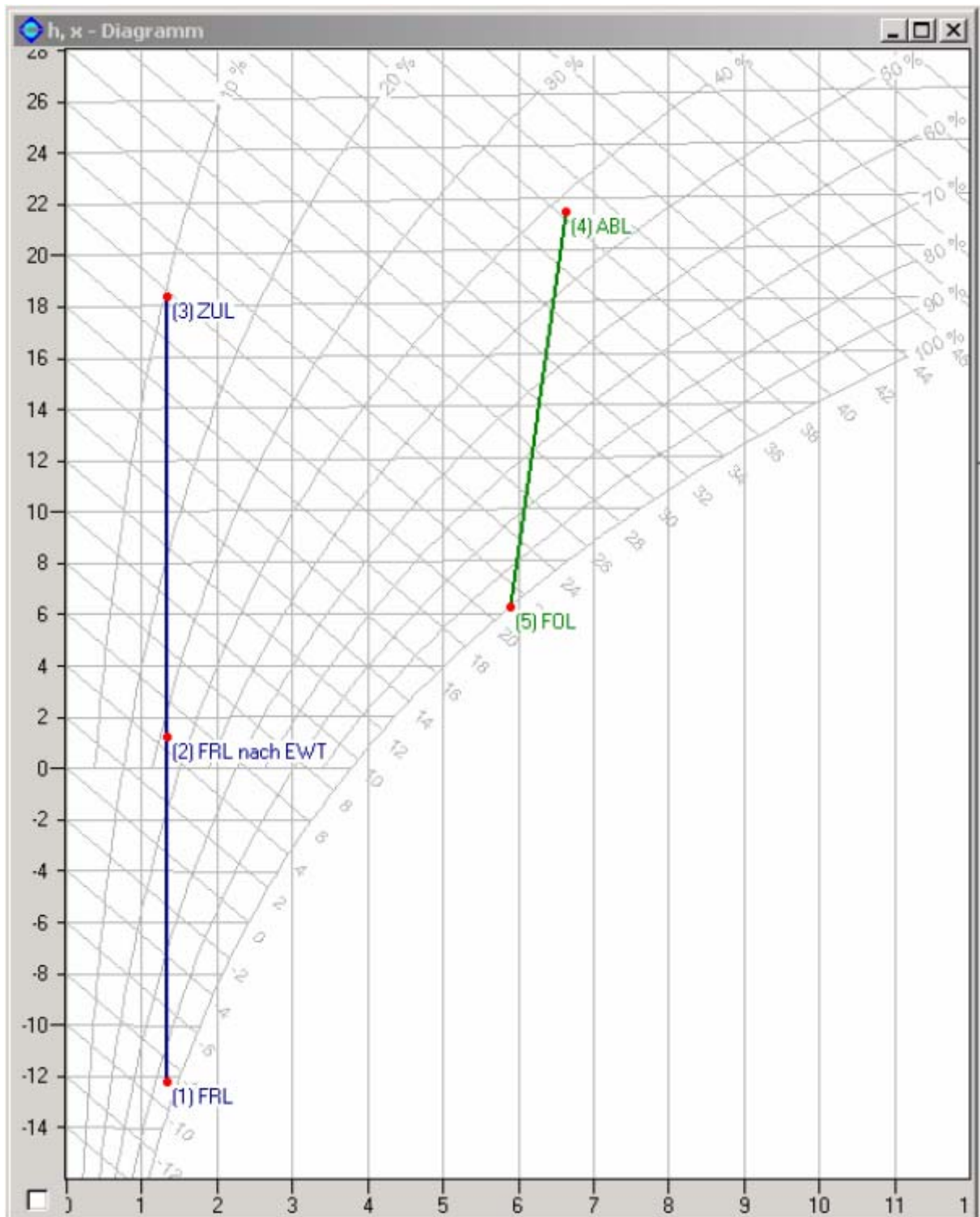


Abbildung 2.37: h-x-Diagramm für den Winterfall. Die Frischluft wird im EWT von ca. -12°C (ca. 95% r.F.) auf ca. $1,5^{\circ}\text{C}$ (ca. 33% r.F.) erwärmt und durch den Wärmetauscher auf knapp über 18°C (10% r.F.) erwärmt. Durch die Erwärmung und die Feuchtezufuhr (ca. 5 g/kg trockene Luft) im Raum wird dann der Abluftzustand erreicht. Die Abluft wird von ca. 21°C (ca. 42% r.F.) auf ca. 6°C (100% r.F.) abgekühlt. Es fällt dabei geringfügig Kondensat im Lüftungsgerät aus (ca. 0,8 g/kg trockene Luft). (Programmquelle: Menerga)

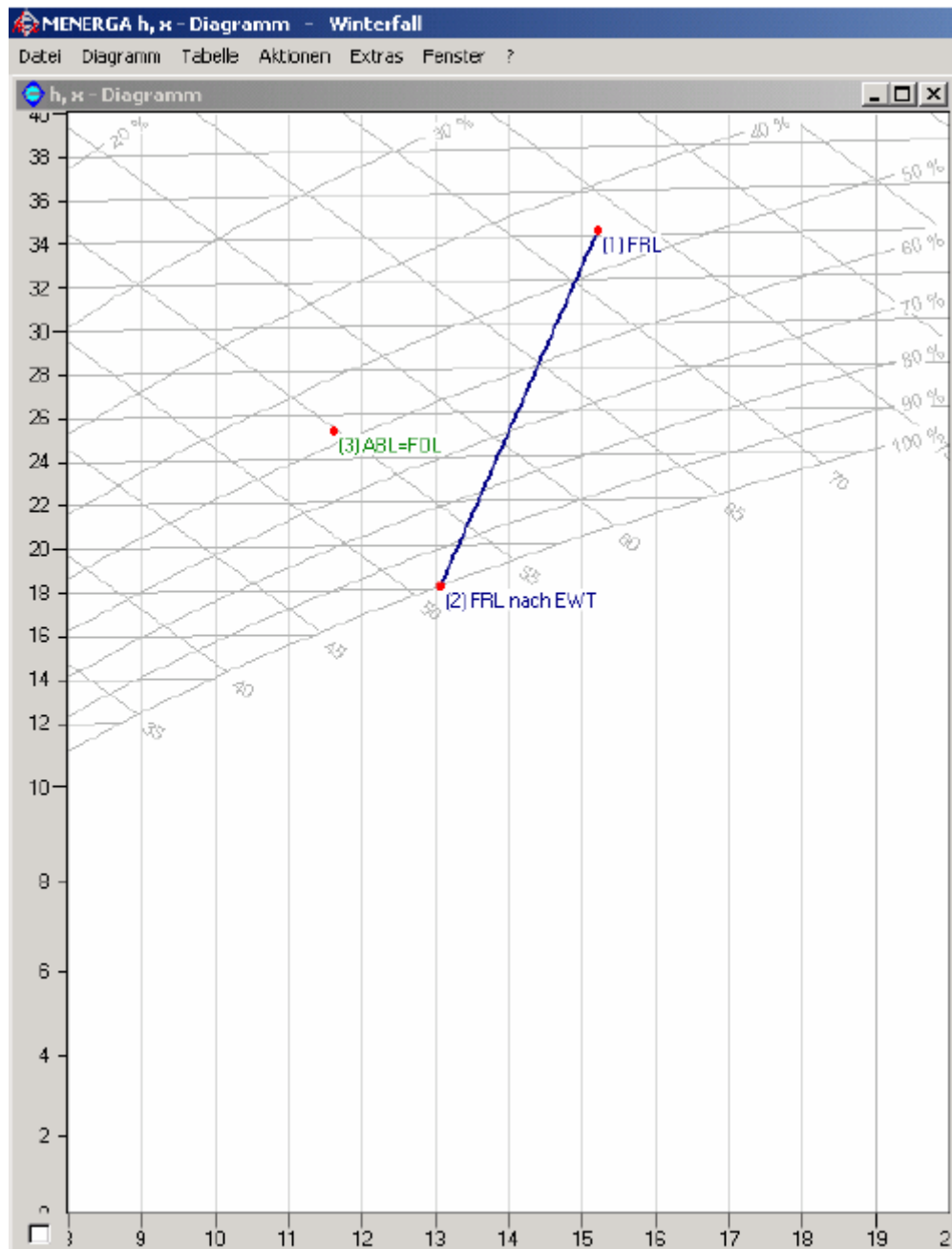


Abbildung 2.38: h-x-Diagramm für einen heißen Sommertag. Die Frischluft wird im EWT von ca. 32°C (ca. 45%r.F.) auf ca. 18°C (100 % r.F.) gekühlt. Es fällt dabei Kondensat im EWT aus (ca. 2,1 g/kg tr. Luft). Die Erwärmung durch die Ventilatorenabwärme im Gerät um ca. 1°C und die Absenkung der Luftfeuchte auf ca. 95% ist nicht dargestellt. Durch die weitere Erwärmung der Luft wird die Ablufttemperatur von 25°C (ca. 58%r.F.) erreicht. Die Abluft geht ohne Abkühlung nach außen (Sommerbypass des Lüftungsgerätes). Im Sommer kann durch gezieltes Lüften in der Nacht bzw. frühen Morgenstunden (meist geringere absolute Außenluftfeuchte als am Tag) und Einsatz eines EWT + Sommerbypass des Lüftungsgerätes eine schwüle Raumluft verhindert werden. Erfahrungsgemäß sind auch die Feuchtelasten in Wohnungen im Sommer geringer als im Winter. Lüftet man auch an sehr heißen Tagen über Fenster am Tag, erhält man annähernd die gleiche absolute Feuchte wie außen. Das würde bei der angenommenen Ablufttemperatur = Raumtemperatur eine relative Feuchte von über 70% ergeben. (Programmquelle: Menerga).

2.1.5. Luftmengen bei Wohnraumlüftungsanlagen

2.1.5.1. Bestimmung nach der erforderlichen Zuluftmenge je Person

Schon Pettenkofer (1819-1901) sagte: „Die wesentlichen Ausscheidungen unserer Lunge und Haut sind Kohlensäure und Wasserdampf. Gleichzeitig geht eine geringe Menge

flüchtiger organischer Stoffe in die Luft über, die sich durch den Geruch bemerkbar machen und sich zur Menge des ausgeschiedenen CO₂'s proportional verhalten.“ Daher kann der CO₂-Gehalt als Maßstab für die Luftverunreinigungen dienen. Dies gilt auch in den heutigen, aktuellen Regelwerken, nach denen sich Personen in Räumen mit CO₂-Konzentrationen unter 0,07 Vol% normalerweise behaglich und über 0,2 Vol% sicher unbehaglich fühlen. Als Grenzwerte für die Behaglichkeit werden oft auch 0,1 bzw. 0,15 Vol% CO₂ angegeben. Für Wohn- und Schlafräume sollte der Wert von 0,07 Vol% möglichst unterschritten werden. Legt man eine Außenluftkonzentration von 0,036 Vol% CO₂ zugrunde, ist eine Außenluftfrate von ca. 30 m³/(h Pers.) ausreichend, um die CO₂-Konzentration im Innenraum auf 0,1 Vol% zu beschränken. Dies gilt jedoch genaugenommen nur bei optimaler Raumdurchströmung. Dass es mit der Faustformel „30 m³/Person“ dennoch meist gelingt diesen CO₂-Wert einzuhalten, liegt daran, dass Wohngebäude bzw. einzelne Räume nicht dauernd voll belegt sind bzw. durch Undichtigkeiten und geöffnete Türen auch noch ein gewisser Luftwechsel stattfindet.

2.1.5.1.1. Normvorgabe für Zuluftvolumenströme:

Gemäß Vornorm H 6038 sind als Mindest-Zuluftvolumenstrom 30 m³/h je Person, anzusetzen. Ebenfalls 30 m³/h je Person findet man in der DIN 1946-6 bzw. in den Empfehlungen von Energie-Schweiz. Für einzelne Räume wird daraus mit der zu erwartenden durchschnittlichen Personenzahl der notwendige Zuluftvolumenstrom ermittelt. Z. B. Schlafzimmer mit zwei Personen entspricht 60 m³/h Zuluft.

2.1.5.2. Bestimmung nach dem erforderlichen Abluftvolumenstrom

Die Schwankungen der Raumluftfeuchte zwischen 30 und 70% relativer Feuchte (r.H.) werden im Temperaturbereich von 18 - 23°C vom Menschen nur sehr eingeschränkt wahrgenommen und haben in diesem Bereich praktisch keine Auswirkung. Die Raumluftfeuchte sollte durch kontrolliertes Lüften idealerweise in einem Bereich von 35 - 55% r.F. (Bauphysikalische Gründe sprechen für maximal 55%, physiologische Gründe für mindestens 35%) gehalten werden. Die Höhe der anfallenden Feuchtelasten hängt im wesentlichen von der Anzahl sowie dem Verhalten der Bewohner ab. Bei einem 4-Personen-Haushalt können pro Tag etwa 8-15 kg Wasserdampf entstehen. In manchen Haushalten liegen die Feuchtelasten auch deutlich darunter, was vor allem durch andere Lebensgewohnheiten bedingt ist (Kondensat-Wäschetrockner, geringe Anwesenheit, kaum längere Kochvorgänge, keine Zimmerpflanzen).

Normvorgaben für Abluftvolumenströme in Wohnungen:

Die Norm ÖNORM H 6038 gibt, für den notwendigen Feuchteabtransport einen mindest erforderlichen Abluftvolumenstrom für einzelne Räume vor:

Tabelle 2.7 Mindest-Abluftvolumenströme bei Dauerlüftung (nach Norm ÖN H 6038, 2002)

Raumart	Mindest-Abluftvolumenstrom (raumbezogen) in m³/h
Bad (auch mit WC)	40
WC-Raum	20
Abstellraum(wenn entlüftet)	20
Kochnische	40
Küche (Grundlüftung)	40

Die VDI-Richtlinie bzw. die DIN 1946-6 liegt bei den Mindestabluftmengen tendenziell höher als in der ÖNORM H 6038:

Tabelle 2.8 Mindest-Abluftvolumenströme bei Dauerlüftung (nach VDI 2088 bzw. DIN 1946-6)

Raumart	Mindest-Abluftvolumenstrom (raumbezogen) in m³/h
Bad (auch mit WC)	60
WC-Raum	30
Küche (< 50m²)	80
Küche (< 8m²)	60

In den Dimensionierungshinweisen der Energie-Schweiz liegen in die Mindestluftmengen tendenziell niedriger als in der ÖNORM H 6038:

Tabelle 2.9 Mindest-Abluftvolumenströme bei Dauerlüftung (nach Energie-Schweiz)

Raumart	Mindest-Abluftvolumenstrom (raumbezogen) in m³/h
Bad (auch mit WC)	40
WC-Raum	20
Abstellraum(wenn entlüftet)	20
Küche (< 50m²)	30
Küche (> 50m²)	40

2.1.5.3. Bestimmung nach dem stündlichen Luftwechsel

Bei einer nach CO₂-Maßstab bzw. Feuchte-Maßstab berechneten Zuluft- bzw. Abluftmenge fließt die Raum- bzw. Gebäudegröße nicht mit ein. Um aber auch die normalen Ausdünstungen einzelner Stoffe (Teppiche, Möbel, Tapeten,...) sowie die in den Stoffen gepufferten Belastungen (z.B. Feuchte, Gerüche, Tabakrauch,...) abzuführen, ist ein gewisser Mindestluftwechsel, abhängig von der Gebäudegröße, notwendig, auch wenn die Wohnung nicht benutzt wird. D.h. durch die Wohnungsgröße wird einerseits die Luftmenge für die Abwesenheitsstufe bestimmt und andererseits dient diese als Gesamtkontrolle der Auslegung. Im Normalfall sind die Luftmengen aus der Feuchte- und CO₂-Bedingung größer als die Luftmenge aus der Raumgröße. Nur bei sehr großzügigen Raumverhältnissen wird diese Luftmenge die bestimmende Größe werden. Auslegungskriterien sind oft auf diese Luftwechselraten pro Volumen bezogen. Der erforderliche Luftwechsel wird als Richtwert meist zwischen 0,3 bis 0,8 h⁻¹ angegeben. Als Auslegungskriterium ist dieser mittlere Luftwechsel jedoch unzureichend. Einzelne Räume müssen nach dem Feuchte bzw. CO₂ –

Kriterium ausgelegt werden. Ergibt sich aus der Größe der Wohnung ein Luftwechsel unter $0,3 \text{ h}^{-1}$, so sollte dieser abhängig von der Ausstattung (z.B. Teppiche, Stein oder Holzboden) über die Vergleichseinheit olf'' nochmals überprüft werden. Bei einer ordnungsgemäßen Auslegung von Wohnungslüftungsanlagen nach Feuchte- und CO_2 -Kriterium ergeben sich bei durchschnittlichen Wohnungsgrößen aus den CO_2 - bzw. Feuchtebedingungen meist Gesamtluftwechselraten von $0,3$ bis $0,6 \text{ h}^{-1}$ (je nach Wohnungsgröße).

2.1.5.3.1. Normvorgaben:

Bei der nachfolgenden Aufstellung von Mindestluftwechseln in Wohnungen muss beachtet werden, dass diese Luftwechsel (Ausnahme: ÖNORM H 6038) an sich nicht für die Dimensionierung von Lüftungsanlagen gedacht sind, sondern nur dazu dienen den Lüftungswärmeverlust von Wohngebäuden abzuschätzen.

Tabelle 2.10: Mindestluftwechselzahlen für Wohnungen

VORÖNORM H 6038	$n_L = 0,5 \text{ h}^{-1}$	(bezogen auf das Nettovolumen)
ÖNORM 8110	$n_L = 0,4 \text{ h}^{-1}$	(bezogen auf das Nettovolumen)
ÖNORM 7500	$n_L = 0,5 \text{ h}^{-1}$	(bezogen auf das Nettovolumen)
DIN 4701	$n_L = 0,5 \text{ h}^{-1}$	(bezogen auf das Nettovolumen)
SIA 380-1	$n_L = 0,4 - 0,8 \text{ h}^{-1}$	(bezogen auf das Nettovolumen)
EnEV (DIN 4108)	$n_L = 0,6 - 0,7 \text{ h}^{-1}$	(bezogen auf das Nettovolumen)

2.1.6. Einfluss der gewählten Lüftungsstrategie auf die Auslegung

Ausgehend von der im vorigen Kapitel erläuterten Luftmengenbestimmung für einzelne Räume (CO_2 bzw. Feuchtebedingung) ergibt sich je nach Lüftungsstrategie ein unterschiedlicher Gesamtluftwechsel für die Wohnung.

2.1.6.1. Raumweise oder wohnungsweise Lüftungsstrategie

Wäre die Strategie jeden Raum mit einer Zuluft- und einer Abluftöffnung zu versehen d.h. jeder Raum ist einzeln belüftet, so würden sich sehr hohe Gesamtluftwechsel ergeben und es insgesamt zu einer zu niedrigen Luftfeuchte kommen. Zudem wird die Lüftungsanlage größer und komplizierter. Man wird diese Strategie daher auf einzelne besondere Räume beschränken (z.B. Raucherzimmer). Bei der zumeist gewählten Strategie in Österreich, dass die Wohnung in Zuluftbereiche (Wohnzimmer, Kinderzimmer, Schlafzimmer,...) Überströmbereiche (Flure) und Abluftbereiche (Küche, Bad, WC,...) eingeteilt wird, ergeben sich geringere Gesamtvolumenströme und wesentlich einfachere Verrohrungen. Zudem wird dadurch die zu weite Absenkung der Luftfeuchte verhindert. Insbesondere in der Schweiz wird zur weiteren Luftmengenreduktion teilweise sogar das Wohnzimmer als Überströmraum (vom Elternschlafzimmer) betrachtet, weil man sich im Elternschlafzimmer und Wohnzimmer normalerweise nicht gleichzeitig aufhält.

2.1.6.2. Strategie mit variablen Volumenströmen in einzelnen Räumen

Werden Klappen eingesetzt, um z.B. die Zuluft zu bestimmten Zeiten eher dem Wohnraum und zu bestimmten Zeiten eher dem Schlafrum zuzuführen, kann die Gesamtluftmenge ebenfalls reduziert werden (außer das Feuchtekriterium lässt dies nicht mehr zu). Da dies jedoch äußerst aufwändig ist, wird davon meist Abstand genommen (z.B. hatte keine der untersuchten Anlagen eine derartige Strategie). Es wird daher nicht näher darauf eingegangen.

2.1.6.3. Quell- oder Induktionslüftung

Auch die Wahl der Lufteinbringung in den Raum hat Einfluss auf die Luftmengen. Bei Quellluftsystemen (hier wird die Luft beruhigt in Bodennähe eingebracht und oben

abgesaugt) können die gewählten Luftmengen tendenziell etwas geringer gewählt werden als bei der Induktionslüftung (Mischlüftung), weil der Raum gleichmäßiger durchströmt wird und sich eine geringere Vermischung der belasteten und frischen Luft ergibt. Aufgrund der Bewegungen von Menschen, Auftrieb an Heizflächen etc. wird jedoch in der Praxis auch bei der Quelltüftung die frische und die schon belastete Luft teilweise miteinander vermischt.

2.1.6.4. Heizen mit der Lüftungsanlage

In Passivhäusern mit einer notwendigen Heizleistung unter 10 W/m² Nettofläche besteht die theoretische Möglichkeit das Objekt mit der Zuluft zu beheizen. Bei Gebäuden mit höheren Heizlasten ist dies grundsätzlich nicht möglich, ohne die Lufttemperaturen oder die Luftmengen in unerträglich hohe Bereiche hinaufzutreiben. Aber auch bei Passivhäusern mit Heizleistungen unter 10 W/m² Nettofläche stellt die Heizung über die Zuluft von der Behaglichkeitsseite einen Kompromiss dar (reine Konvektionsheizung, eingeschränkte individuelle Regelbarkeit, keine Leistungsreserven für Aufheizvorgang,...). Finanziell bietet dieses System jedoch eine deutliche Kostenersparnis auf der Investitionsseite, ohne auf ein ökologisches Heizungssystem (Wärmepumpe im Lüftungssystem, Heizregister aus Solarspeicher,...) verzichten zu müssen. Die von der Investitionsseite zwar günstigste, aber gesamtökologisch unerwünschte Variante - die Elektrodirektheizung - kann damit vermieden werden. Auf die tiefergehenden Aspekte (Primärenergiebedarf, Kosten, Komfort,...) der Beheizungsmöglichkeiten des Passivhauses muss aus Platzgründen auf die einschlägige Literatur bzw. Studien verwiesen werden. Um die Begrenztheit der Wärmeeinbringung mit der Zuluft zu verdeutlichen, folgende Beispielrechnung:

Wohnung mit 150 m² Nettofläche und einer Raumhöhe von 2,6 Metern (390m³ Nettovolumen), Heizlast 10 W/m² Nettofläche bzw. 1.500 Watt Gesamtheizleistung

Bei einem hygienischen Lüftungsvolumen von z.B. 180 m³/h ergibt sich bei einer Raumtemperatur von 22°C die maximal einzubringende Wärmemenge von:

475 Watt bei 30°C Zulufttemperatur
772 Watt bei 35°C Zulufttemperatur
1.069 Watt bei 40°C Zulufttemperatur
1.366 Watt bei 45°C Zulufttemperatur
1.663 Watt bei 50°C Zulufttemperatur

Man sieht daraus, dass die Zulufttemperatur auf über 45°C angehoben (was am Wärmetauscher normalerweise Temperaturen über 55°C und damit Staubverschmelzung bedeutet) oder die Zuluftmenge entsprechend erhöht werden muss (was zu trockener Luft, bzw. zu höheren Geräuschen führt). Die Luftheizung sollte daher, auch aus der Erfahrung dieser Evaluierung - wenn überhaupt - erst bei Passivhäusern mit Heizleistungen deutlich unter 10 Watt/m² Nettofläche bzw. Nutzfläche eingesetzt werden.

2.1.7. Technische Evaluierung von Wohnraumlüftungen

In dem Projekt wurde eine großangelegte Evaluierung von Wohnraumlüftungen durchgeführt, bei der die Lüftungen einer Bewertung nach ca. 60 Qualitätskriterien unterzogen wurden.

Da die Untersuchungen sehr stark anlagentechnisch orientiert sind, sind für unser Projekt lediglich die Kriterien 1-4 relevant und in diesem Zusammenhang darzustellen.

Qualitätskriterium 1	Anforderung
Mindestluftwechsel pro Person bei Normalbetriebsstufe für die gesamte Wohnung	Mindestens 30 m³/Person

Erläuterung: Mit diesem Kriterium soll sichergestellt werden, dass die Anlage eine gewisse Mindestgröße, abhängig von der durchschnittlichen Personenzahl in der Wohnung, aufweist.

Achtung: Diese Luftmenge stellt für die gesamte Wohnung die unterste Grenze und nicht eine Empfehlung dar. D.h. in der Praxis liegt man normalerweise deutlich darüber.

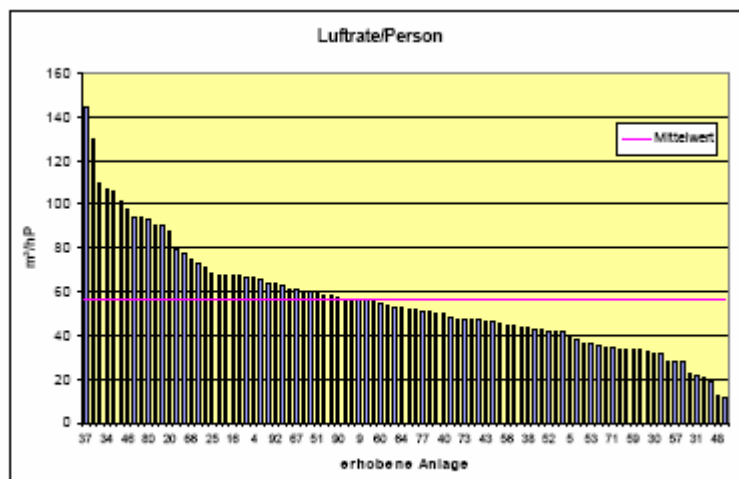


Abbildung 3.18: Erhobener personenbezogener Volumenstrom

Der personenbezogene Mindestvolumenstrom von 30 m³/h und Person wird bei fast allen Einfamilienhaus-Anlagen in der Normalbetriebsstufe erreicht bzw. deutlich überschritten. Dieses Ergebnis untermauert auch die von den EFH-Bewohnern mehrheitlich als „sehr gut“ beschriebene Luftqualität. Die Anlagen im Mehrgeschoßwohnbau liefern, analog zu den Gesamtluftmengen deutlich niedrigere Werte und auch niedrigere Zufriedenheitsgrade mit der Luftqualität. Der Mittelwert (rosa Linie) aller untersuchten Anlagen liegt mit knapp unter 60 m³/h deutlich über den geforderten 30 m³/h pro Person. Begründet kann dieses Ergebnis dadurch werden, dass einerseits etliche Lüftungsanlagen auf eine größere Personenzahl (4 – 5 Personen) ausgelegt wurden, die „Jung-Familien“ derzeit aber erst aus 2 Erwachsenen und einem Kleinkind bestehen, und andererseits bei Einfamilienhäusern im Verhältnis zum verdichteten Wohnbau auch deutlich höhere Nutzflächen pro Person gegeben sind. Dadurch ergeben sich zwangsläufig relativ hohe personenbezogene Lufraten, da auch bestimmte Mindestluftmengen für einzelne Räume und ein Mindestluftwechsel von 0,3/h für die gesamte Wohnung eingehalten werden sollten.

Qualitätskriterium 2	Anforderung
Luftwechsel bezogen auf die Wohnungseinheit bei Normalbetriebsstufe	a) Der Mindestluftwechsel bezogen auf das Netto- Luftvolumen sollte zumindest 0,3fach/h betragen
	b) Der Luftwechsel darf auch bei Passivhauskonzepten mit Luftheizung nicht über den hygienisch notwendigen Luftwechsel hinausgehen.

Erläuterung: Durch den minimalen Luftwechsel pro Wohneinheit wird erreicht, dass die Anlage eine gewisse Mindestluftmenge - abhängig von der Wohnungsgröße – aufweist, um Ausdünstungen bzw. Belastungen von Teppichen, Möbeln etc. zusätzlich zu berücksichtigen, wenn die Wohnung sehr groß ist. Eine Erhöhung des Luftwechsels über den hygienischen Luftwechsel hinaus, um bei Passivhauskonzepten mehr Energie über die Lüftung einzubringen, sollte keinesfalls vorgenommen werden. Andernfalls besteht die Gefahr zu trockene Luft bzw. ein ineffizientes Gesamtsystem zu bekommen.

Achtung: Ein Luftwechsel von 0,3 stellt die unterste Grenze und nicht eine Empfehlung dar. D.h. in der Praxis liegt man normalerweise darüber (zwischen 0,3 und 0,8 je nach Wohnungsgröße – siehe Kapitel 2).

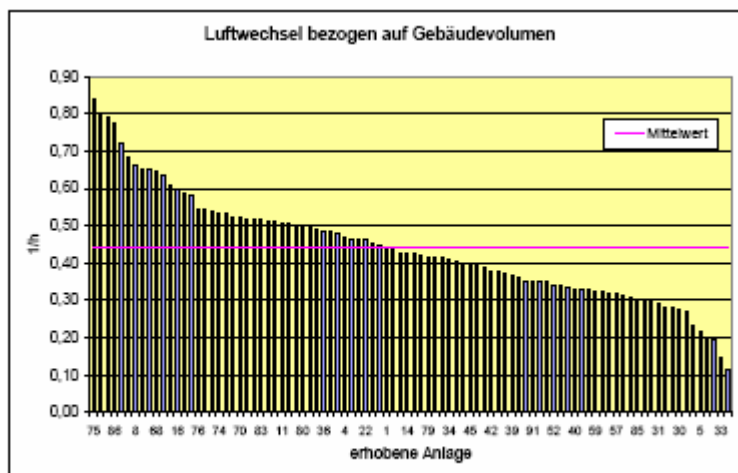


Abbildung 3.19: Erhobene Mindestluftwechsel

Bei fast allen Einfamilienhäusern lag die Luftwechselzahl zwischen 0,3 und 0,8, wobei der Mittelwert aller Anlagen im Bereich von 0,44 1/h lag. Im Mehrfamilienhausbereich wurde der Mindestluftwechsel in der Praxis oft nicht erreicht. Dies lag teilweise auch an den, aufgrund von Lärmproblemen, reduzierten Luftmengen. Die Geräte selbst waren an sich für eine höhere Luftmenge ausgelegt.

Vertiefende Bewertung:

Kriterium	Bewertung			Anmerkung
	sehr gut	o.k.	mangelhaft	
1) Allgemeine Dimensionierung				
Ausreichender Gesamtluftwechsel pro Std.	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4 0,5 – 0,8	> 0,8 < 0,3	< 0,3 – hygienisch notwendige LW nicht gegeben > 0,8 – Luft kann zu trocken werden, Zuggefühl, Energieverbrauch

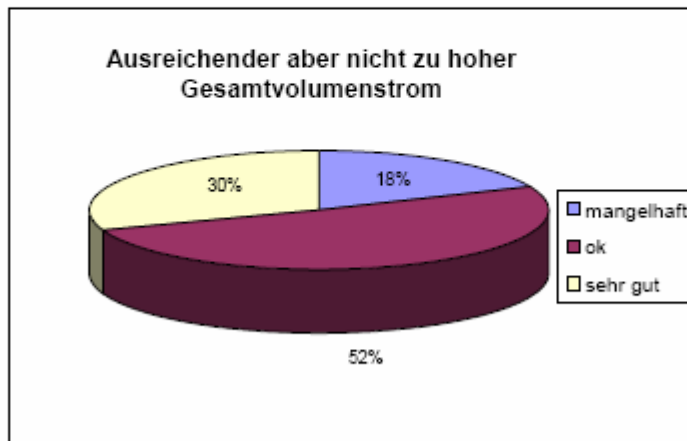


Abbildung 3.20: Bewertung der Luftwechselzahlen

Qualitätskriterium 3a bis 3d	Anforderung
Mindestzuluftvolumenströme für einzelne Räume bei Normalbetriebsstufe für die Rohr- bzw. Ventil-dimensionierung (die tatsächliche Luftmenge kann dann auch auf die aktuell vorherrschende Situation angepasst werden)	a) Wohnzimmer: 60 m³/h
	b) Schlafzimmer: 50 m³/h
	c) Kinderzimmer: 50 m³/h (Zwei Kinder)
	d) Kinderzimmer: 25 m³/h (Ein Kind)

Erläuterung: Damit den einzelnen Zulufräumen jeweils ausreichend Frischluft zugeführt wird, werden Mindestluftmengen definiert, die keinesfalls unterschritten werden sollten. Ausschlaggebender Punkt ist hier das CO₂-Kriterium. Bei optimalen Quellaftsystemen kann die Luftmenge aufgrund der etwas besseren Raumdurchströmung bzw. dem besseren Schadstoffabtransport theoretisch etwas kleiner als bei der Induktionslüftung sein. Eine Unterscheidung in Quellaftsysteme und Induktionsluftsysteme wurde nicht vorgenommen, da in der Praxis eine saubere Quellaftströmung durch offenen Türen, Konvektion durch Heizung, etc., nicht immer gegeben ist. Als Untergrenzen können bei der Induktionslüftung 25m³/Person und bei der Quellaft 20 m³/Person angesetzt werden. Dem Wohnzimmer wurden 3 Personen und dem Schlaf- bzw. Kinderzimmer zwei bzw. eine Personen zugeordnet. Eine Unterscheidung in Kinder und Erwachsene wurde bewusst nicht gemacht. Da Schlaf- und größere Kinderzimmer (für zwei Kinder) oft nachträglich getauscht werden, sollten diese gleich dimensioniert sein. Für die individuelle Nutzung kann die Luftmenge dann entsprechend angepasst werden.

Achtung: Die Luftmengen für die einzelnen Räume stellen für die Dimensionierung die unterste Grenze und nicht eine Empfehlung für die Auslegung dar. D.h. in der Praxis liegt man normalerweise darüber.

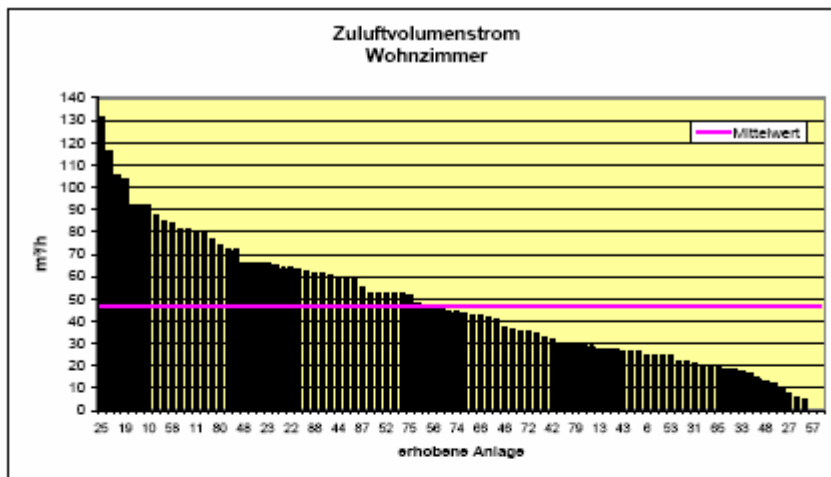


Abbildung 3.21: Erhobene Zuluftmengen im Wohnzimmer

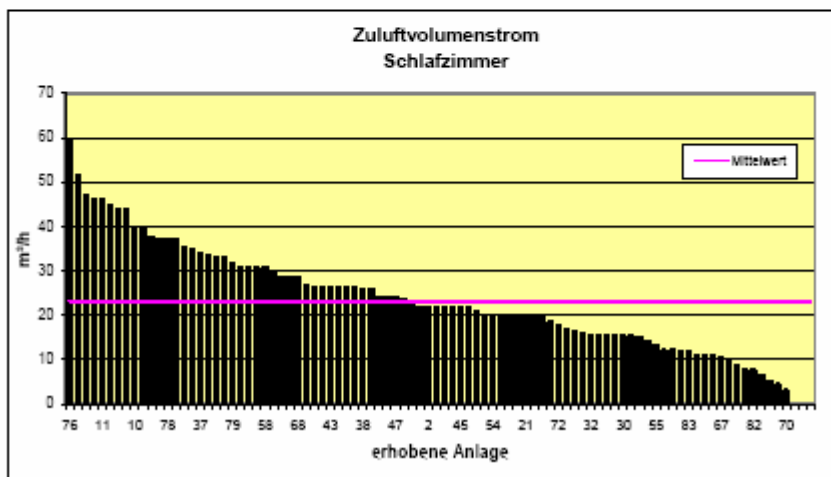


Abbildung 3.22: Erhobene Zuluftmengen im Schlafzimmer

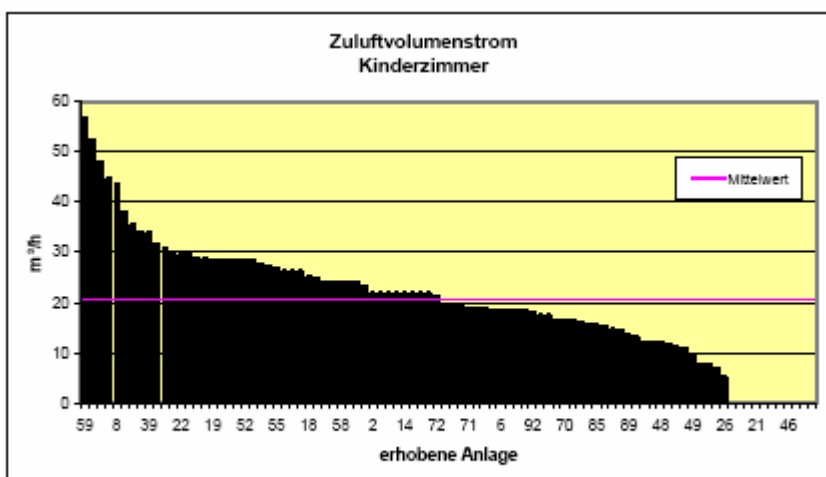


Abbildung 3.23: Erhobene Zuluftmengen im Kinderzimmer

Die dargestellten Luftmengen wurden bei der Normalbetriebsstufe gemessen. Anlagen, bei denen in der Auswertung keine Ergebnisse dargestellt sind, hatten keine Zuluftauslässe in den jeweiligen Räumen. Die Gründe dafür, dass z.B. auch bei einzelnen Wohnzimmern keine Zuluft vorhanden ist, liegt daran, dass diese Räume während der Bauphase mit der Küche getauscht wurden (großer Zusammenhängender Bereich von Küche und Wohnzimmer) und die Lüftungsführung nicht mehr entsprechend angepasst wurde bzw. das Wohnzimmer als Überströmbereich zwischen der Zuluft im Schlafzimmer und der Abluft in

der Küche ausgeführt wurde (Luftmengenminimierung). Ein Schlafzimmer wurde fälschlicherweise auch als reiner Abluftraum betrieben. Bei allen drei Zuluftbereichen ist die breite Streuung der Werte auffällig. Dieses Ergebnis deutet auch darauf hin, dass bezüglich der einzustellenden Luftmenge teilweise große Unsicherheit herrscht, bzw. die Luftmengen nur unzureichend eingestellt, oder von den Nutzern, meist aufgrund von Lärmproblemen, reduziert wurden. Im Gegensatz zu den Wohnzimmern, bei denen im Schnitt die geforderte Luftmenge um ca. 20% unterschritten wurde, werden in die gewünschten Luftmengen im Schlafzimerbereich um über 50% unterschritten. Die für Schlafräume von Eltern geforderten 50 m³/h werden nur bei zwei Anlagen erreicht. Der Grund liegt nach Auskunft der Bewohner meist an der zu hohen Schallbelastung in der Nacht, die eine Drosselung der Luftmenge erfordert. Erschwerend zu den ohnehin schon geringen Luftmengen in den Schlafzimmern kommt die Tatsache hinzu, dass bei einigen Anlagen die Luftmenge in der Nacht, aufgrund falscher Steuerungsphilosophie, zusätzlich auf die Minimalstufe zurückgestellt wird. Das Schlafzimmer war auch jener Bereich, den die Nutzer als nicht ausreichend frisch empfunden haben und häufiger händisch dazulüften mussten. Die Luftmengen im Kinderzimmer mit durchschnittlich 20 m³/h liegen auch unter der Forderung von zumindest 25 m³/h pro Kind. Im Verhältnis zum Schlafzimmer mit 2 Personen und im Schnitt unter 25 m³/h ergaben sich im Kinderzimmer mit meist nur einem Kind und knapp 20 m³/h deutlich bessere Luftverhältnisse.

Fazit: Die mangelhafte Kontrolle und Einregulierung der bestehenden Anlagen bzw. die Lärmproblematik sind die Hauptgründe für falsche bzw. ungenügende Zuluftmengen.

Forschungsbedarf: Grundsätzlich liegt bei vielen Einfamilienhäusern folgende Problematik vor. Aufgrund der Vielzahl an Zuluftträumen (mehrere Schlafräume, Arbeitszimmer, Hobbyraum, Partyraum, etc.) ist es bei einer begrenzten Gesamtluftmenge (Luftfeuchteproblematik) nicht möglich in allen Räumen die für die Hauptnutzungszeit geforderte Luftmenge einzubringen. Damit werden auch Räume mit normalerweise langer Anwesenheitsdauer, das sind vor allem Schlafräume und das Wohnzimmer, unterversorgt. Die Möglichkeit einer zonen- bzw. raumweisen Umschaltung durch Klappen, die über Taster oder Zeitschaltuhren gesteuert werden, wurde nur bei einer Anlage vorgefunden. Der Nachteil dieser Ausführungsvariante liegt im höheren Planungs-, Installations- und Steuerungsaufwand. Inwieweit sich der technische Mehraufwand für eine zonenweise Regelung bzw. Luftmengensteuerung in der Praxis bewährt, und welche baulichen Randbedingungen für eine Realisierung erforderlich sind, könnte durch eine genauere Analyse mehrerer gebauter Anlagen erfolgen.

Qualitätskriterium 4a, 4b, 4c	Anforderung
Mindestabluftvolumenströme für einzelne Räume	a) Küche/Kochnische: 60 m ³ /h
	b) Bad: 40 m ³ /h
	c) WC: 30 m ³ /h (direkt aus der Muschel 10 m ³ /h)

Erläuterung: Dieses Kriterium stellt sicher, dass aus den einzelnen Ablufträumen jeweils die ausreichende Abluftmenge abgeführt wird. Ausschlaggebend ist hier das Feuchte Kriterium.

Achtung: Luftmengen für die einzelnen Räume stellen wieder die unterste Grenze und nicht eine Empfehlung dar. D.h. in der Praxis liegt man normalerweise darüber.

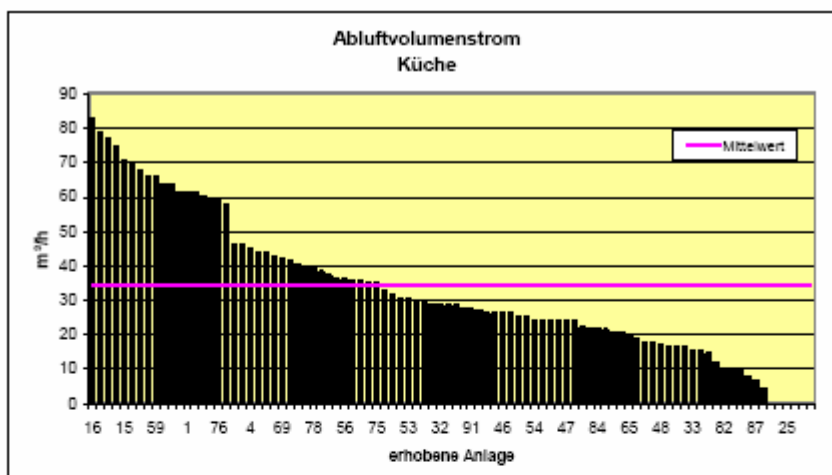


Abbildung 3.24: Erhobene Abluftmengen in der Küche

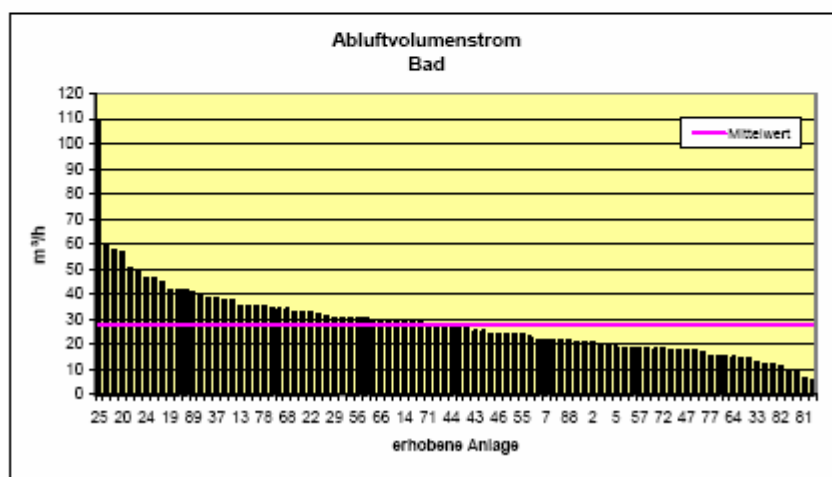


Abbildung 3.25: Erhobene Abluftmengen im Bad

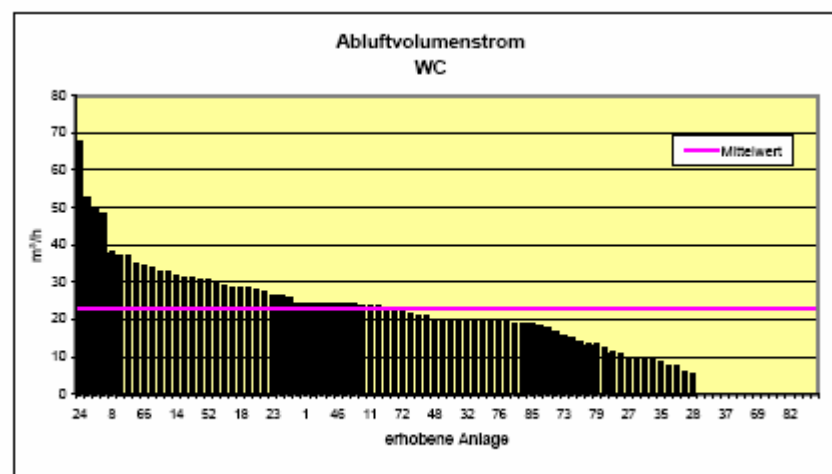


Abbildung 3.26: Erhobene Abluftmengen im WC

Die Abbildung 3.24 bis Abbildung 3.26 zeigen die Ergebnisse der Abluftvolumenstrom-Messung (bei Normalbetriebsstufe der Lüftungsanlage) für typische Abluftbereiche. Anlagen, bei denen in der Auswertung keine Ergebnisse dargestellt sind, hatten keine Ablufteinlässe in den jeweiligen Räumen. Für den Abluftbereich „WC“ gibt es für jene Anlagen, bei denen sich das WC im Badezimmer befindet, keinen Wert. Diese Anlagen sind nur in der Auswertung „Bad“ zu finden. Die erhobenen Luftmengen liegen für alle Bereiche im Mittel

deutlich unter den geforderten Qualitätskriterien. In einigen Fällen wurde mit dem Lichtschalter des Bades bzw. des WCs die Anlage für wenige Minuten auf Maximalstufe geschaltet. Dieses System hat sich nach Aussagen der Nutzer sehr gut bewährt. Teilweise musste diese Schaltung für die Nacht jedoch umgangen bzw. ausgeschaltet werden, um eine Lärmbelastung für die anderen Bewohner durch die Intensivstufe zu vermeiden.

Fazit: Die Problematik ist die gleiche wie in den Zuluftbereichen. Neben den „Hauptablufträumen“ Küche, Bad und WC gibt es meist auch noch weitere Räume, die in die Abluft eingebunden sind (Waschküche, Abstellräume, Speisekammern, Lagerräume, Sauna, 2. Bad, 2. WC, etc.). Unter der Voraussetzung, dass die Gesamtluftmenge der Anlage nicht erhöht wird, wäre damit eine raumweise Steuerung notwendig, um alle geforderten Kriterien erfüllen zu können. Die standardmäßige Auslegung auf eine ausreichende Luftmenge in der Normalbetriebsstufe gegenüber der Variante von geringeren Luftmengen mit einer zeitweisen Anhebung der Luftmenge im Nutzungsfall muss individuell entschieden werden. Einfacher erscheint ein durchgehender Betrieb mit ausreichender Luftmenge bei der Normalbetriebsstufe.

:

2.1.8. Zusammenfassung der Inhalte, die für "grünes Licht " maßgeblich waren

2.1.8.1. Luftfeuchtigkeit

In den Grundlagen des Berichtes wird von einer angenehmen Luftfeuchtigkeit im Bereich von 30% -70% rel. Feuchte gesprochen und die Empfindung "trockener" Luft zu einem Großteil der Staubbelastung und dem Geruch von verschwelendem Staub zugeschrieben.

In einem anschaulichen Diagramm wird die Entfeuchtungsleistung des Abluftvolumenstromes dargestellt und aus den eingebrachten Feuchtelasten auf durchschnittliche Raumlufffeuchten rückgeschlossen. Dazu muss angemerkt werden, dass die Annahme einer gleichmäßigen Feuchtefreisetzung mit der Realität nicht übereinstimmt, und dass daher sowohl in Zuluft als auch in Ablufträumen in der Realität deutlich andere Luftfeuchtigkeiten vorherrschen. Die inneren Feuchtelasten aus Küche, Bädern, und Wäschetrocknen erreichen ja die Individualräume in einer Wohnung nicht. Dort stellen sich daher normalerweise niedrigere Feuchtigkeiten ein.

2.1.8.2. Luftmengen:

Bezüglich der Luftmengen wird im wesentlichen auf Pettenkofer und auf die verschiedenen Kriterien der Festlegung nach Zuluftvolumenströmen, Abluftvolumenströmen und stündlichem Luftwechsel Bezug genommen. Dabei wird die Aussage getroffen, dass bauphysikalische Gründe für eine Luftfeuchtigkeit mit max. 55% sprechen. Dazu muss ergänzt werden, dass dies nur für kalte Außentemperaturen gelten kann.

2.1.8.3. Technische Evaluierung von Wohnraumlüftungen

Die Mittelwerte des personenbezogenen Luftvolumenstromes in den untersuchten Anlagen liegen ca. doppelt so hoch (60 m³/Pers.,Stunde) wie erforderlich. Dies hängt mit der großen Nutzfläche pro Person zusammen.

Die Qualitätskriterien 3a-3d: Mindestzuluftvolumenströme für einzelne Räume scheinen im Vergleich mit den neueren Strategien für das Passivhaus relativ hoch gesetzt, obwohl wir als Verfasser uns ihnen anschließen würden. Dies beleuchtet sehr gut die generelle Frage nach der Lüftungsauslegung und zeigt, dass hier noch kein allgemeiner Konsens gefunden werden konnte.

Die Zuluftströme in die Schlafzimmer wurden im Mittel im Vergleich zu der Forderung 50 m³ um mehr als 50 % unterschritten. Die "Elternschlafzimmer" waren auch die Räume mit der größten Unzufriedenheit was die Luftqualität betrifft. Daraus folgt, dass ein Wohnkonzept mit gleichartigen Individualräumen für alle Personen des Haushaltes und das Aufgeben des

Elternschlafzimmers aus lüftungstechnischer Sicht das modernere, flexiblere und adäquatere Konzept wäre.

Aus der Problematik der Zuluftdimensionierung in Einfamilienhäusern wird zusätzlicher Forschungsbedarf abgeleitet. Wir würden daraus andere Konsequenzen ableiten, nämlich die, dass das Einfamilienhaus keine effiziente und nachhaltige Wohnform ist und zurückgedrängt werden sollte.

Insgesamt war der Bericht Technischer Status von Wohnraumlüftungen für das Projekt Grünes Licht sehr wertvoll.

2.2. Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser, HdZ Projekt

2.2.1. Zusammenfassung der Projektautoren

2.2.1.1. Nutzerbefragung Ergebnis

Primäres Ergebnis der Benutzerbefragung ist, dass den Bewohnern die Art der Heizung nicht so wichtig ist, vorausgesetzt die Anlage ist einfach bedienbar, wenig fehleranfällig und arbeitet möglichst wartungsfrei. Akzeptanzprobleme konnten immer wieder auf nicht optimal geplante und errichtete Heizanlagen (Dimensionierung, Regelung, Geräuschentwicklung etc.) zurückgeführt werden – relativ unabhängig vom Typus des Heizsystems.

2.2.1.2. Quantitative Bewertung von Referenzanlagen durch Simulation

Als Ergebnis der Befragungen wurde die Soll-Raumlufttemperatur mit 22,5°C angesetzt. Bis auf das System zentrale Sole/Wasser-Wärmepumpe wurden zudem alle Systeme mit und ohne Einbeziehung einer thermischen Solaranlage betrachtet. Den geringsten Energiebedarf der vier analysierten Systeme hat das dezentrale System Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Solaranlage, gefolgt vom zentralen Sole-Wasser-Wärmepumpensystem und etwa gleichwertig dem dezentralen Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystem ohne Solaranlage. Die geringsten CO₂-äquivalent Emissionen hat hingegen das zentrale Pelletssystem. Die geringsten Wärmegehekostungen hat das zentrale Gassystem ohne Solaranlage, die höchsten das System Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Solaranlage. Allerdings wird hier auch eine kontrollierte Lüftungsanlage mitgeliefert. Von großer Bedeutung für den gesamten Primärenergiebedarf ist der Haushaltsstrom, der nur wenig mit dem Heizungssystem zu tun hat. Daher wurde er auch in den neuesten Passivhauskriterien in Deutschland aus der Betrachtung herausgenommen. Für „normales“ Benutzerverhalten können alle Systeme die gewünschte Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte über die gesamte Heizperiode halten. Bei extremen Benutzerverhalten (hohe Heizlast durch hohe Raumtemperatur und geringe Innenwärmen) und nach Auskühlvorgängen wird jedoch die limitierte Heizlast des dezentralen Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystems ersichtlich. Bei einer Wiederaufheizung reagiert die Fußbodenheizung naturgemäß träger als eine Radiatorheizung, allerdings ist auch die Auskühlung geringer. Zwischen den beiden Referenzgebäuden konnten keine großen Unterschiede in den betrachteten Kriterien festgestellt werden.

Generelle Aussagen: Generell kann nicht gesagt werden, dass dieses oder jenes Heizungssystem das beste darstellt – jeder Typus hat ein spezifisches Stärke-Schwächenprofil, dessen Gesamtbewertung letztlich von Art und Umfeld des Gebäudes und den jeweiligen Nutzerpräferenzen abhängt. Daher werden vor allem die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme dargestellt und können somit selbst bewertet werden.

2.2.2. Nutzerverhalten

Auch das Benutzerverhalten beeinflusst den Heizwärmebedarf maßgeblich durch die Wärmeabgabe der Bewohner, den Stromverbrauch im Gebäude, der als Wärme an den

Raum abgegeben wird, das Lüftungsverhalten der Bewohner und die gewünschte Raumtemperatur.

Tabelle 1-1 zeigt den Einfluss von verschiedenen Faktoren des Benutzerverhaltens auf den Heizwärmebedarf von den in Kap. 4 definierten Referenzgebäuden mit 3 und 12 Wohneinheiten (3 WE, 12 WE). Allein die Änderung der Raumtemperatur um $\pm 2,5^\circ\text{C}$ erhöht bzw. senkt den Heizenergiebedarf um 23 bzw. 22 %. Die in Kap. 6.2 definierten Extremszenarien (hohe Last/geringe Innenwärmen, ex 1 bzw. niedrige Last/hohe Innenwärmen, ex 2) bewirken eine Änderung um + 130 % bzw. - 75 % des Heizenergiebedarfs der Referenzvariante.

Tabelle 1-1: Einfluss der Gebäudenutzung und des Benutzerverhaltens in Bezug auf Strombedarf, Personenbelegung, Raumtemperatur und Luftwechselrate auf den Heizwärmebedarf (Referenzgebäude 1 mit 3 Wohneinheiten, Beispiel)

	Variation des Benutzerverhaltens				Wärmebedarf		
	Strom- verbrauch	Perso- nenzahl	Raumtem- peratur	Luftwechsel- rate	Heizwärme- bedarf	Differenz zu Referenz	
	kWh/ (d WE)		$^\circ\text{C}$	[1/h]	kWh/(m ² a)	kWh/ (m ² a)	%
3 WE ref.	7	4	22,5	0,4	44,5	Referenz	
3 WE 20°C	7	4	20	0,4	34,9	-9,6	-22
3 WE 25°C	7	4	25	0,4	54,8	+10,3	+23
3 WE ex 1	3,5	2	25	0,8	100,7	+56,2	+126
3 WE ex 2	15	6	20	0,2	11,6	-32,9	-74
12 WE ref.	7	4	22,5	0,4	41,7	Referenz	
12 WE ex 1	3,5	2	25	0,8	97,2	+55,6	+133
12 WE ex 2	15	6	20	0,2	10,2	-31,5	-76

2.2.3. Vergleich von Norm und Nutzerverhalten

2.2.3.1. Raumtemperatur

Bei den Richtwerten für die Raumtemperatur wird unterschieden zwischen Werten die zur Berechnung des Heizwärmebedarfes (ÖNORM M 7500, ÖNORM B 8110-1) herangezogen werden und Werten die für die thermische Behaglichkeit nach ÖNORM H 6000 erforderlich sind. In Tabelle 2-15 ist ein Überblick über ausgewählte Werte der einzelnen Normen zu sehen. Bei diesem Vergleich ist zu beachten, dass die Werte in den verschiedenen Normen auf unterschiedliche Weise dargestellt sind. Daher sind etwa die Werte der ÖNORM H 6000 beispielhaft aus dem entsprechenden Diagramm Raumtemperaturen der Wohnungen in Hörbranz und in Egg im Zeitraum vom 01.11.2001 bis zum 28.02.2002.

Es ist zu erkennen, dass die Temperaturwerte für die Berechnung des Heizwärmebedarfes für Aufenthalts- bzw. Wohnräume laut Norm meist 20°C betragen. Eine Ausnahme ist hier die ISO 7730, die eine Raumtemperatur von $22 \pm 2^\circ\text{C}$ vorschlägt. Der Mittelwert der gemessenen Raumtemperaturen aller Wohnungen der Gebäude in Hörbranz und in Egg im oben genannten Zeitraum ergibt $23,4^\circ\text{C}$ und liegt somit deutlich über den Werten der ÖNORM M 7500 Teil 4 und ÖNORM B 8110-1. Der Minimalwert der gemessenen Temperatur in diesem Zeitraum beträgt $19,5^\circ\text{C}$ und der Maximalwert 31°C .

Tabelle 2-15: Überblick über die in verschiedenen Normen angegebenen Raumtemperaturen

Norm	Raumart	Temperatur	Bemerkungen
ÖNORM H 6000 Teil 3	Aufenthaltsräume (Räume, die als Arbeits- oder Wohnräume dienen)	18,5°C	Bei leichter manueller Arbeit im Sitzen (120 W Gesamtwärmeabgabe/Person), warme Kleidung (1,5 clo = 0,24 m²K/W), Luftgeschwindigkeit von 10 cm/s
ÖNORM H 6000 Teil 3	Aufenthaltsräume (Räume, die als Arbeits- oder Wohnräume dienen)	23°C	Bei geringer körperlicher Beanspruchung (100 W Gesamtwärmeabgabe/Person), mittlerer Kleidung (1 clo = 0,16 m²K/W), Luftgeschwindigkeit von 10 cm/s
ÖNORM M 7500 Teil 4	Wohn-, Schlafräume sowie Büroräume	20°C	-
	Bäder	24°C	-
ÖNORM B 8110-1	Aufenthaltsräume	20°C	Temperatur für die Berechnung des Heizwärmebedarfes
VDI 2067 Blatt 2	Wohnräume	20°C	Norm-Innentemperatur zur Berechnung des Jahres- Heizwärmeverbrauches; in den Faktoren für die Regelungstechnische Ausstattung und Fremdwärmenutzung ist eine Erhöhung der Raumlufthtemperatur um 1 bis 2 K gegenüber den angenommenen Sollwerten berücksichtigt.
ISO 7730	Aufenthaltsräume	22 ± 2°C	für leichte, hauptsächlich sitzende Aktivität während der Heizsaison

Tabelle 2-16: gemessene Raumtemperaturen der Wohnungen in Egg und in Hörbranz

gemessene Raumtemperaturen im Zeitraum von 01.11.2001 bis 28.02.2002								
[°C]	Hörbranz			Egg				alle Wohnungen
	Nr. 53	Nr. 52	Nr. 51	Nr. 55	Nr. 56	Nr. 57	Nr. 54	
Maximum	25.4	31.0	26.4	28.5	27.0	26.8	27.1	31.0
Mittelwert	21.9	23.1	22.9	24.3	24.2	23.6	23.8	23.4
Minimum	19.5	21.1	20.9	22.9	22.6	20.4	21.7	19.5

2.2.3.2. Mindest – Außenluftvolumenstrom

In Tabelle 2-17 ist ein Vergleich der in den Normen angegebenen Mindest – Außenluftvolumenströme zu sehen. Die Luftwechselzahlen der vermessenen Passivhäuser, die in Tabelle 2-18 angeführt sind, werden aus den Messdaten von der über die Lüftungsanlage eingeblasenen Luftmenge und dem entsprechenden Volumen der jeweiligen Wohnung berechnet. Bei den angegebenen Werten ist die Fensterlüftung nicht mitberücksichtigt. Der Anteil der Fensterlüftung an dem gesamten Luftwechsel ist nach den Ergebnissen aus der Befragung der BewohnerInnen nur gering. Für das Haus 1 in Hörbranz liegen keine Messdaten über die eingeblasenen Luftmengen vor.

Tabelle 2-17: Vergleich der Werte für Mindest-Außenluftvolumenströme verschiedener Normen

Norm	Personenbezogener Mindest – Außenluft-Volumenstrom	Bemerkungen
ÖNORM H 6000 Teil 3	20 m³/h	In Räumen mit Rauchverbot und geringer körperlicher Beanspruchung (100 W Gesamtwärmeabgabe/Person); für Räume mit Raucherlaubnis ist der Wert mindestens um den Faktor 1,5 zu erhöhen, es wird jedoch empfohlen den Wert wesentlich zu erhöhen (Faktor 6) um annähernd gleiche hygienische Verhältnisse wie bei Räumen mit Rauchverbot zu erreichen
ÖNORM H 6000 Teil 3	30 m³/h	In Räumen mit Rauchverbot und bei leichter manueller Arbeit im Sitzen (120 W Gesamtwärmeabgabe/Person)
ÖNORM B 8110 Teil 1	0,4-facher Luftwechsel je Stunde oder 30 m³/(h.Person), sofern dies zu einem höheren Luftwechsel führt (bezogen auf Außenabmessungen)	Rechenwerte für wohnhygienische Lüftung, wenn keine genaueren Werte zur Verfügung stehen
	30 m³/(h.Person)	arbeitshygienische Lüftung
ÖNORM B 8135	Außenluftwechsel bezogen auf das Netto-Raumvolumen $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$	Ein- und Mehrfamilienwohnhäuser mit großzügigem Raumangebot
ÖNORM B 8135	Außenluftwechsel bezogen auf das Netto-Raumvolumen $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$	Sozialer Wohnbau
EN 832	Mindest - Luftwechselrate bezogen auf das Netto-Raumvolumen $n_{\min} = 0,5 \text{ h}^{-1}$	empfohlener Wert, wenn keine nationalen Angaben vorliegen
VDI 2067 Blatt 2	erforderlicher stündlicher Luftwechsel bezogen auf das Netto-Raumvolumen $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ bis $1,0 \text{ h}^{-1}$	aus hygienischer und physiologischer Sicht erforderlicher stündlicher Luftwechsel in genutzten Räumen während der Heizperiode

Die Werte für den Luftwechsel liegen laut der in Tabelle 2-17 angeführten Normen zwischen $0,4 \text{ h}^{-1}$ und $1,0 \text{ h}^{-1}$. Aus den Messdaten der beiden Gebäude in Egg und Hörbranz ergeben sich durchschnittliche Luftwechselraten der einzelnen Wohnungen zwischen $0,46 \text{ h}^{-1}$ und $0,83 \text{ h}^{-1}$. Es ist zu erkennen, dass die Luftwechselzahlen dieser Normen in etwa denen der betrachteten Gebäude entsprechen.

Tabelle 2-18: Luftwechselraten aus den Messdaten der Gebäude in Hörbranz und Egg berechnet

Luftwechselzahlen der Lüftungsanlage im Zeitraum von 01.11.2001 bis 28.02.2002								
[1/h]	Hörbranz			Egg				alle Wohnungen
	Nr. 53	Nr. 52	Nr. 51	Nr. 55	Nr. 56	Nr. 57	Nr. 54	
Maximum	-	0.75	0.59	1.06	0.74	0.97	0.97	1.06
Mittelwert	-	0.55	0.46	0.83	0.52	0.66	0.61	0.61
Minimum	-	0.09	0.05	0.52	0.52	0.47	0.47	0.05

2.2.3.3. Raumluftheuchtigkeit

Der Mensch reguliert seinen Wärmehaushalt auch über die Atmung und Verdunstung. Bei normalen Raumtemperaturen um die 20°C spielt die Verdunstung allerdings eine untergeordnete Rolle. Im Allgemeinen wird eine relative Luftfeuchtigkeit bei 22°C Raumtemperatur von 30-70% als angenehm empfunden. Vermehrte Aufwirbelung von Staub durch Konvektion und auch verschwelender Staub durch hohe Oberflächentemperaturen von Radiatoren, Glühheizkörpern, etc. wird auch als trockene Luft empfunden, auch wenn die gemessene relative Luftfeuchtigkeit nicht besonders niedrig ist. Staub verschwelt ab einer Temperatur von etwa 55°C und setzt dabei Ammoniak und andere Gase frei (Recknagel 2001). Damit ist auch Geruchsbelästigung verbunden.

Hohe Luftfeuchtigkeit bindet Staub und hält ihn am Boden. Zur Reduzierung von Staub ist ein Zentralstaubsauger und ein Lüftungssystem mit Filter sicher die bessere Alternative als die Luftfeuchtigkeit durch Luftbefeuchter zu erhöhen.

In Tabelle 2-19 sind Werte für die Raumluftheuchtigkeit aus ÖNORM H 6000 Teil 3 ersichtlich. Die anderen oben beschriebenen Normen enthalten keine Werte für die Raumluftheuchtigkeit. Die Auswertung der Messwerte der Raumluftheuchtigkeit der Gebäude in Hörbranz und Egg sind in Tabelle 2-20 dargestellt. Aus dem Vergleich der Messwerte mit den vorgeschlagenen Werten der ÖNORM H 6000 Teil 3 ist zu sehen, dass die tatsächliche Raumluftheuchtigkeit in den Wohnungen mit einem Durchschnittswert von 28,3 % r.F. deutlich unter dem Normwert liegt.

Tabelle 2-19: Werte für die Raumluftheuchtigkeit aus ÖNORM H 6000 Teil 3

Norm	relative Luftfeuchtigkeit [%]		Bemerkungen
	untere Grenze	obere Grenze	
ÖNORM H 6000 Teil 3	35	65	für Lüftungstechnische Anlagen mit Feuchtigkeitsregelung

Tabelle 2-20: Messwerte der Raumluftheuchtigkeit im Zeitraum vom 01.11.2001 bis 28.02.2002

gemessene Raumluftheuchtigkeit im Zeitraum von 01.11.2001 bis 28.02.2002								
[% r.F.]	Hörbranz			Egg				alle Wohnungen
	Nr. 53	Nr. 52	Nr. 51	Nr. 55	Nr. 56	Nr. 57	Nr. 54	
Maximum	50.9	46.4	50.2	42.2	38.5	40.8	34.9	50.9
Mittelwert	35.9	30.6	32.6	23.8	26.2	25.7	23.1	28.3
Minimum	21.4	18.1	21.8	12.5	16.2	15.3	13.6	12.5

2.2.4. Untersuchungen zum Nutzungsverhalten

2.2.4.1. Belegungsauswertung

Die Auswertung der Anwesenheitszeiten der BewohnerInnen ist für die thermische Simulation der Wohnanlagen von Bedeutung, da die anwesenden Personen durch die von ihnen abgegebene Wärme einen Beitrag zu den inneren Wärmegewinnen in den Gebäuden darstellen. Die Anzahl der anwesenden BewohnerInnen in einer Wohnung wird auf 1 m² Wohnfläche bezogen um so den Vergleich unter den verschiedenen Wohnanlagen zu ermöglichen. In Abbildung 3-8 ist das Ergebnis der Auswertung der Anwesenheitszeiten der BewohnerInnen in ihren Wohnungen mit unterschiedlichen Bandbreiten dargestellt. Um die Extremwerte der Belegung herauszufiltern, werden die höchsten beziehungsweise niedrigsten Belegungswerte aus der Auswertung genommen. Bei einer Bandbreite von 90 % fallen 10 % der Werte aus der Auswertung, bei einer Bandbreite von 70 % werden 30 % der Werte und bei einer Bandbreite von 50 % werden 50 % der Werte aus der Auswertung genommen. Zur Veranschaulichung der erhaltenen Ergebnisse zeigt Abbildung 3-9 die Mittelwerte der Bandbreiten über einander gelegt und auf eine Wohnung mit 90 m² Wohnfläche bezogen. In Tabelle 3-4 sind die Ergebnisse dieser Auswertung in Tabellenform zu sehen.

Im Statistischen Jahrbuch Österreichs 2001 (STATISTIK 2001) werden 33 m² als durchschnittliche Nutzfläche pro Wohnung und pro Person für das Jahr 1991 angegeben. Dies entspricht einer Belegung von 0,0303 Personen pro m² Nutzfläche. Vergleicht man diesen Wert mit dem in Tabelle 3-4 angegebenen Mittelwert für die Anzahl der anwesenden Personen pro m² Wohnfläche (0,027 Personen bezogen auf 1 m² Wohnfläche – beziehungsweise 37,7 m² pro Person), sieht man dass diese Werte nicht wesentlich voneinander abweichen. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Größen der betrachteten Wohnungen etwas über dem österreichischen Durchschnitt liegen.

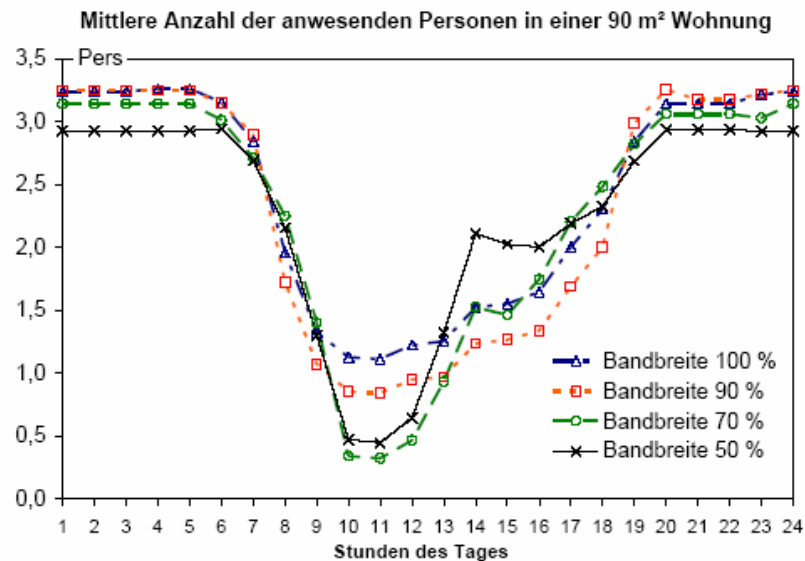


Abbildung 3-9: Zur Veranschaulichung der erhaltenen Ergebnisse werden nun die Mittelwerte der Bandbreiten über einander gelegt und auf ein Wohnung mit 90 m² Wohnfläche bezogen.

2.2.4.2. Temperaturniveaus in den Wohnungen

Die Temperaturniveaus in den Wohnungen sind für den Wärmebedarf als eine entscheidende Größe anzusehen. Aus diesem Grund wurde die Frage zehn des Fragebogens ausgearbeitet. Sie beschäftigt sich mit den wünschenswerten und den nach Einschätzung der Bewohner in ihren Wohnungen vorhandenen Raumlufttemperaturen. Zur Auswertung wurden die für den Bereich „Wohnzimmer“ angegebenen Werte verwendet. Die im Rahmen des CEPHEUS (2001) Projektes durchgeführten Raumlufttemperaturmessungen erfolgten in genau diesen Wohnräumen und können somit mit den Befragungsergebnissen verglichen werden.

Abbildung 3-10 zeigt die erhaltenen Ergebnisse in der Form eines Balkendiagrammes im Überblick. Die Auswertung zeigt, dass der Mittelwert der von den Bewohnern gewünschten Temperatur, je nach Grad der Extremwertbereinigung, eine Temperaturniveau von ca. 22°C aufweist. Auf die Frage nach der geschätzten Mitteltemperatur in ihren Wohnzimmern ergab sich eine Raumlufttemperatur um die 21,2°C; die Mittelwerte der in denselben Räumen gemessenen Temperaturen hingegen liegen über 23°C. Aus diesen Zusammenhängen können nun einige Schlüsse gezogen werden. Es ist zu erkennen, dass das Temperaturniveau in den Wohnungen von den Bewohnern nicht richtig eingeschätzt werden kann. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass mit einem Temperaturniveau von 20°C, in einer Wärmebedarfberechnung eines Geschosswohnbaues im Allgemeinen kein Auslangen gefunden werden kann. Bedeutung erlangen diese Zusammenhänge vor dem Hintergrund, dass eine Erhöhung der Raumlufttemperatur speziell im Niedrigenergie- und Passivhaus relativ große Wärmebedarfszuwächse verursachen.

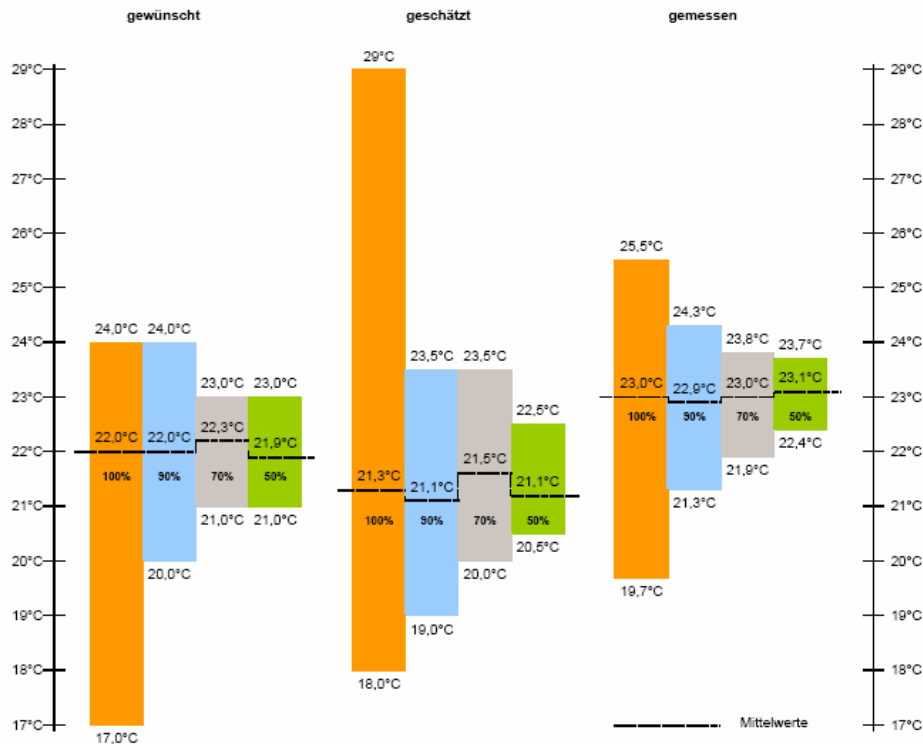


Abbildung 3-10: Extremwertbereinigte Bandbreiten der Raumlufttemperaturen der untersuchten Wohnräume im Vergleich. Von den Bewohnern gewünschte und geschätzte Temperaturen ergeben sich aus der Auswertung des Fragebogens. Die Auswertung der gemessenen Temperaturen stützen sich auf die Messwerte der im Rahmen des CEPHEUS (2001) Projektes durchgeführten Messungen (Messzeitraum November 2001 bis Februar 2002).

2.2.4.3. Lüftungsauswertung

In den untersuchten Gebäuden befinden sich zum Teil Zu- und Abluftanlagen zur geregelten Versorgung mit Frischluft, trotzdem wird in den Wohnungen noch zusätzlich über die Fenster gelüftet. Bei Niedrigenergie- und Passivhäusern ist der Einfluss der Fensterlüftung auf den Heizenergieverbrauch besonders zu berücksichtigen, da der Transmissionswärmeverlust durch die ausgeprägte Wärmedämmung gering ist und kaum mehr verbessert werden kann, der Verlust durch die Lüftung kann durch die Verwendung von entsprechenden Zu- und Abluftanlagen ebenfalls gering gehalten werden, allerdings kann durch die Fensterlüftung der BewohnerInnen der Lüftungswärmeverlust stark steigen. Daten über maschinelle Lüftung liegen zumeist in Form von Messdaten vor, die Erfassung von Daten über die Fensterlüftung ist schwer durchführbar, da es einerseits für die NutzerInnen schwierig ist das eigene Verhalten in Bezug auf den Zeitpunkt, die Dauer und Art (gekippt oder halb bzw. voll geöffnet) des Öffnens der Fenster genau zu beschreiben.

Andererseits ist es problematisch die Luftmenge, die bei der Fensterlüftung in die Wohnung strömt, ohne genaue Kenntnis der Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung zu berechnen. Für die Berechnung der Luftgeschwindigkeiten in der Fensteröffnung sind die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur und der Winddruck entscheidende Größen. Da Messungen über die Benutzung der Fenster (Zeitpunkt, Dauer und Art der Fensterlüftung) und über die Luftgeschwindigkeiten in der Fensteröffnung (Temperatur- und Druckdifferenzen zwischen Innenraum und Außenluft) sehr aufwändig und kostenintensiv sind werden diese Messungen meistens nicht durchgeführt.

Die Ermittlung der Lüftungsraten der gegenständlichen Studie wird laut der in Kapitel 2.3.1, Tabelle 2-10 beschriebenen Daten durchgeführt. Abbildung 3-11 zeigt die ermittelten Luftwechselraten in Form von Tagesverläufen.

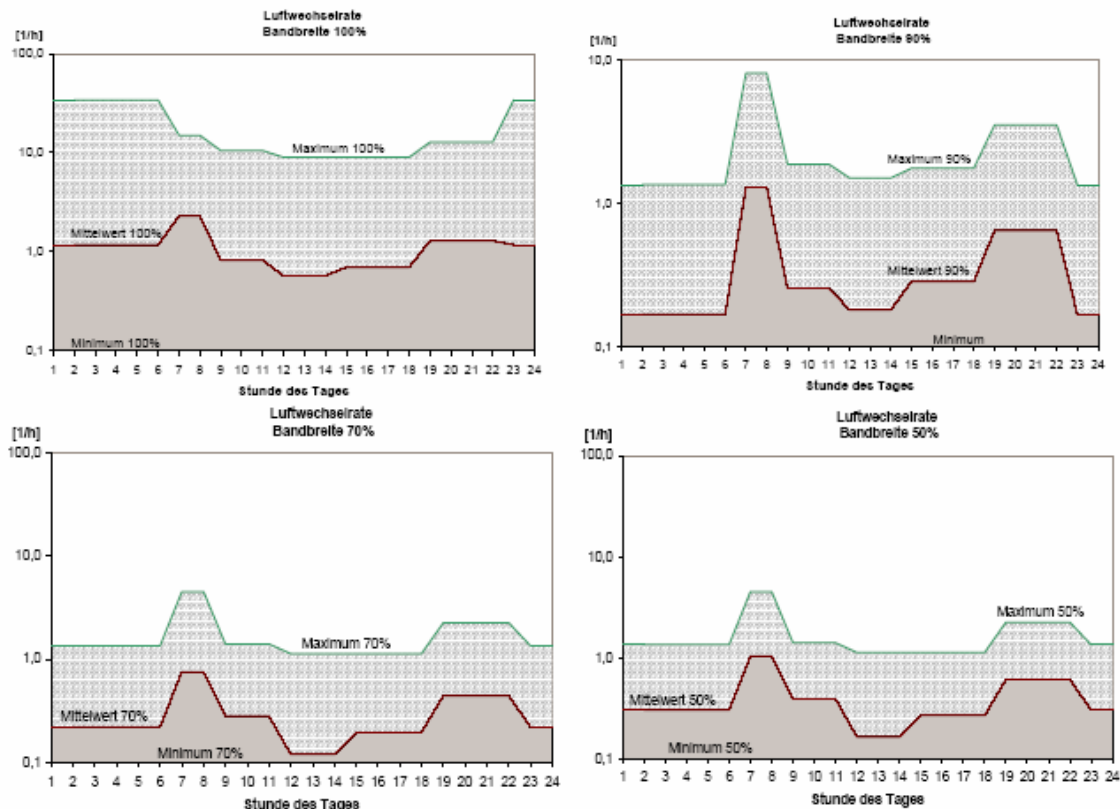


Abbildung 3-11: Luftwechselrate, Bandbreite 100%, 90 %, 70 % und 50 %

Die Auswertung zeigt, dass durch ein Weglassen von 10 % an Extremwerten (d.h. Bandbreite 90 %) die Mittelwerte der stündlichen Luftwechselraten stark fallen. Der Sprung von Bandbreite 90 % auf Bandbreite 70 % und dann auf 50 % zeigt eher kleine Auswirkung auf die stündlichen Mittelwerte.

Die diesbezüglichen Tagesmittelwerte der 90 %, 70 % und 50 % Bandbreiten sind beinahe ident und liegen mit 0,3 /h und 0,4 / h nur knapp unter den in den Normen (siehe dazu: Tabelle 2-17) vorgeschriebenen hygienischen Mindestluftwechselraten. Bei Interpretation dieser Daten sollte man bedenken, dass 32 der 53 befragten Wohneinheiten mit einer kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage ausgestattet sind.

2.2.5. Qualitative Bewertung von Heizungskonzepten

2.2.5.1. Heizungssysteme

Tabelle 5-3 zeigt eine Zusammenfassung der oben qualitativ beschriebenen Heizungssysteme. Hierbei wurden die Kriterien Einsatzgebiet, Wärmequelle, Platzbedarf, mögliche Wärmeabgabesysteme, Wärmeträger für die Heizung sowie einige Vor- und Nachteile aufgenommen, um einen schnellen Vergleich zwischen den Systemen zu ermöglichen. Der Platzbedarf für zentrale Systeme bezieht sich auf ein Gebäude mit 12 Wohneinheiten (siehe Kapitel 4).

Tabelle 5-3: Übersicht der Eigenschaften der qualitativ beschriebenen Systeme

	Kleinwärmepumpe – Luftheizung – dezentral	Gastherme – Luftheizung – dezentral	Gastherme – Wasserheizung – dezentral	Pelletskaminofen – Luftheizung – dezentral	Pelletskaminofen – Wasserheizung – dezentral	Sole-Wärmepumpe – Wasserheizsyst. – zentral (mit Speicherbeladung)	Pellets- oder Gaskessel zentral – Luftheizsyst. dezentral	Pellets- oder Gaskessel – Wasserheizsyst. – zentral	Kachelofen – Wasserheizung – dezentral
Einsatzgebiete									
Einfamilienhäuser	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reihenhäuser	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Geschosswohnbau	b	b	x	b	b	x	x	x	
Wärmequelle									
Außenluft	x	x		x			x		
Abluft	x	x		x			x		
Erde/reich						x			
Biomasse				x	x		x(o)	x(o)	x
Fossil (Gas, Öl)		x	x				x(o)	x(o)	
Strom	x					x			
Solar	e	o	o	o	o	b	o	o	e
Ca. Platzbedarf und Speicher ohne Rohrleitungen *) [m²]	1,0 (+0,4) /WE	1,5 (+0,4) /WE	1,0 (+0,4) /WE	2,8 (+0,1) /WE	2,5 (+0,1) /WE	0,5 /WE 1,0 /Geb.	0,8 /WE 3,0 /Geb.	0,5 /WE 3,0 /Geb.	4 (+0,1) /WE
Mögliche Wärmeabgabe:									
Radiator			x		x	b		x	x
Fußbodenheizung			x		x	x		x	x
Wandheizung			x		x	x		x	x
Deckenheizung			x		x	x		x	x
Luftheizung	x	x		x			x		
Wärmeträger Heizung									
Luft	x	x		x			x		x
Wasser			x		x	x		x	
Vorteile									
Lüftung durch Heizsyst. Heizung stromunabh.	x	x		x			x		b
Nachteile									
Kleine Heizlast notw.	x	x		x			x		
Pufferspeicher notwendig		x	e	x	x		x	x	x
Fläche für Erdkollektor						x			

x: trifft zu; b: trifft bedingt zu

e: empfohlen; o: optional

*) WE: Wohneinheit, Geb. Gebäude, Werte in Klammern für Solaranlage

2.2.6. Quantitative Bewertung von Heizungskonzepten

2.2.6.1. Raumlufffeuchten

Ein weiterer Punkt für die Bewertung der Heizungssysteme stellt die sich einstellende Raumlufffeuchte dar. Diese ist abhängig vom Luftwechsel und von den inneren Feuchtequellen wie Personen und Pflanzen. Je größer der Luftwechsel, desto mehr wird im Winter absolut trockenere Luft von außen in den Raum gebracht und dort aufgeheizt, was zu einer geringeren relativen Luftfeuchtigkeit führt.

Abbildung 6-25 zeigt die monatsweise Verteilung der Raumlufffeuchten für das zentrale Pellets-Wassersystem und das dezentrale Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystem. Die Systeme unterscheiden sich primär im Luftwechsel, der beim Pellets-System konstant 0,4 h⁻¹ und beim dezentralen Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystem während des Heizbetriebs

0,54 h⁻¹ ist, um ausreichend Heizleistung bereitstellen zu können. Die Raumluftheuchten wurden mit einem Intervall von einem Prozent-Punkt ausgewertet.

Die monatlichen Verläufe der Raumluftheuchten sind sehr ähnlich. Unterschiede sind vor allem bei den Anteilen der höheren Luftfeuchte erkennbar. So reichen z.B. die Feuchteanteile beim Radiatorsystem im Jänner bis knapp über die 40% Marke. Beim Luftsystem beträgt die maximale Luftfeuchte im Jänner maximal 35 %. Diese Differenz von ca. 5% zeigt sich auch in den anderen Monaten. So ist der Anteil an Raumluftheuchtigkeit von 25% in den Monaten Dezember bis Februar zwischen 9-10 % für das dezentrale Luft/Luft/Wasser Wärmepumpensystem und 6-7 % beim Radiator System. Dieser Unterschied kann natürlich durch Aufstellen von Pflanzen etc. wieder wettgemacht werden. Zieht man allerdings in Betracht, dass bei der winterlichen Fensterlüftung kaum die angenommenen 0,4 h⁻¹ erreicht werden, fällt der Unterschied der Luftfeuchte entsprechend deutlicher aus.

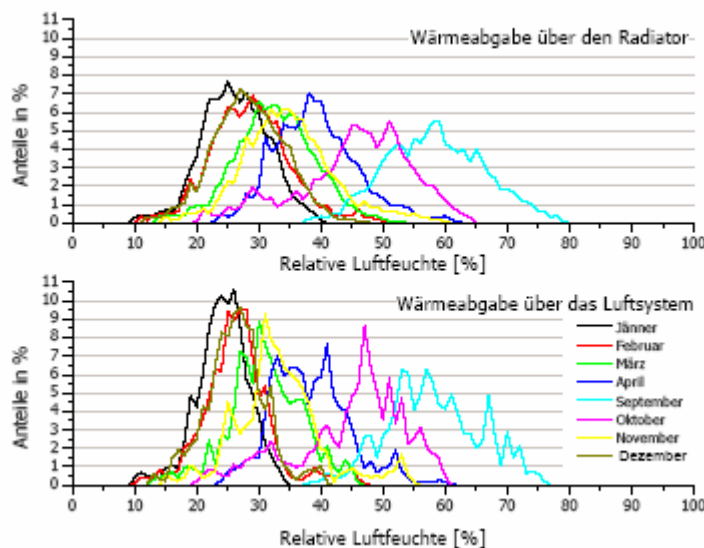


Abbildung 6-25 Histogramm der Raumluftheuchten (Monatsweise dargestellt) für die Referenzbedingungen

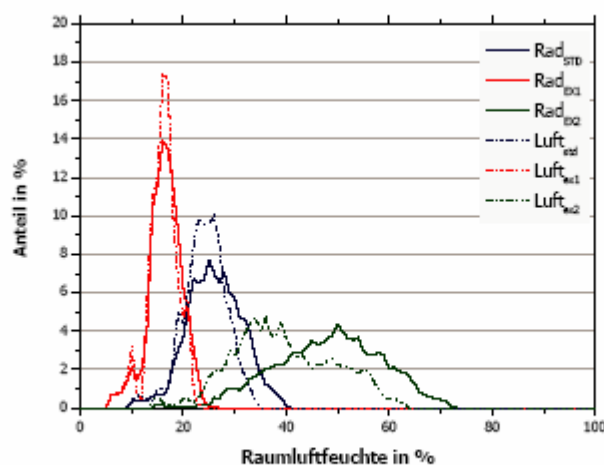


Abbildung 6-26 Histogramm der Raumluftheuchten (Heizperiode) für die in Kap. 6.2 definierten Extremszenarien und die Standardbedingungen

Der Vergleich der Raumluftheuchte zwischen dem Radiatorsystem gegenüber dem Luftsystem in Abbildung 6-26 zeigt eine deutliche Tendenz zur geringeren Luftfeuchte bei der Verwendung von Luftsystemen bei geringeren Heizlasten (Ex 2 und Standard). Bei der niedrigen Heizlast wurde ein sehr niedriger Luftwechsel von angenommen. Bei Fensterlüftung wird dieser auch auf 0,2 h⁻¹ gehalten, bei der Luftheizung wird jedoch im Heizbetrieb ein Luftwechsel von 0,54 h⁻¹ gefahren, was zu deutlich höherem Luftwechsel

und daher auch niedrigeren Luftfeuchtigkeiten führt. Bei hohen Heizlasten ist die Raumluftfeuchte beider System fast gleich, da hier zum einen ein Luftwechsel von $0,8 \text{ h}^{-1}$ für das Radiatorsystem und $0,67 \text{ h}^{-1}$ (für das gewählte Gerät maximal möglicher Volumenstrom) für das Luftsystem gewählt wurden und die höhere Raumtemperatur auch bei Fensterlüftung generell zu geringen Raumluftfeuchten führt. In diesem Fall muss der Luftwechsel zur Beheizung nicht erhöht werden.

2.2.6.2. Energiebilanz

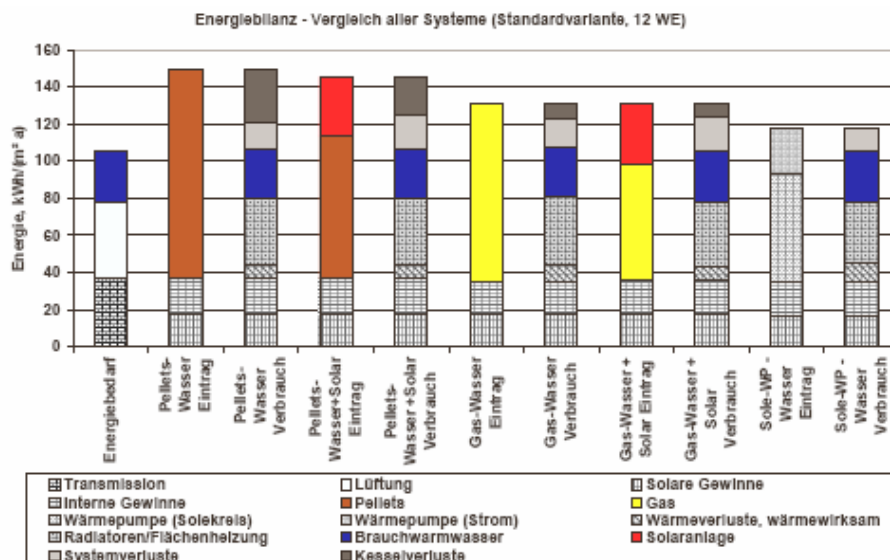


Abbildung 6-31 Energiebilanz aller simulierten Systeme (Standardvariante, Referenzgebäude 2, 12 WE) ohne Haustechnik- und Haushaltsstrom

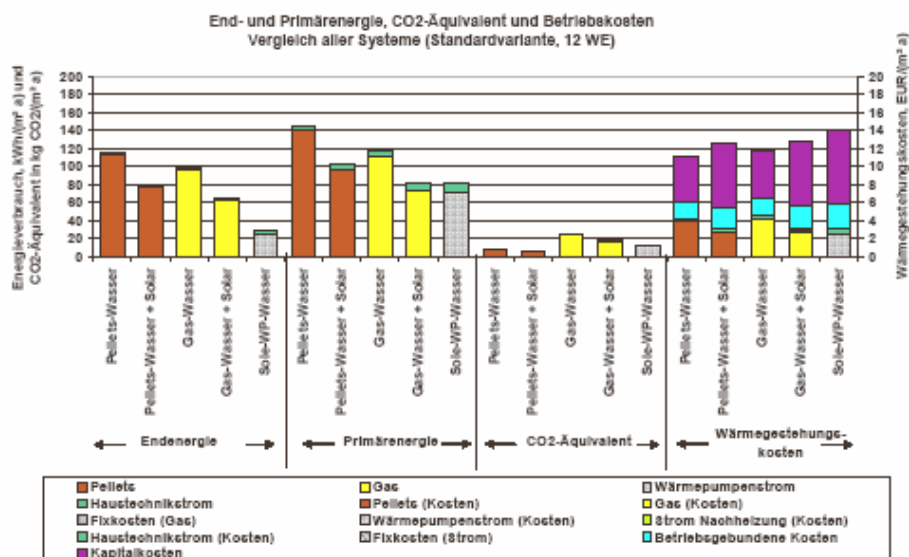


Abbildung 6-32 End- und Primärenergiebedarf, CO₂-Äquivalent-Emissionen sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme ohne Haushaltsstrom (Standardvariante, Referenzgebäude 2, 12 WE)

2.2.6.3. Übersicht

Die Tabelle 6-13 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse der quantitativen Bewertung für das Referenzgebäude 1. Da die Ergebnisse des Referenzgebäudes 2 sich nicht signifikant vom Referenzgebäude 1 unterscheiden (außer das der Energiebedarf aufgrund der größeren Kompaktheit der Gebäude etwas geringer ist) wird auf eine Zusammenfassung der Ergebnisse des Referenzgebäudes 2 verzichtet.

Als Ergebnis können die folgenden Aussagen getroffen werden: Der Heizenergiebedarf für die Luftsysteme ist aufgrund des von 0,4 h⁻¹ auf 0,54 h⁻¹ erhöhten Luftwechsels etwas höher als bei den anderen Systemen. Der erhöhte Luftwechsel war zum Abdecken des Heizenergiebedarfs notwendig (vgl. Kap. 4.2.2).

Der Endenergiebedarf (Heizung, Bauchwarmwasser, Wärmeverluste) ist für die verschiedenen Systeme der Standardvariante sehr unterschiedlich. Die zentrale Pelletsheizung ohne Solaranlage (PoS) hat mit 126 kWh/m²a den höchsten und die Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage (Luft mS) mit 13,7 kWh/m²a Endenergiebedarf (ohne Haustechnikstrom). Es tritt also ein Verhältnis 1 : 9 zwischen diesen beiden Extremvarianten auf. Die mit Strom betriebenen Wärmepumpenvarianten (SWP und Luft) können den Endenergieeinsatz Strom aufgrund der Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen bei der Wärme vervielfachen.

Beim Primärenergiebedarf ist der Unterschied wesentlich geringer (Verhältnis 1 : 3,6). Die Reihenfolge der Systeme bleibt jedoch erhalten. Für den Primärenergiebedarf von Strom wurde hierbei der EU-17 Strommix (EU-Länder plus Norwegen und Schweiz) (vgl. Kap. 6.1.3) aus Gemis 4.1, 2003 zugrundegelegt.

Ein vollständig anderes Bild ergibt sich bei den CO₂-äquivalent-Emissionen. Hier hat das Pelletssystem

mit Solaranlage (PmS) mit 7,3 kg/m²a die geringsten und das System Gas ohne Solaranlage (GoS) mit 26,8 kg/m²a die höchsten Emissionen. Das System Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage (Luft mS) liegt mit 7,6 kg/m²a allerdings nur knapp an zweiter Stelle. Dies ist durch die sehr geringen CO₂-äquivalent-Emissionen des Energieträgers Biomasse (nur geringe Emissionen durch Bau, Betrieb und Abriss) gegeben.

Die Wärmegestehungskosten bieten wiederum eine vollständig andere Reihenfolge. Hier schneidet das System Gaskessel ohne Solaranlage (GoS) mit 12,4 EUR/m²a am besten ab, knapp gefolgt vom System Pelletskessel ohne Solaranlage (PoS) mit 12,5 EUR/m²a. Hier halten sich besserer Wirkungsgrad und geringere Investitionskosten des Gaskessels bei höheren Anschluss- und Betriebskosten gegenüber dem Pelletskessel die Waage. Die Koppelung mit Solaranlagen verteuert die Systeme, da sich die zusätzlichen Investitionskosten nicht durch eingesparte Betriebskosten amortisieren lassen. Allerdings sind in dieser Betrachtung keine Förderungen für Solaranlagen berücksichtigt. Das teuerste System ist die Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage (Luft mS) mit 17,1 EUR/m²a. Allerdings bekommt man hier auch eine kontrollierte Lüftungsanlage mitgeliefert, welche bei den anderen Systemen extra gekauft werden müsste.

Tabelle 6-13 Ergebniszusammenfassung der quantitativen Bewertung der Heizungssysteme

		PoS	PmS	GoS	GmS	SWP	Luft oS	Luft mS
Standardvariante								
Heizenergiebedarf	kWh/m²a	45,9	45,9	45,9	45,9	45,1	48,6	48,1
Brauchwarmwasserbedarf	kWh/m²a	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9
Endenergiebedarf								
Pellets/Gas	kWh/m²a	126	82,5	102	69,4			
Strom Heizung	kWh/m²a					22,0	27,5	13,7
Strom Haustechnik	kWh/m²a	2,2	4,1	2,1	3,4	4,6	1,5	3,6
Primärenergiebedarf	kWh/m²a	163	114	125	91	75	80	45
CO ₂ -Äquivalent-Emissionen	kg/m²a	8,9	7,3	26,8	19,4	11,9	12,7	7,6
Wärmegestehungskosten	EUR/m²a	12,5	14,3	12,4	14,2	14,8	15,6	17,1
Mittlere Raumtemperatur schwankung bei Heizbetrieb	°C	±0,3	±0,3	±0,3	±0,3	±0,5	±0,4	±0,4
4 Stunden Winter Fensterlüftung Wiederaufheizzeit T _{op} =22°C	h	3	3	3	3	6	18	18
14 Tage Winter Absenkung auf 15°C Wiederaufheizzeit T _{op} =22°C	d	1	1	1	1	3	9	9
Extrem Szenario hohe Heizlast								
Heizenergiebedarf	kWh/m²a	101	101	101	101	101	101	101
Nicht gedeckter Heizbedarf	kWh/m²a	5,1	4,6	5,1	5,0	8,2	17,7	19,8
Wärmegestehungskosten	EUR/m²a	15,5	17,3	15,4	17,2	17,4	19,2	21,3
Extrem Szenario niedrige Heizlast								
Heizenergiebedarf	kWh/m²a	13,8	13,8	13,8	13,8	15,2	15,2	15,2
Wärmegestehungskosten	EUR/m²a	10,7	12,8	10,5	12,5	13,8	14,8	16,3

PoS – System 8, zentraler Pelletskessel ohne Solaranlage
 PmS – System 8, zentraler Pelletskessel mit Solaranlage
 GoS – System 8, zentraler Gaskessel ohne Solaranlage
 GmS – System 8, zentraler Gaskessel mit Solaranlage
 SWP – System 6, zentrale Solewärmepumpe mit dezentralen Brauchwarmwasserspeichern
 Luft oS - System 1, Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral ohne Solaranlage
 Luft mS – System 1, Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage
 Top operative Raumtemperatur (Mittelwert aus Lufttemperatur und Temperatur der Umschließungsflächen)

Die Raumlufttemperatur wird für das Standardszenario bei allen Systemen gut gehalten. Leichte Vorteile haben die Radiatorsysteme, das Luftsystem liegt in der Mitte und die Fußbodenheizung liegt aufgrund ihrer großen thermischen Masse mit $\pm 0,5^\circ\text{C}$ etwas schlechter. Das Wiederaufheizverhalten der betrachteten Systeme nach einer definierten Abkühlung ist abhängig von der verfügbaren Leistung sowie der Trägheit des Wärmeabgabesystems. Am schnellsten reagieren hier die Radiatorsysteme mit zentraler Bereitung und Pufferspeicher. Der Pufferspeicher kann kurzfristig eine hohe Leistung abgeben und die Radiatoren sind relativ flink. Das System zentrale Sole Wärmepumpe Fußbodenheizung (SWP) ist zwar ebenfalls an einen Pufferspeicher gekoppelt, jedoch reagiert der Boden wesentlich langsamer. Für eine 4-stündige Fensterlüftung kühlt sich der Boden aufgrund dieser Trägheit jedoch auch wesentlich weniger stark ab, wie die anderen Systeme. Bei einer Abkühlung über 2 Wochen auf 15°C werden jedoch unter den getroffenen Annahmen 3 Tage bis zur Wiederaufheizung auf 22°C benötigt. Das Luftsystem hat aufgrund seiner durch den limitierten Luftwechsel und der maximalen Einblasetemperatur begrenzten Heizleistung die größten Probleme bei einer Wiederaufheizung bei geringen Außentemperaturen.

Das Szenario hohe Heizlast (25°C Raumtemperatur, Luftwechsel $0,8\text{ h}^{-1}$, Brauchwassertemperatur 60°C , geringe Innenwärmen) erhöht den Heizenergiebedarf von $45\text{ kWh/m}^2\text{a}$ bei der Standardvariante auf $101\text{ kWh/m}^2\text{a}$ um mehr als das Doppelte gegenüber dem Standardszenario. Hier zeigt die Limitierung der verschiedenen Heizungssysteme (bei Auslegung auf die Standardvariante) auf unterschiedliches Benutzerverhalten. Während die zentralen Kesselsysteme mit Radiatoren die benötigte Wärme fast vollständig abdecken können (5 % Unterdeckung), so hat das System SWP bereits etwas mehr Probleme (8 % Unterdeckung). Signifikant sind jedoch die Unterdeckungen der Luftsysteme mit ca. 20 % Unterdeckung des Heizenergiebedarfs bedingt durch die begrenzte Heizleistung durch

limitierten Luftwechsel und der maximalen Einblasetemperatur. Dies kann man natürlich auch als positiven Erziehungseffekt für die Benutzer interpretieren.

Das Szenario niedrige Heizlast (20°C Raumtemperatur, Luftwechsel 0,4 h⁻¹, Brauchwassertemperatur 45°C, Bedarf von 50 auf 30 l/d Person abgesenkt, hohe Innenwärmen) bringt eine Reduktion des Heizenergiebedarfs auf ca. 14 kWh/m²a. Die Wärmegestehungskosten sinken nur um 10%, da Kapital und betriebsgebundene Kosten konstant sind.

2.2.7. Zusammenfassung der Inhalte, die für "grünes Licht" maßgeblich waren

2.2.7.1. Temperatur:

Soll Raumtemperaturen sind laut Bewohnerbefragung der Studie auf 22,5° zu setzen. Interessant dabei ist, dass die Bewohner im Durchschnitt ihre Räume kälter einschätzen als sie tatsächlich sind, das heißt, dass die gemessenen Temperaturen im Mittel über 23° lagen, während die von den Bewohnern geschätzten Temperaturen knapp über 21° lagen. Aus diesen Aussagen leiten wir die Frage ab, ob die gewünschten Raumtemperaturen von ca 22,5° (also wärmer als das geschätzte derzeitige Niveau) nicht in der Realität dann bei 24° liegen müssten um dem Empfinden der Bewohner zu entsprechen. Ein Grund für diesen Unterschied könnte laut unserer Einschätzung in der Trockenheit der Raumtemperatur liegen, da ja bekanntlich trockene Luft kälter eingeschätzt wird als feuchte.

2.2.7.2. Luftwechsel:

Die in den Referenzanlagen gemessenen durchschnittlichen Luftwechselzahlen zwischen 0,46/h und 0,83/ h entsprechen den Ergebnissen in dem Projekt: Technischer Status von Lüftungsanlagen.

Interessant ist, dass im Tagesverlauf die höchsten Luftwechsel nach dem Aufstehen in den Morgenstunden zu verzeichnen sind, und dann noch einmal in den Abendstunden, während in der Nacht mit mittlerem Luftwechsel gefahren wird. Dies ist deshalb bemerkenswert, weil gerade in der langen Zeit der Erholungsphase in der Nacht eigentlich die Lüftungsanlage ihre Qualität ausspielen könnte, dafür aber nicht verwendet wird. Wenn in der Früh intensiv gelüftet wird, muss dies eigentlich bedeuten, dass die Luftqualität nach der Nacht als unzureichend empfunden wird. Hier hat vielleicht weder bei den Planern noch bei den Nutzern ein entsprechendes Umdenken stattgefunden.

2.2.7.3. Luftfeuchtigkeit:

Luftfeuchtigkeit und das Gefühl trockener Luft wird auch hier hauptsächlich mit Staubverschmelzung und Staubbelastung in Verbindung gebracht. Es wird empfohlen Staub zu reduzieren und die Luftfeuchtigkeit nicht zu erhöhen.

Dem können wir uns nicht anschließen. Die negative Wirkung von trockener Luft auf die oberen Atemwege und die Elastizität und damit Alterung von Haut und Haaren ist ein objektives Kriterium, das auch bestehen bleibt, wenn dies von Nutzern nicht empfunden wird. Es handelt sich hier auch um Langzeiteinflüsse, die vom Nutzer nicht bemerkt und bewertet werden können, weil in der meisten Fällen kein entsprechender Vergleich vorhanden ist. Belegung:

Die in den Projekten vorgefundene Belegung mit 37,7 m² pro Person liegt über dem österreichischen Durchschnitt mit ca. 33 m² pro Person und deutlich über dem Durchschnitt im sozialen Wohnbau. (siehe Kap. 3) . Interessant ist die mittlere Anzahl der anwesenden Personen in einer Wohnung, die mittels einer Befragung erhoben wurde.

2.2.7.4. Bewertung von Heizungskonzepten:

Wie zu erwarten, ist die Luftfeuchtigkeit im Winter bei dem radiatorgebundenen System etwas höher als bei dem rein luftgebundenen System, da dieses um ausreichen Heizleistung bereitstellen zu können teilweise mit etwas höheren Luftwechseln fährt.

Energetische und finanzielle Bilanz:

Hier kann kein Favorit unter den dargestellten Heizsystemen ermittelt werden, im Heizenergiebedarf liegt das Luftsystem höher, im Endenergiebedarf kommt es einerseits mehr darauf an, ob ein System eine Solaranlage aufweist oder nicht, andererseits kann der Typus Wärmepumpe im Bezug auf diese Kenngröße auf Grund seines geringen Stromverbrauches punkten. Primärenergetisch ist die Situation wieder verschoben, und die Bewertung nach CO₂ Äquivalenz bringt noch einmal ein anderes Bild. Hier schneidet das Pelletssystem am besten ab.

Auch dieses Forschungsprojekt konnte für "Grünes Licht" wertvolle Ergebnisse liefern.

3. Vergleichsmatrix Großes Volumen

3.1. Ziel und Methode

Großvolumige Wohngebäude unterscheiden sich im Hinblick auf das Erreichen von Passivhausqualität deutlich von kleinen und mittleren Gebäuden wie Einfamilien- und Reihenhäusern.

Um zu beleuchten, welche Unterschiede es gibt, welche Schwierigkeiten und Erleichterungen im großvolumigen Wohnbau auftreten können und um einen generellen Eindruck über den Einfluss verschiedener Faktoren zu gewinnen, haben wir in diesem Kapitel verschiedene Parameter genauer untersucht und anschaulich dargestellt.

Ziel dieses Kapitels ist es, Kenntnis darüber zu vermitteln, wie mit minimalem Einsatz von Mitteln sehr gute Wohnqualität und gleichzeitig sehr geringer Energiebedarf erzielt werden kann und welche Auswirkung Entscheidungen haben, die vordergründig nichts oder wenig mit der Energiefrage zu tun haben.

Wir beschäftigen uns hier ganz allgemein mit dem großen Volumen im Wohnbau, vorderhand mit dem Wohnungsneubau, ein Exkurs wird uns aber auch zum Spezialfall Sanierung führen.

Wenn wir einen Heizenergiebedarf von 15 kWh/m² Nettonutzfläche und Jahr anstreben, wie er eine Grundvoraussetzung für das Passivhaus darstellt, so darf die Summe aus Transmissionswärmeverlust und Lüftungswärmeverlust abzüglich solarer Gewinne und interner Gewinne maximal diesen Wert erreichen.

Nach dem Durchrechnen von zahlreichen Gebäuden verschiedener Größen haben wir ein Standardgebäude definiert, auf das wir unsere Aussagen beziehen können. In verschiedenen Exkursen z.B. zu den Themen: Kompaktheit, Volumen, Fenstergrößen, Verschattung, geschlossene oder offene Bauweise, Sanierung stellen wir Vergleiche zu dem definierten Standardgebäude an.

In einem speziellen Unterkapitel widmen wir uns der Heizlast, dem Problem von Randwohnungen und dem Problem von unbeheizten Wohnungen.

3.2. Geometrische Kenndaten

3.2.1. Oberflächen-Volumsverhältnis, charakteristische Länge

Wenn man Gebäude mit geringem Energieverbrauch konzipieren möchte, sind einige grundsätzliche geometrische Parameter von großer Bedeutung.

Unabhängig von allen übrigen Werten lässt sich der Energieverbrauch eines Gebäudes allein durch Form und Größe prädestinieren.

Die hierfür entscheidenden Parameter sind das Gebäudevolumen und die Kompaktheit. Mit steigender Gebäudekubatur und zunehmender Kompaktheit verringert sich der Transmissionswärmebedarf (wenn alle übrigen Parameter gleich bleiben) dramatisch.

Diese Tatsache schließt –neben mehreren anderen– alle kleinen Volumina (wie z.B. Einfamilienhäuser) davon aus, als volkswirtschaftlich und gesamtökologisch sinnvolle Modelle des energiesparenden Wohnens bewertet werden zu können.

Die Qualität einer Gebäudeform in energietechnischer Hinsicht lässt sich durch das sog. Oberflächen-Volumsverhältnis (OVV oder A/V-Verhältnis) oder die in der ÖN B8110 verwendete charakteristische Länge eines Gebäudes l_c ausgezeichnet darstellen.

$A/V = A_{\text{brutto}}/V_{\text{brutto}}$ (1/m) mit

V_{brutto} = beheiztes Bruttovolumen in m³ lt. ÖNORM: V_B und

O_{brutto} = beheizte Bruttooberfläche in m² lt. ÖNORM: A_B

Wir verwenden in weiterer Folge die Begriffe aus der ÖNORM.

Je kleiner das A/V-Verhältnis desto besser:

ein A/V-Verhältnis von 1 ist z.B. ein kleines Gartenhaus, A/V 0,2 - 0,4 ist ein großer Wohnbau, s. Tab. 321A

$$l_c = \frac{V_B}{A_B} \quad \text{in m mit}$$

V_B = beheiztes Brutto-Volumen des Gebäudes in m³

A_B = Fläche der wärmeabgebenden Gebäudehülle in m²

l_c bildet also den Kehrwert von A/V

Beide Werte hängen im Wesentlichen einerseits vom Volumen andererseits von der Kompaktheit eines Gebäudes ab.

offene Bebauung

				beheizte Oberfläche	beheiztes Volumen	Oberfl. / Volums- verhältnis	charakter. Länge
	L	B	H	A_B	V_B	$A_B/V_B=OVV$	l_c
	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ³]	[1/m]	[m]
1.1	7	7	4	210	196	1,07	0,93
1.2	7	12	6	396	504	0,79	1,27
1.3	20	12	6	864	1440	0,60	1,67
1.4	20	12	12	1248	2880	0,43	2,31
1.5	20	15	12	1440	3600	0,40	2,50
1.6	20	12	18	1632	4320	0,38	2,65
1.7	20	12	24	2016	5760	0,35	2,86
1.8	20	15	18	1860	5400	0,34	2,90
1.9	20	15	24	2280	7200	0,32	3,16
1.10	40	12	24	3456	11520	0,30	3,33
1.11	25	27	15	2910	10125	0,29	3,48
1.12	50	15	24	4620	18000	0,26	3,90
1.13	80	12	24	6336	23040	0,28	3,64
1.14	80	15	24	6960	28800	0,24	4,14
1.15	80	20	24	8000	38400	0,21	4,80
1.16	160	20	24	15040	76800	0,20	5,11

geschlossene Bebauung

				beheizte Oberfläche	beheiztes Volumen	Oberfl. / Volums- verhältnis	charakter. Länge
	L	B	H	A_B	V_B	$A_B/V_B=OVV$	l_c
	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ³]	[1/m]	[m]
2.0	20	12	6	720	1440	0,50	2,00
2.1	20	12	12	960	2880	0,33	3,00
2.2	20	15	12	1080	3600	0,30	3,33
2.3	20	12	18	1200	4320	0,28	3,60
2.4	20	12	24	1440	5760	0,25	4,00
2.5	20	15	18	1320	5400	0,24	4,09
2.6	20	15	24	1560	7200	0,22	4,62
2.7	40	15	24	3120	14400	0,22	4,62
2.8	80	15	24	6240	28800	0,22	4,62
2.9	80	20	24	7040	38400	0,18	5,45
2.10	160	20	24	14080	76800	0,18	5,45

Tab. 1 A/V Verhältnis verschiedener Gebäudevolumina

3.2.1.1. Volumen

1. Parameter für das A/V-Verhältnis ist das Volumen: je größer desto besser. Mit zunehmendem Volumen verbessert sich das Verhältnis Volumen-Oberfläche und damit auch das Verhältnis Nutzfläche- Transmissionsverlustfläche, s. Tab. 2.

A/V =1,0 hat z.B. ein kleines freistehendes Atelier mit den Abmessungen

$l \times b \times h = 7 \times 7 \times 4 \text{ m} = 200 \text{ m}^3$, die Oberfläche beträgt 210 m^2 , die Nutzfläche $36,75 \text{ m}^2$, d.s. **5,7 m² Oberfläche pro m² Nutzfläche**

A/V =0,65 hat z.B.: ein Einfamilienhaus mit den Abmessungen

$l \times b \times h = 15 \times 11 \times 6 \text{ m} = 1000 \text{ m}^3$, die Oberfläche beträgt 642 m^2 , die Nutzfläche $247,5 \text{ m}^2$, d.s. **2,6 m² Oberfläche pro m² Nutzfläche**

A/V =0,21 hat z.B.: ein Wohnhaus mit den Abmessungen

$l \times b \times h = 80 \times 20 \times 24 \text{ m} = 38400 \text{ m}^3$, die Oberfläche beträgt 8000 m^2 , die Nutzfläche 9600 m^2 , d.s. **0,8 m² Oberfläche pro m² Nutzfläche**

offene Bebauung

				Nutzfläche	Fenster- fläche	beheizte Oberfläche	opake, beheizte Oberfläche	Oberfl. / Volumen- verhältnis	Fensterfl. / Nutzflächen- verhältnis	Oberfl. / Nutzflächen- verhältnis	opake beh. Oberfl. / Nutzflächen- verhältnis
	L	B	H	NFL	A _{FE}	A _B	A _{B opak}	A _B /V _B =OVV	A _{FE} /NFL	A _B /NFL	A _{B opak} / NFL
	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[1/m]	[m ² /m ²]	[m ² /m ²]	[m ² /m ²]
1.1	7	7	4	36,75	7	210	203,02	1,07	0,19	5,71	5,52
1.2	7	12	6	126	24	396	372,06	0,79	0,19	3,14	2,95
1.3	20	12	6	360	68	864	795,6	0,60	0,19	2,40	2,21
1.4	20	12	12	720	137	1248	1111,2	0,43	0,19	1,73	1,54
1.5	20	15	12	900	171	1440	1269	0,40	0,19	1,60	1,41
1.6	20	12	18	1080	205	1632	1426,8	0,38	0,19	1,51	1,32
1.7	20	12	24	1440	274	2016	1742,4	0,35	0,19	1,40	1,21
1.8	20	15	18	1350	257	1860	1603,5	0,34	0,19	1,38	1,19
1.9	20	15	24	1800	342	2280	1938	0,32	0,19	1,27	1,08
1.10	40	12	24	2880	547	3456	2908,8	0,30	0,19	1,20	1,01
1.11	25	27	15	2531	481	2910	2429	0,29	0,19	1,15	0,96
1.12	50	15	24	4500	855	4620	3765	0,26	0,19	1,03	0,84
1.13	80	12	24	5760	1094	6336	5241,6	0,28	0,19	1,10	0,91
1.14	80	15	24	7200	1368	6960	5592	0,24	0,19	0,97	0,78
1.15	80	20	24	9600	1824	8000	6176	0,21	0,19	0,83	0,64
1.16	160	20	24	19200	3648	15040	11392	0,20	0,19	0,78	0,59

geschlossene Bebauung

				Nutzfläche	Fenster- fläche	beheizte Oberfläche	opake, beheizte Oberfläche	Oberfl. / Volumen- verhältnis	Fensterfl. / Nutzflächen- verhältnis	Oberfl. / Nutzflächen- verhältnis	opake beh. Oberfl. / Nutzflächen- verhältnis
	L	B	H	NFL	A _{FE}	A _B	A _{B opak}	A _B /V _B =OVV	A _{FE} /NFL	A _B /NFL	A _{B opak} / NFL
	[m]	[m]	[m]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[1/m]	[m ² /m ²]	[m ² /m ²]	[m ² /m ²]
2.0	20	12	6	360	68	720	651,6	0,50	0,19	2,00	1,81
2.1	20	12	12	720	137	960	823,2	0,33	0,19	1,33	1,14
2.2	20	15	12	900	171	1080	909	0,30	0,19	1,20	1,01
2.3	20	12	18	1080	205	1200	994,8	0,28	0,19	1,11	0,92
2.4	20	12	24	1440	274	1440	1166,4	0,25	0,19	1,00	0,81
2.5	20	15	18	1350	257	1320	1063,5	0,24	0,19	0,98	0,79
2.6	20	15	24	1800	342	1560	1218	0,22	0,19	0,87	0,68
2.7	40	15	24	3600	684	3120	2436	0,22	0,19	0,87	0,68
2.8	80	15	24	7200	1368	6240	4872	0,22	0,19	0,87	0,68
2.9	80	20	24	9600	1824	7040	5216	0,18	0,19	0,73	0,54
2.10	160	20	24	19200	3648	14080	10432	0,18	0,19	0,73	0,54

Tab. 2 Verhältnis der opaken beheizten Oberfläche zu Nutzfläche

Die Transmissionsverlustfläche ist die beheizte Oberfläche AB. Innerhalb des Verhältnisses Nutzfläche- Transmissionsverlustfläche bleibt das Verhältnis Fensterfläche zu Nutzfläche immer gleich (19%) es wird, wie unter 3.3.6 dargestellt, fix mit 25% der Aufenthaltsfläche angenommen. Dadurch sinkt mit steigendem Volumen das Verhältnis opake beheizte Oberfläche zu Nutzfläche überproportional, sodass bei einem Einfamilienhaus (z.B. Tab. 2 Nr. 1.2) mit $3 \text{ m}^2 A_{\text{Bopak}}/\text{m}^2$ Nutzfläche gerechnet werden muss, bei einem sehr großen kompakten Wohnbau in der offenen Bebauung (z.B. Tab. 2 Nr. 1.16) nur mehr mit $0,59 \text{ m}^2 A_{\text{Bopak}} / \text{m}^2$ Nutzfläche.

3.2.1.2. Kompaktheit

Die Kompaktheit eines Gebäudes gibt Auskunft darüber, wie gut oder wenig sich ein Gebäude der theoretisch idealen Form der Kugel annähert. Je kompakter ein Gebäude, desto minimierter seine Oberfläche im Verhältnis zu seinem Volumen.

Das große Volumen alleine bewirkt für ein gutes A/V-Verhältnis nur mäßig viel, wenn es nicht, wie noch gezeigt wird, gleichzeitig mit hoher Kompaktheit Hand in Hand geht.

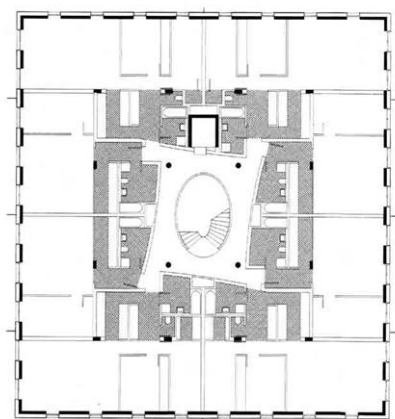
3.2.1.2.1. Zeilen, Türme und Würfel

Wenn wir die reine Gebäudeform betrachten und den Einfluss solarer Gewinne außer Acht lassen, ist der Würfel nach der Kugel die kompakteste Form. Jeder Quader gleichen Volumens, gleich ob Zeile oder Turm, ist weniger kompakt.

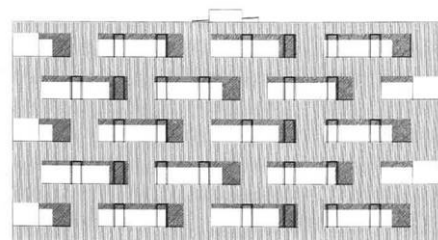
Eine Besonderheit ist allerdings dadurch gegeben, dass Gebäude seitlich und oben an Außenluft grenzen, nach unten jedoch an Erdreich oder einen Keller, denen gegenüber der Wärmeverlust in etwa nur halb so groß ist.

Bei gleichen Dimensionen ist aus diesem Grund die Zeile dem Turm klar überlegen. Wenn man den geringeren Verlust gegenüber dem Keller in der Optimierung der Kompaktheit berücksichtigt, erhält man einen gedrückten Würfel, mit einer Höhe die etwa 75% der Seitenlänge beträgt.

Ein ausgezeichnetes Beispiel idealer Kompaktheit stellt die Wohnanlage Mitterweg in Innsbruck von B&E GmbH Lochau dar. Sie besteht aus einem flachgedrückten Würfel mit ca. 25m auf 27m Seitenlänge (in Tab. 1 und Tab. 2 Nr. 1.11) und einem Volumen von ca. 10.000 m^3 .



Grundriss M1:500



Ansicht M1:500

Abb. 1 Wohnanlage Mitterweg in Innsbruck von B&E GmbH Lochau

Man sieht in Tab. 1, dass, wenn statt des gedrunenen Würfels eine hohe schlanke Zeile geplant wird (z.B. Nr. 1.10 oder 1.13) fast das doppelte Volumen eingesetzt werden muss, um die geringere Kompaktheit wieder auszugleichen.

Zum Einfluss von solaren Gewinnen und damit in gewissem Sinne zum Gegenspieler der maximalen Kompaktheit siehe Kap. 3.8

3.2.1.2.2. Einschnitte und Auskragungen

Einen oft unterschätzten Einfluss auf die Kompaktheit eines Gebäudes haben Einschnitte oder Auskragungen.

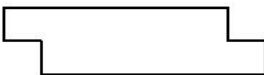
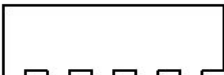
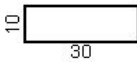
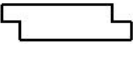
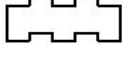
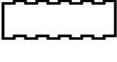
			
$V_B = 28800 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 6240 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 4872 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 7200 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 0,677 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,217 \text{ [1/m]}$ $l_c = 4,615 \text{ [m]}$	$V_B = 28800 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 6720 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 5352 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 7200 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 0,743 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,233 \text{ [1/m]}$ $l_c = 4,286 \text{ [m]}$	$V_B = 28800 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 6672 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 5304 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 7200 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 0,737 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,232 \text{ [1/m]}$ $l_c = 4,317 \text{ [m]}$	$V_B = 28800 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 7104 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 5736 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 7200 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 0,797 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,247 \text{ [1/m]}$ $l_c = 4,054 \text{ [m]}$
			
$V_B = 3600 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 1560 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 1389 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 900 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 1,543 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,433 \text{ [1/m]}$ $l_c = 2,308 \text{ [m]}$	$V_B = 3600 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 1680 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 1509 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 900 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 1,677 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,467 \text{ [1/m]}$ $l_c = 2,143 \text{ [m]}$	$V_B = 3600 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 1752 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 1581 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 900 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 1,757 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,487 \text{ [1/m]}$ $l_c = 2,055 \text{ [m]}$	$V_B = 3600 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 1776 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 1605 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 900 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 1,783 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,493 \text{ [1/m]}$ $l_c = 2,027 \text{ [m]}$
			
$V_B = 648 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 504 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 473,2 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 162 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 2,921 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,778 \text{ [1/m]}$ $l_c = 1,286 \text{ [m]}$	$V_B = 648 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 540 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 509,2 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 162 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 3,143 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,833 \text{ [1/m]}$ $l_c = 1,200 \text{ [m]}$	$V_B = 648 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 552 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 521,2 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 162 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 3,217 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,852 \text{ [1/m]}$ $l_c = 1,174 \text{ [m]}$	$V_B = 648 \text{ [m}^3\text{]}$ $A_B = 568,8 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}} = 538,02 \text{ [m}^2\text{]}$ $NFL = 162 \text{ [m}^2\text{]}$ $A_{B \text{ opak}}/NFL = 3,321 \text{ [m}^2/\text{m}^2\text{]}$ $OVV = 0,878 \text{ [1/m]}$ $l_c = 1,139 \text{ [m]}$

Abb. 2 Dimensionen unterschiedlicher Baukörper

Einschnitte oder Vor- und Rücksprünge vergrößern die Oberfläche eines Gebäudes deutlich. So steigt die Oberfläche bei dem 20/60 m großen Baukörper von 100% bei dem kompakten Baukörper ganz links sukzessive auf 118% bei dem Baukörper ganz rechts, also um fast 20%. Um einen gleichen Wärmeschutz zu erreichen, muss diese vergrößerte Oberfläche mit höherer Dämmstärke wieder aufgefangen werden. Gleichzeitig sieht man aber auch, dass bei aller Vergrößerung der gedämmten Gebäudehülle das Verhältnis der opaken Außenoberfläche zur Nutzfläche mit 0,797 m² opake Außenhülle pro 1 m² Nutzfläche immer noch wesentlich besser ist, als das Verhältnis des kompaktest möglichen Baukörpers der nächst kleineren Kategorie (Zeile darunter).

Das letzte Beispiel soll in etwa die Spannweite aufzeigen, die bezüglich der gedämmten opaken Oberfläche zwischen einem kompakten Wohnhaus und einem extravaganten Einfamilienhaus besteht.

In der unten stehenden Tabelle sieht man die rohe Gebäudeform eines Hauses, wie sie als zugegeben teilweise architektonisch beeindruckende Raumgebilde zur Zeit die einschlägigen Architekturzeitschriften bevölkern (und auch die Landschaft)

Der kompakte große Wohnbau weist ein Verhältnis 0,68 m² opake Außenhülle pro 1 m² Nutzfläche auf, das unten stehende Gebäude 4,54 m² opake Außenhülle pro 1 m² Nutzfläche.

Das ist fast siebenmal soviel Oberfläche bezogen auf die erzielbare Nutzfläche.

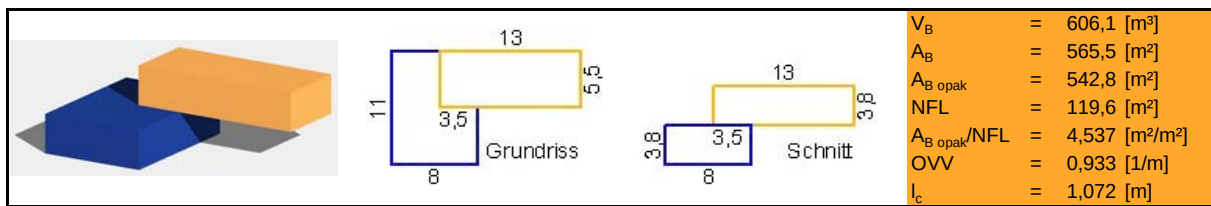


Abb. 3 Dimensionen eines Einfamilienhauses

Wenn dazu noch beachtet wird, dass der Wärmeverlust mit zusätzlichem Aufbringen von Dämmstärke in keiner Weise linear sinkt, sondern sich entlang einer exponentiellen Kurve bewegt, die mit steigender Dämmstärke zunehmend abflacht und fast keine weitere Verbesserung mehr bringt, so kann für dieses zugegeben etwas extreme Beispiel ausgesagt werden, dass das Einfamilienhaus pro m² Nutzfläche den 20fachen Verbrauch an Dämmstoff hat. (Für den Wohnblock reicht theoretisch eine Dämmstärke von 13cm, das Einfamilienhaus benötigt 40cm, um Passivhausstandard zu erreichen) Siehe Kap. 3.7. Selbstverständlich kann die Wohnqualität in den beiden Gebäuden auch nicht miteinander verglichen werden und 20m tiefe Gebäude sind natürlich in der möglichen Grundrisstypologie stark eingeschränkt.

3.3. Allgemeine Kenndaten von Wohngebäuden

Um darzustellen, welche groben Rahmenbedingungen im Wohnbau herrschen, was in etwa eingehalten werden muss (aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen oder um Wohnqualität zu ermöglichen), stellen die folgenden Kenndaten einen wichtigen Anhaltspunkt dar. Pars pro toto greifen wir für die Kapitel 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3 zur Wiener Bauordnung.

3.3.1. Bauklassen, Gebäudehöhen

Die Bauordnung für Wien unterscheidet sechs Bauklassen, wobei Häuser in der Bauklasse VI Hochhäuser sind. Diese klammern wir bei unseren weiteren Betrachtungen aus.

Die Gebäudehöhe definiert die Gebäudetraufe, darüber hinaus sind zumeist noch min. 4,5 m Dach erlaubt.

Gebäudehöhe nach § 75(1) Bauordnung für Wien

- in Bauklasse I mindestens 2,5 m, höchstens 9 m,
- in Bauklasse II mindestens 2,5 m, höchstens 12 m,
- in Bauklasse III mindestens 9 m, höchstens 16 m,
- in Bauklasse IV mindestens 12 m, höchstens 21 m,
- in Bauklasse V mindestens 16 m, höchstens 26 m.

(3) In der Bauklasse VI beträgt die Gebäudehöhe mindestens 26 m; der Bebauungsplan hat die einzuhaltenden Gebäudehöhen innerhalb zweier Grenzmaße festzusetzen.

Im Maximum kann man daher bei Bauklasse V von 26m+ 4,5m = rund 30m Höhe ausgehen, das sind bei ca. 3m Geschosshöhe acht Vollgeschosse und zwei Dachgeschosse, d.h. die Gesamtzahl der Geschosse ohne Untergeschoss beträgt in Bauklasse V zehn Geschosse.

3.3.2. Trakttiefen

Trakttiefen entscheiden im Wohnbau größtenteils darüber, welche Wohnungstypen verwendet werden können.

Für eine einseitige Orientierung sind Trakttiefen von bis zu 8 m sinnvoll – z. B. Nordsüdorientierung: alle Aufenthaltsräume Süd, alle Nebenräume Nord.

Ab 10 m muss jedenfalls zweiseitig orientiert werden - Wohnraum Süd, Zimmer Nord o.ä.

Typische Trakttiefen für Neubauten in der Geschlossenen Bebauung in Wien sind 12m bei engeren Höfen und 15m bei größeren Höfen.

Maximal lassen sich mit einem Mittelgang etwa 20m Trakttiefe realisieren, wobei die Zimmer mit zunehmender Trakttiefe immer länger und schmaler werden. Wenn dies ausgereizt ist (z.B. bei einem Zimmer mit 2,3m/5,5m) kann bei gleicher Zimmeranzahl nur noch die dunkle Nebenraumzone und damit die gesamte Wohnfläche bis zu einer sinnvollen Grenze vergrößert werden.

Freistehende Häuser mit quadratischem Grundriss kommen auf eine Seitenlänge von ca. 27m mit Stiegenhaus in der Mitte (siehe Beispiel in Kap. 3.2.1.2.1). Darüber hinaus müssen in der Mitte Hallen, Gemeinschaftsräume oder andere unbelichtete Nutzungen angeordnet werden.

Die angegebenen Maße stellen grobe Richtlinien dar. Im Laufe der Geschichte des Geschosswohnbaus haben Architekten sich immer wieder bemüht, mit Hilfe ihrer Kreativität und mit Sonderlösungen diese Grenzen zu überschreiten oder innerhalb der Grenzen mehr räumliche Qualität zu schaffen.

3.3.3. offene und geschlossene Bauweise

Einen weiteren wesentlichen Faktor für das A/V-Verhältnis stellt die Bauweise dar. In der geschlossenen Bauweise -Häuser sind an zwei Feuermauern aneinander gebaut- ist gegenüber der offenen Bauweise eine weitere Effizienzsteigerung möglich, da die Feuermauern als Transmissionsverlustflächen entfallen.

3.3.4. Verhältnis beheizte Bruttogeschossfläche zu beheizter Wohnnutzfläche

Die Bruttogeschossfläche (BGF) ist die Summe aller Geschossflächen über Niveau, diese werden gemäß ÖN B 1800 mit den Außenabmessungen der Gebäude berechnet.

Für energetische Berechnungen wird hier die wärmedämmende Hülle betrachtet.

Die Nutzfläche ist die Fläche eines Gebäudes, die entsprechend der Zweckbestimmung der Nutzung des Gebäudes dient,

ohne Mauern,

ohne Schächte,

ohne allgemeine Verkehrsflächen (z.B. allgemeinen Gänge), und

ohne Ver- und Entsorgungsflächen (z.B. Heizraum, Müllraum, Lift).

Die Wohnnutzfläche ist die Summe der Nutzflächen innerhalb einer Wohnung, dazu zählt auch die 5-seitig umschlossene offene Loggia.

Für energetische Berechnungen ist es sinnvoll, nur die beheizte Wohnnutzfläche zu betrachten.

Bei normalem sparsamem Umgang mit den allgemeinen Flächen ist ein Verhältnis von $WNfl._B$ zu BGF_B von $0,75 = 75\%$ durchaus zu realisieren, extremere Beispiele erreichen auch 80%.

Als Anhaltswert kann ein Verhältniss 75 % für alle Erschließungstypen im Geschosswohnbau eingesetzt werden.

Wie leicht nachzuvollziehen ist, schlägt auch die Effizienz dieses Wertes direkt in die Energieeffizienz eines Gebäudes durch.

Von Einfluss ist hier

1. wie effizient mit allgemeinen Flächen umgegangen wird
2. wie dick die Stärken der Außenbauteile sind (Vakuumdämmung oder eine andere ultradünne Dämmung könnte hier z.B. einige Verbesserung bringen)

3. wie effizient mit den raumumschließenden Teilen, d.h. Wänden und Decken umgegangen wird. Wände und Decken haben ja mehrere Funktionen zu erfüllen: Raumabschluss, Abtragung der Bauwerkslasten, Schallschutz, Wärmeschutz, Speichermasse. In einer energieoptimierten Planung werden die Bauteilaufbauten der Wände und Decken im Sinne einer möglichst optimalen Kombination der für die vorab erwähnten Funktionen erforderlichen Materialien ausgewählt und es wird streng auf eine Minimierung des Flächenanteils geachtet. So werden z.B. im modernen Wohnbau tragende Innenwände durch Stützen ersetzt, die Außenwand als Leichtbaukonstruktion ausgeführt und die Speichermasse durch Decken, Fußböden und gegebenenfalls Zwischenwände bereitgestellt.

3.3.5. Verhältnis Aufenthaltsräume zu Nebenräume

Im Wohnbau werden die Wohnungen nach Anzahl der Aufenthaltsräume unterschieden.

Selbst wenn derzeit eine Tendenz zu loftartigen Wohnungen ohne oder mit geringer innerer Abteilung feststellbar ist, so bleibt dennoch die theoretisch mögliche Anzahl abteilbarer Aufenthaltsräume ein guter Maßstab für die Flexibilität einer Wohnung.

Im Wohnbau haben sich in etwa folgende Größen etabliert:

1 Raum Wohnungen	35 m ²
2 Raum Wohnungen	45 - 60 m ²
3 Raum Wohnungen	70 - 85 m ²
4 Raum Wohnungen	85 - 105 m ²
5 Raum Wohnungen	105 - 130 m ²

wobei der erste Wert eher dem Sozialen Wohnbau, der zweite dem freifinanzierten Wohnbau zuzuordnen ist.

Das Verhältnis von belichteten zu unbelichteten Räumen in der Wohnung bewegt sich ungefähr bei 76% zu 24% wie der folgenden Tabelle zu entnehmen ist.

Wohnung 35m ² 1 Zimmer			Wohnung 93m ² 4 Zimmer		
Wohnen inkl. Küche	26 m ²	74%	Wohnen inkl. Küche	33 m ²	
Bad inkl. WC	4,75 m ²	26%	Zimmer	14 m ²	
VR	4,25 m ²		Zimmer	12 m ²	
	35 m ²	100%	Zimmer	12 m ²	76%
			Bad	4,8 m ²	24%
			WC	1,2 m ²	
Wohnung 55m ² 2 Zimmer			AR	3 m ²	
Wohnen inkl. Küche	28 m ²		VR	7 m ²	
Zimmer	14 m ²	76%	Gang	6 m ²	
Bad inkl. WC	5 m ²	24%		93 m ²	100%
AR	2 m ²				
VR	6 m ²				
	55 m ²	100%			
Wohnung 75m ² 3 Zimmer			Wohnung 110m ² 5 Zimmer		
Wohnen inkl. Küche	31 m ²		Wohnen inkl. Küche	33 m ²	
Zimmer	14 m ²		Zimmer	14 m ²	
Zimmer	12 m ²	76%	Zimmer	12 m ²	
Bad	4,8 m ²	24%	Zimmer	12 m ²	75%
WC	1,2 m ²		Bad	4 m ²	25%
AR	2,5 m ²		Dusche	2,5 m ²	
VR	6,5 m ²		WC	1 m ²	
Gang	3 m ²		SR	3 m ²	
	75 m ²	100%	AR	2,5 m ²	
			VR	6 m ²	
			Gang	8 m ²	
				110 m ²	100%

	belichtete Räume		unbelichtete Räume

Abb. 4 Verhältnis belichtete/unbelichtete Räume

3.3.6. Belichtung

Die Belichtung –und die Besonnung- ist im Wohnbau ein sehr wesentliches Thema. In Kapitel 4 wird darauf explizit eingegangen und es werden Lösungen entwickelt. In der Wiener Bauordnung ist die Belichtung von Aufenthaltsräumen in §88 definiert.

(1) Aufenthaltsräume müssen grundsätzlich natürlich belichtet sein (§ 78).

(2) Fenster, die zur Belichtung von Aufenthaltsräumen erforderlich sind (Hauptfenster), müssen ins Freie münden. Vorgelagerte Verglasungen bleiben dabei außer Betracht, wenn der gesetzliche Lichteinfall für die Aufenthaltsräume gewährleistet bleibt. Die Gesamtfläche der Hauptfenster muss, in der Architekturlichte gemessen, mindestens ein Zehntel der Fußbodenfläche des zugehörigen Raumes betragen. Dieses Maß vergrößert sich bei Raumtiefen von mehr als 5 m um je 10% für jeden vollen Meter Mehrtiefe. Ragen in das Lichtprisma (§ 78) Vorbauten über Hauptfenster desselben Gebäudes und beträgt der Vorsprung mehr als 50 cm, so muss die Architekturlichte solcher Hauptfenster mindestens ein Sechstel der Fußbodenfläche des zugehörigen Raumes betragen.

(2a) In Wohnungen muss jedes Hauptfenster eine waagrechte Sichtverbindung nach außen ermöglichen. Die Parapethöhe dieser Fenster darf nicht mehr als 1,20 m betragen. In dieser Höhe muss eine freie waagrechte Sicht von mindestens 3 m gewährleistet sein. Verfügt eine Wohnung über Hauptfenster, die nur eine waagrechte Sicht von 3 m ermöglichen, muss mindestens ein Hauptfenster dieser Wohnung eine freie waagrechte Sicht von mindestens 6 m ermöglichen.

(3) Verglaste Balkone und Loggien sind vor Hauptfenstern nur zulässig, wenn ihre verglaste Fläche mindestens drei Zehntel und die Architekturlichte der Hauptfenster mindestens ein Sechstel der Fußbodenfläche des zugehörigen Raumes beträgt.

(4) Oberlichten in Decken sind Hauptfenstern gleichzuhalten, wenn sie den Anforderungen des Abs. 2 entsprechen.

(5) Fenster von Küchen, die von einem Abstand gemäß § 79 Abs. 3 aus belichtet werden, müssen nicht den für Hauptfenster erforderlichen Lichteinfall (§ 78) aufweisen.

(6) Fenster, die nicht zur Belichtung von Aufenthaltsräumen erforderlich sind, sind Nebenfenster.

(7) Alle Fenster müssen so beschaffen sein, dass sie auch an der Außenseite leicht und gefahrlos gereinigt werden können. Dies gilt nicht, wenn entsprechende Vorrichtungen zur leichten und gefahrlosen Reinigung der Fenster von außen vorgesehen sind. Soweit dies nach der Lage und dem Verwendungszweck der Räume notwendig ist, müssen einzelne Fenster ihrer Größe und Lage nach so beschaffen sein, dass durch sie die Rettung von Menschen möglich ist; solche Fenster sind auch bei Klimatisierung der Aufenthaltsräume offenbar einzurichten und im Raum als solche dauerhaft zu bezeichnen.

Eine Belichtung von min. 25% der Fläche des Aufenthaltsraumes entspricht modernen Wohnvorstellungen viel eher.

Dies bedeutet für ein 12 m² Zimmer eine Fensterfläche von 3 m², wie in der Abbildung blau gekennzeichnet.

Dargestellt sind drei mögliche Fensterwandansichten eines 12m² Raumes mit 3m Breite und 2,5m Höhe. Zuerst ein französisches Fenster mit 35 cm Parapet, dann zwei Fensterflächen mit konventionellem 90 cm Parapet, einmal ohne, einmal mit Sturz, alle 3 Beispiele mit einer Fensterfläche von 25% der Fläche des Aufenthaltsraumes.

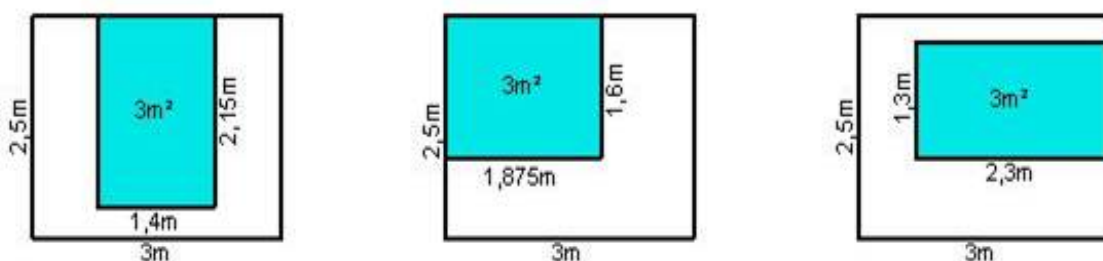


Abb. 5 Fensterwandansichten

Eine Fensterfläche von 25% der Nutzfläche der Aufenthaltsräume entspricht einer Größe von 19% gemessen an der Gesamtnutzfläche einer Wohnung. Dieser Prozentsatz von Fensterfläche zu Nutzfläche bleibt – bei gleicher Belichtungstheoretisch bei Gebäuden unterschiedlichen Volumens immer konstant. Da sich die Oberfläche eines Gebäudes mit steigendem Volumen im Verhältnis zu Nutzfläche aber verringert, wird mit steigendem Volumen lediglich die opake Oberfläche im Verhältnis zur Nutzfläche immer kleiner.

3.3.7. Verschattung

Solange die Bauordnungen einen Lichteinfallswinkel von 45° zulassen, muss in Hinblick auf die Verschattung eines großen Wohnbaues von der Ausnützung dieser Bestimmung ausgegangen werden. Der Abstand eines Nachbargebäudes ist dann gleich seiner Höhe.

Natürlich gilt diese Verschattung nur für die Fenster des EG und nimmt nach oben hin ab. Dies wird in der Berechnung des PHPP berücksichtigt.

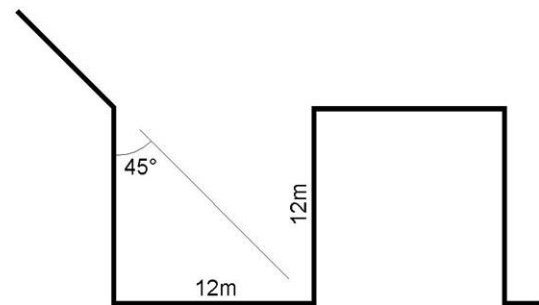


Abb. 6 Lichteinfallswinkel 45°

3.3.8. Belegung

Es ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Dimensionierung der Lüftung und auch für die Berechnung des Lüftungswärmeverlustes, wie viele Personen in einer Wohnung wohnen.

Im österreichischen Durchschnitt steht heute einer Person eine Wohnfläche von 35 m^2 zur Verfügung. Diese Werte können allerdings nicht ohne weiteres auf den großvolumigen Wohnbau übertragen werden.

Im anonymen Wohnbau kann man nicht von Durchschnittswerten ausgehen, es muss vielmehr die mögliche Standardbelegung angenommen werden

Im sozialen Wohnbau muss mit 3 Personen in einer 75 m^2 Wohnung, mit 4 Personen in einer 90 m^2 Wohnung gerechnet werden.

Dies entspricht einer Nutzfläche von **ca. 23 m^2 pro Person.**

3.4. Das Standardgebäude, Annahmen

Um zu einer im Durchschnitt gültigen Zusammensetzung des HWB zu kommen, haben wir für mehrere Gebäude verschiedener Größenordnungen unter definierten Annahmen das PHPP durchgerechnet. Daraus haben wir ein Standardgebäude konstruiert, welches auch die Konditionen größerer Gebäude gut zu repräsentieren vermag.

Annahmen:

Hauptkörper:	Breite 20m, Tiefe 12m, Höhe ca.12m
Dachausstieg, Liftüberfahrt:	Breite 8m, Tiefe 3m, Höhe 2,93m
Verbaute Fläche:	240 m^2
Volumen:	$2973,5 \text{ m}^3$
BGF_B :	906 m^2
WNfl_B :	75% der $\text{BGF}_B = 720 \text{ m}^2$
Fläche der opaken wärmeabgeb. Hülle	$1161,7 \text{ m}^2$

Fensterfläche Wohnen gesamt: 19% der $WNfl._B = 136,8m^2$

Fensterfläche Verkehrsfläche: 1,1% der $WNfl._B = 7,92m^2$

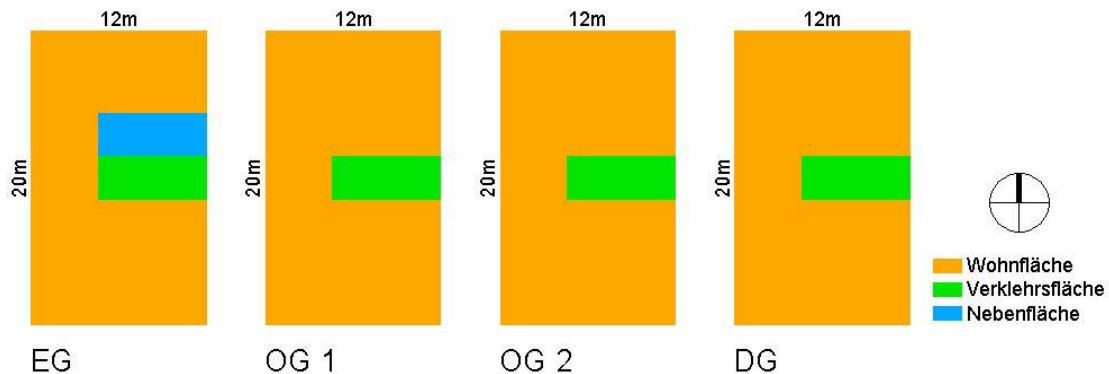


Abb. 7 Standardgebäude Grundriss schemata

Fläche der allgem. Türen und Tore 1,4% der $WNfl._B = 10,08m^2$

Orientierung der Fenster: ost- u. westseitig, auf beide Seiten zu gleichen Teilen

Balkone: Breite 6m, Tiefe 1,5m, Fläche $9m^2$ pro Wohnung

Verschattung des Gebäudes: 45° auf beiden Seiten, wie unter 3.3.7. beschrieben

Belegung: $23 m^2 WNfl./Person$

Wärmebrücken:

Wärmebrückenbezeichnung	Stk/Einheit	Fläche [m ²]	Länge [m]	ψ [W/mK]	χ [W/K]	H-Wert [W/K]
Gebäudeecke	4 Ecken		12,1	-0,06		-2,904
Außenwand / Kellerdecke	0,073 Stk/m ² BFL	240,0			0,6	9,6
Außenwand / Dach	1 Umfang		64	-0,054		-3,456
Balkonaufleger	8 Balkone		6	0,024		1,152
Flachdachgeländeranker	1 Stk/lfm		64	0,024		1,536

Die Annahme der Wärmebrückenwerte basiert auf dem Projektbericht:

„Anwendungen in der Passivhaustechnologie im sozialen Wohnbau“ von Schöberl & Pöll
OEG, im Auftrag des BM VIT im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft.

Gebäudeecke: S.66 / Tab.9, Wärmebrückenbeiwerte der Außenwandaußenkante in Abhängigkeit der Wanddämmstärke.

Außenwand / Kellerdecke: S.73 / 5.3.4.3, punktförmige Betonaufleger

Außenwand / Dach: S.73 / Tab. 11, Wärmebrückenbeiwerte der Wand – Deckenanschlüsse in Abhängigkeit der Wanddämmstärke

Balkonaufleger: S.75 / Tab. 17, Wärmebrückenbeiwerte der Balkonbefestigungen in Abhängigkeit der Wanddämmstärke

Flachdachgeländeranker: Die Wärmebrückenbeiwerte für die Flachdachgeländeranker wurden gleich wie die der Balkonaufleger angenommen.

Für die Berechnung wurde ein Fenster mit nachstehenden Kennwerten angenommen

		Laibung	Brüstung
Rahmenkennwerte	U _f [W/(m²K)]	0,91	0,98
	Ansichtsbreite [mm]	100	117
Randverbund: Thermix	ψ _g [W/(mK)]	0,035	0,036
Glaseinstand	d [mm]	15	21
U _w -Wert (Fenster nicht eingebaut; 1,23 m x 1,48 m)	U _w [W/(m²K)]	0,85	
Einbau in Holzbau-Wand (U _{Wand} = 0,122 W/(m²K))	ψ _{Einbau} [W/(mK)]	-0,002	0,003
	U _{w, eingebaut} [W/(m²K)]	0,85	
Einbau in MW-Wand mit WDVS (U _{Wand} = 0,125 W/(m²K))	ψ _{Einbau} [W/(mK)]	-0,006	0,014
	U _{w, eingebaut} [W/(m²K)]	0,85	

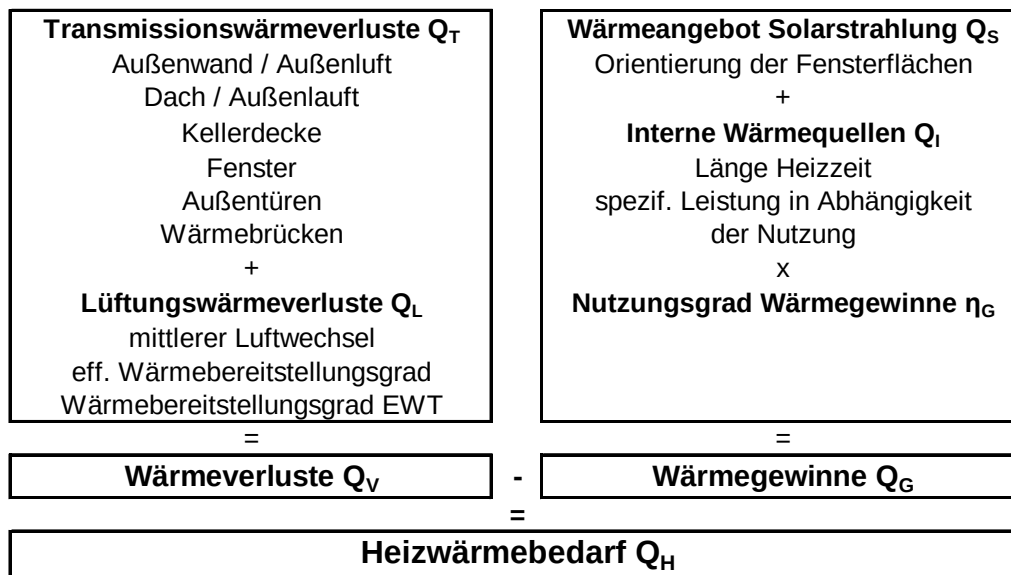
Klimadaten: es wurden die Klimadaten des PHPP 2004 für Wien verwendet.

Wie sich nachträglich herausstellte, sind diese Klimadaten für den Standort Wien größtenteils zu optimistisch angenommen.

Es wurden allerdings bei den sonstigen Annahmen zum Standardgebäude relativ schlechte Werte angenommen (Luftwechsel 0,52; Wärmebereitstellungsgrad Lüftungsanlage 80 %, Drucktest 0,4, etc) Mit einer Optimierung dieser Werte können die etwas optimistischen Klimadaten wieder ausgeglichen werden.

3.5. Zusammensetzung des Heizwärmebedarfes im Standardgebäude großen Volumens

In den nun folgenden Unterkapiteln wird versucht, für mehrere Gebäude großen Volumens (von Länge/Breite/Höhe = 20m/12m/12m bis 50m/15m/24m) die Zusammensetzung des Heizwärmebedarfes zu ermitteln. Dies ist interessant, da so aus der Größe eines Gebäudes bei Beginn der Planung grob die erforderliche Dämmstärke abgeschätzt werden kann.



Generell sind bei unterschiedlich großen Gebäuden mit gleichen Vorgaben einige Teilergebnisse im Heizwärmebedarf immer gleich: die internen Wärmequellen sind nicht von der Größe des Gebäudes abhängig, ebenso wenig die Lüftungswärmeverluste und das Wärmeangebot Solarstrahlung. Auch der Nutzungsgrad der Wärmegewinne und die Wärmebrücken unterscheiden sich im Zusammenhang mit der Größe nur wenig.

Aus diesen Ergebnissen konnte die Abhängigkeit der Dämmstoffstärke vom Gebäudevolumen zumindest für den angegebenen Standardtyp gut herausgefiltert werden. Beim ersten Abschätzen eines Gebäudes, bzw. beim Abschätzen der möglichen Dämmstärke eines Gebäudes einer definierten Volumenklasse, sollen diese Überlegungen als Vergleich dienen.

Wärmebilanz Heizwärmebedarf

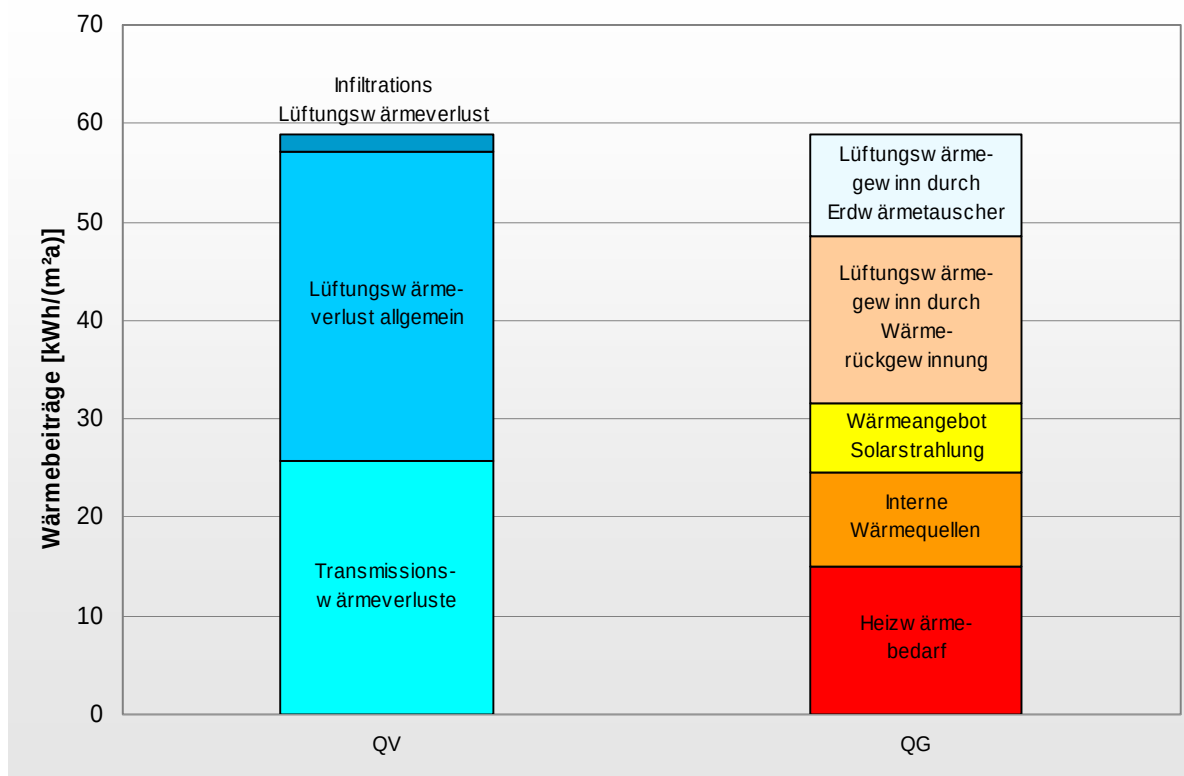


Abb. 8 Wärmebilanz

Nachfolgend die Teilwerte des Heizwärmebedarfs der von uns betrachteten Volumina unter Berücksichtigung der gleichgesetzten Faktoren (wie unter 3.6 beschrieben):

L	B	H	Transmissionswärmeverluste	Lüftungswärmeverluste	Wärmeverluste	Wärmeangebot Solarstrahlung	Interne Wärmequellen	Wärmegewinne	Heizwärmebedarf
			Q _T	Q _L	Q _V	Q _S	Q _I	Q _G	Q _H
[m]	[m]	[m]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
20	12	12	18556,15	4245,61	22801,76	5483,62	7421,49	12001,75	10800,01
20	12	24	37112,36	8491,20	45603,56	10967,23	14842,99	24003,50	21600,06
40	12	24	74224,60	16982,42	91207,02	21934,46	29685,98	48007,01	43200,01
50	15	24	115990,84	26534,83	142525,66	34288,58	46384,34	75025,82	67499,84

L	B	H	Transmissionswärmeverluste	Lüftungswärmeverluste	Wärmeverluste	Wärmeangebot Solarstrahlung	Interne Wärmequellen	Wärmegewinne	Heizwärmebedarf
			Q _T	Q _L	Q _V	Q _S	Q _I	Q _G	Q _H
[m]	[m]	[m]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]
20	12	12	25,77	5,90	31,67	7,62	10,31	16,67	15,00
20	12	24	25,77	5,90	31,67	7,62	10,31	16,67	15,00
40	12	24	25,77	5,90	31,67	7,62	10,31	16,67	15,00
50	15	24	25,78	5,90	31,67	7,62	10,31	16,67	15,00

Tab. 3 Teilwerte des Heizwärmebedarfes verschiedener Gebäudenvolumina, oben gesamt, unten bezogen auf den m² Wohnnutzfläche

3.5.1. Lüftungswärmeverluste

Der Lüftungswärmeverlust nach Wärmerückgewinnung setzt sich wie folgt zusammen

			eff. Wärmebereitstellungsgang der Wärmerückgewinnung	Wärmebereitstellungsgang des Erreichwärmetauschers	mittlerer Luftwechsel	Wärmebereitstellungsgang der Wärmerückgewinnung	Infiltrationsluftwechsel	spezifische Wärmespeicherfähigkeit Luft	Heizgradstunden	Energiebezugsfläche	lichte Raumhöhe	Austauschvolumen der Lüftungsanlage	Lüftungswärmeverlust nach Wärmearückgewinnung
L	B	H	η_{eff}	η_{EWT}	$\eta_{\text{L, Anlage}}$	Φ_{WRG}	$\eta_{\text{L, Rest}}$	c_{Luft}	G_t	A_{EB}	RH	V_L	Q_L
[m]	[m]	[m]	[%]	[%]	[1/h]		[1/h]	[Wh/m³K]	[kKh/a]	[m²]	[m]	[m³]	[kWh/a]
20	12	12	80	33	0,5217	0,87	0,028	0,33	73,0	720	2,5	1800	4245
20	12	24	80	33	0,5217	0,87	0,028	0,33	73,0	1440	2,5	3600	8491
40	12	24	80	33	0,5217	0,87	0,028	0,33	73,0	2880	2,5	7200	16982
50	15	24	80	33	0,5217	0,87	0,028	0,33	73,0	4500	2,5	11250	26534

Tab. 4 Lüftungswärmeverluste verschiedener Volumina absolut

			eff. Wärmebereitstellungsgang der Wärmerückgewinnung	Wärmebereitstellungsgang des Erreichwärmetauschers	mittlerer Luftwechsel	Wärmebereitstellungsgang der Wärmerückgewinnung	Infiltrationsluftwechsel	spezifische Wärmespeicherfähigkeit Luft	Heizgradstunden	Energiebezugsfläche	lichte Raumhöhe	Austauschvolumen der Lüftungsanlage	Lüftungswärmeverlust nach Wärmearückgewinnung
L	B	H	η_{eff}	η_{EWT}	$\eta_{\text{L, Anlage}}$	Φ_{WRG}	$\eta_{\text{L, Rest}}$	c_{Luft}	G_t	A_{EB}	RH	V_L	Q_L
[m]	[m]	[m]	[%]	[%]	[1/h]		[1/h]	[Wh/m³K]	[kKh/a]	[m²]	[m]	[m³]	[kWh/(m²a)]
20	12	12	80	33	0,5217	0,87	0,028	0,33	73,0	720	2,5	1800	5,896
20	12	24	80	33	0,5217	0,87	0,028	0,33	73,0	1440	2,5	3600	5,896
40	12	24	80	33	0,5217	0,87	0,028	0,33	73,0	2880	2,5	7200	5,896
50	15	24	80	33	0,5217	0,87	0,028	0,33	73,0	4500	2,5	11250	5,896

Tab. 5 Lüftungswärmeverluste verschiedener Volumina je Nutzfläche

Um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Volumina zu gewährleisten, werden folgende Faktoren bei der Berechnung der Lüftungswärmeverluste bei allen Gebäudevarianten gleichgesetzt:

Personenbelegung	23m² / Person
mittlerer Luftwechsel	0,5217[1/h]
Windschutzkoeffizienten	durchschnittliche Abschirmung
Luftwechsel bei Drucktest	0,4 [1/h]
Infiltrationsluftwechsel $n_{\text{L, Rest}}$	0,028 [1/h]
Effektiver Wärmebereitstellungsgang der Lüftungsanlage $\eta_{\text{WRG, eff}}$	80 [%]

Wärmebereitstellungsgang des Erreichwärmetauschers η_{EWT} 33 [%]

Selbstverständlich wird der Luftwechsel bei der normalen Berechnung des PHPP nicht mit der Annahme ausgelegt, dass alle Personen ständig anwesend sind. Es wird also zumeist mit einem mittleren Luftwechsel von 0,33 bis max. 0,4 gerechnet. Die erhöhte Annahme hier diente lediglich einer gewissen Sicherheit in der Auslegung.

Lüftungswärmeverlust nach Wärme- rückgewinnung	Lüftungswärmeverlust allgemein	Infiltrations- Lüftungswärmeverlust	Lüftungswärmege- winn durch Erdwärmetauscher	Lüftungswärmege- winn durch Wärme- rückgewinnung
Q_L	$Q_{L, \text{allgemein}}$	$Q_{L, \text{Infiltr.}}$	$Q_{L, \text{EWT}}$	$Q_{L, \text{WRG}}$
[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
4245	22622	1214	7465	12125
8491	45244	2428	14930	24251
16982	90488	4857	29861	48501
26534	141387	7588	46658	75784

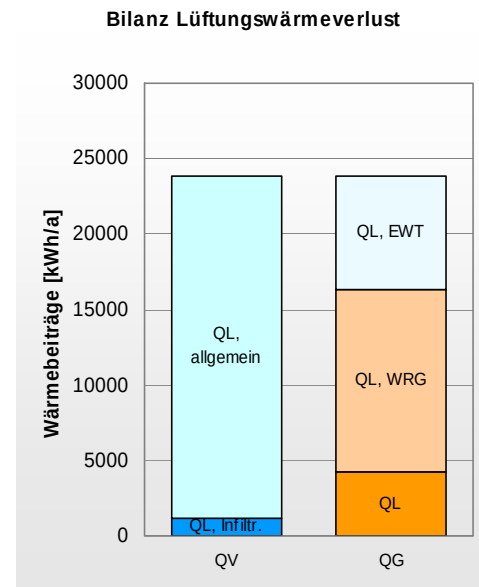


Abb. 9 Lüftungswärmeverlust absolut

Die Bilanz der Lüftungswärmeverluste für unser Standardgebäude setzt sich folgend zusammen

Lüftungswärmeverlust nach Wärme- rückgewinnung	Lüftungswärmeverlust allgemein	Infiltrations- Lüftungswärmeverlust	Lüftungswärmege- winn durch Erdwärmetauscher	Lüftungswärmege- winn durch Wärme- rückgewinnung
Q_L	$Q_{L, \text{allgemein}}$	$Q_{L, \text{Infiltr.}}$	$Q_{L, \text{EWT}}$	$Q_{L, \text{WRG}}$
[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]
5,896	31,419	1,686	10,368	16,841
5,896	31,419	1,686	10,368	16,841
5,896	31,419	1,686	10,368	16,841
5,896	31,419	1,686	10,368	16,841

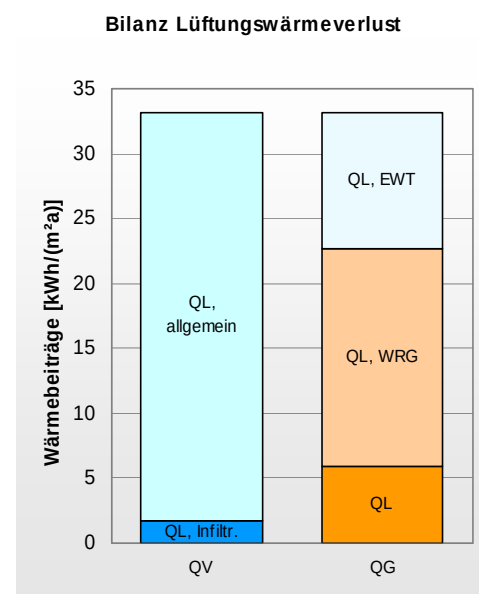


Abb. 10 Lüftungswärmeverlust / Fläche

Eine hohe Auswirkung auf die Lüftungswärmebilanz hat die Personenbelegung pro m² Nutzfläche. Je mehr Personen in einem Gebäude wohnen, desto höher muss auch der Luftwechsel sein, damit der notwendige Frischluftbedarf von 30m³ / (Pers.h) gewährleistet wird. Bei unserem Standardgebäude sind wir mit 23m² / Person von einer relativ hohen Belegung ausgegangen. Senkt man die Belegung auf 37,5m² / Person, was zwei Personen pro Wohnung mit 75m² entspricht, sinken die Lüftungswärmeverluste nach Wärmerückgewinnung von 4245 [kWh/(a)] auf 3072 [kWh/(a)] oder pro m² ausgedrückt von 5,896 [kWh/(m²a)] auf 4,267 [kWh/(m²a)], das heißt um ca. 28%.

Vergleich Bilanz Lüftungswärmeverlust

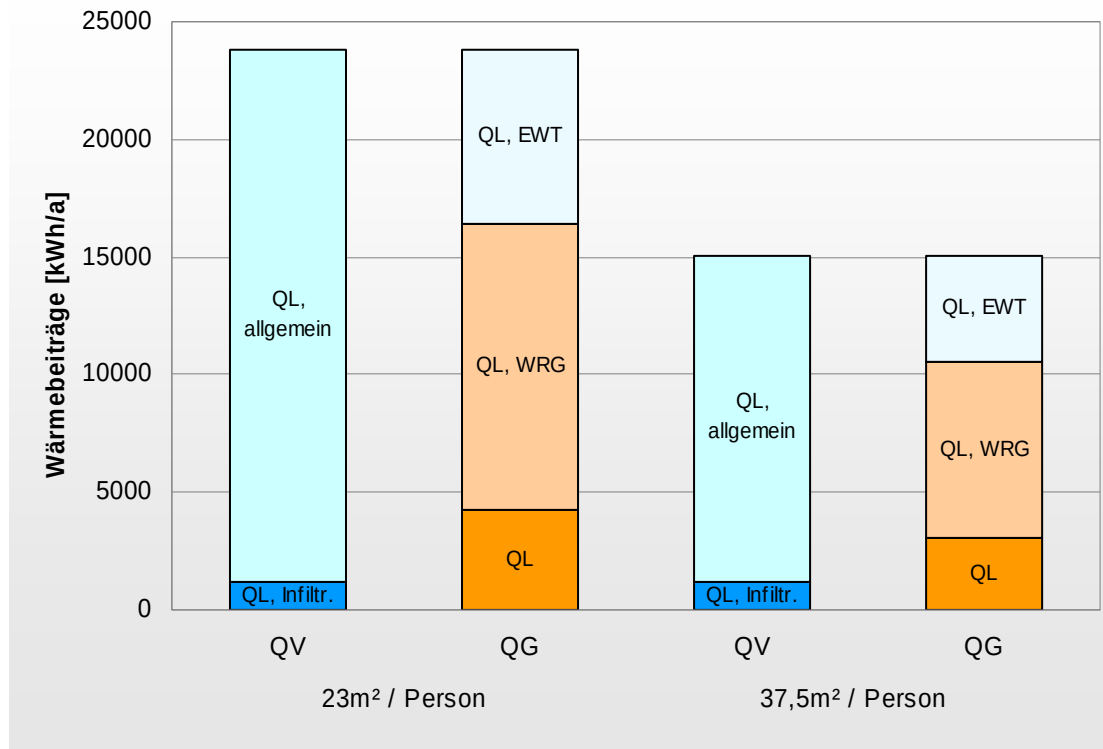


Abb. 11 Personenbelegung und Lüftungswärmeverlust

3.5.2. Solare Gewinne

Auswirkungen von Standort, Verschattung, Fenstergrößen, Verhältnis Anteil Verglasung/Rahmen und Orientierung siehe Kapitel 3.8.

3.5.3. interne Gewinne

Die internen Gewinne werden im Wohnbau mit einer Konstante pro Wohnnutzfläche angegeben. Sie beträgt 2,1 W/m².

3.5.4. Nutzungsgrad der Gewinne

Im Passivhausprojektierungspaket ist ein Nutzungsgrad für die Wärmegewinne angegeben. Dieser sagt aus, wie viel Prozent der solaren Gewinne auch tatsächlich zur Minderung des Heizwärmebedarfes dienen. Auf unverschatteten Südseiten mit großen Fensteröffnungen kann der solare Ertrag auch im Winter durchaus so hoch sein, dass die Raumtemperaturen über das behagliche Maß ansteigen, und somit davon ausgegangen werden muss, dass ein Teil der Wärme durch die Nutzer abgelüftet wird. Diese Tatsache ist nicht weiter kritisch, muss jedoch in einer sinnvollen Berechnung bewertet werden.

Die PHPP-Berechnung ist von ihrer Grunddisposition für Einfamilienhäuser konzipiert. Bei diesen kann davon ausgegangen werden, dass eine gewisse Umverteilung der Gewinne innerhalb des Hauses möglich ist. Ein großes Wohnhaus kann in dieser Hinsicht nicht gleichbehandelt werden, da die Gewinne einer mittelliegenden Südwohnung nicht oder, je nach Lüftungskonzept, nur teilweise in eine randliegende Nordwohnung umverteilt werden können.

Berechnet man alle Wohnungen einzeln, so ergeben sich in den Wohnungen unterschiedliche Nutzungsgrade, die für die Gesamtrechnung bewertet werden müssen. Dies ergibt sich durch die in den verschiedenen Geschossen unterschiedlichen Wärmeverlustrflächen und die durch die Objektverschattung unterschiedlich hohen Wärmegewinne.

Die Nutzungsgrade der einzelnen Geschosse, in Abhängigkeit der unterschiedlichen Volumina, sind in den nachstehenden Tabellen angeführt.

3.5.4.1. 20_12_12 Ost / West – Orientierung der Wohnungen

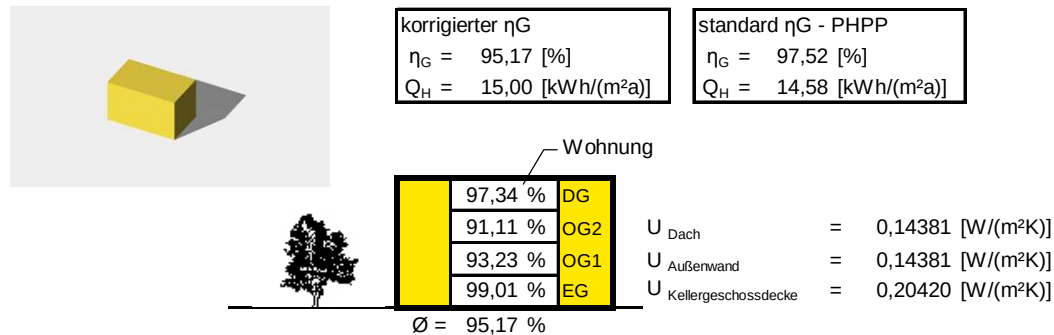


Abb. 12 Gebäude mit 20x12x12 Ost-West

Die Skizze zeigt die Ansicht eines Wohnhauses mit den Abmessungen 20m/12m/12m in der geschlossenen Bebauung. Die Feuermauern stellen hier keine Bauteile gegen Außenluft dar.

Weiß dargestellt sind die Mittelwohnungen, die in jedem Geschoss einzeln und exemplarisch einer PHPP-Berechnung unterzogen wurden. Der U-Wert des Gebäudes ist so gewählt, dass der nach PHPP geforderte Gesamtheizenergiebedarf eingehalten werden kann.

Es ist zu beobachten, wie der Nutzungsgrad der solaren Gewinne sich in den Geschossen verändert. Die Randwohnungen im DG und EG haben wegen ihrer zusätzlichen Aussenflächen höhere Wärmeverluste und können daher solare Gewinne besser verwerten. Die Erdgeschosswohnung schneidet dabei noch besser ab, da sie auf Grund der Nachbarverschattungen weniger solare Gewinne hat.

Generell steigt der Ausnutzungsgrad im Gebäude von oben nach unten wegen der nach unten im geringer werdenden solaren Gewinne.

In der Summe kann man erkennen, dass der gemittelte Ausnutzungsgrad der Einzelwohnungen unter dem Ausnutzungsgrad einer Gesamtberechnung liegt, das GesamtPHPP also etwas zu günstig rechnet.

3.5.4.2. 50_15_24 Ost / West - Orientierung

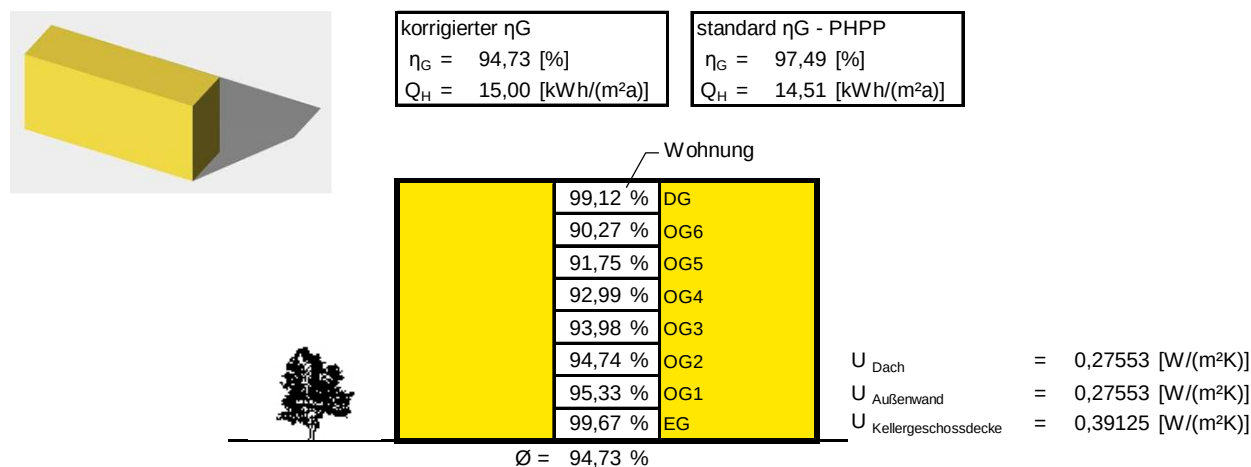


Abb. 13 Gebäude 50x15x24 Ost-West

Hier werden dieselben Tendenzen wie im kleineren Beispiel beobachtet. Mehr Außenflächen erhöhen den Ausnutzungsgrad, ebenso wie höhere Verschattung. Die im Vergleich zum kleineren Baukörper noch etwas gesteigerten Ausnutzungsgrade der DG- und EG-Wohnungen sind darin begründet, dass das Gebäude auf Grund seiner höheren Kompaktheit mit schlechteren U-Werten das Auslangen findet, so dass die Wärmeverluste je m² Außenbauteil höher sind.

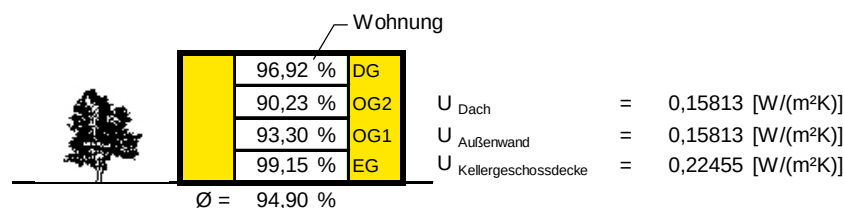
Anhand der Ergebnisse wird deutlich, dass bei einer Ost / West – Orientierung der Nutzungsgrad mit zunehmender Kompaktheit abnimmt und die Differenz zwischen dem Standardwert durch das PHPP und dem ermittelten Wert steigt.

Bei einer Nord / Süd – Orientierung haben wir zusätzlich die Auswirkung der unterschiedlich hohen solaren Gewinne auf den Nutzungsgrad betrachtet. Dafür haben wir bei unserem Standardgebäude mit den Abmessungen L/B/H=20/12/12 zwei Varianten in der geschlossenen Bebauung miteinander verglichen.

Bei Variante 1 haben wir eine durchbindende Wohnung, das heißt mit nord / süd - orientierten Fensterflächen, und bei Variante 2 zwei Wohnungen pro Geschoss mit jeweils nur in eine Richtung orientierten Fensterflächen nach Norden bzw. nach Süden betrachtet.

Die Nutzungsgrade sind in den nachstehenden Tabellen angeführt.

3.5.4.3. 20_12_12 Nord / Süd – Orientierung Variante 1, durchbindende Wohnungen



korrigierter η_G	standard η_G - PHPP
η_G = 94,898 [%]	η_G = 97,17 [%]
Q_H = 15,00 [kWh/(m²a)]	Q_H = 14,56 [kWh/(m²a)]

Abb. 14 Gebäude 20x12x12 Nord-Süd durchbindend

3.5.4.4. 20_12_12 Nord – Südorientierung Variante 2, einseitig orientierte Wohnungen

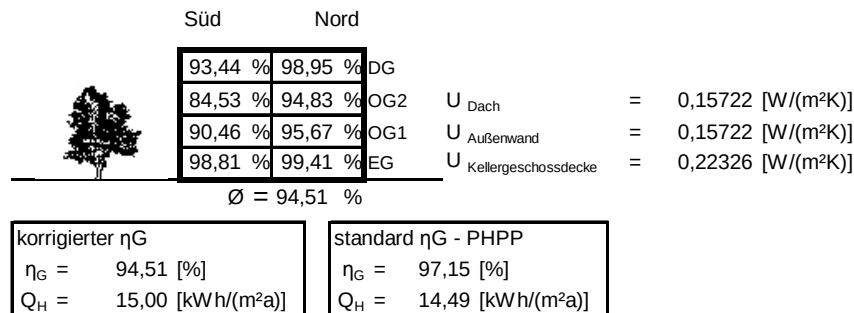


Abb. 15 Gebäude 20x12x12 Nord-Süd einseitig orientiert

Es zeigt sich, dass die unterschiedliche Betrachtungsweise mehr oder weniger vernachlässigbare Auswirkungen auf das Endergebnis hat. Sowohl der Nutzungsgrad als auch die U-Werte der Bauteile sind annähernd identisch.

Betrachtet man allerdings die unterschiedlichen Nutzungsgrade in den verschiedenen Geschossen zeigen sich große Unterschiede zwischen einer Nord- oder Südwohnung.

Generell ergeben sich gegenüber der Ost-West-Orientierung nur kleine Unterschiede. In der Praxis könnten diese jedoch durchaus bedeutsamer sein, da in der Realität die Fensterflächen zwischen Nord und Süd selten gleichmäßig aufgeteilt werden. Tendenziell wird es größere Fensterflächen im Süden geben und daher unter Umständen noch geringere mittlere Ausnutzungsgrade.

3.5.4.5. 20_12_12 Ost / West – Orientierung in offener Bebauung

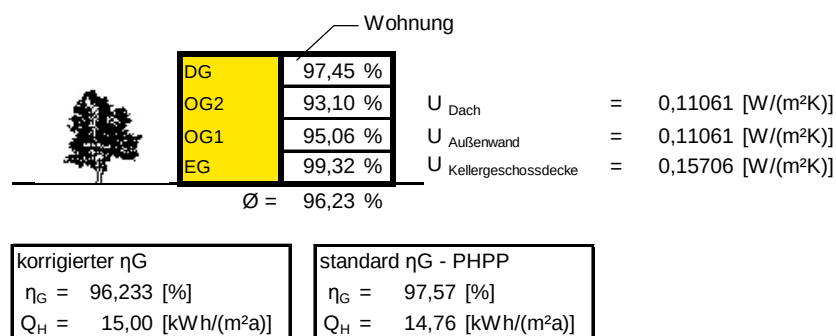


Abb. 16 20x12x12 Ost-West offene Bebauung

Für die Betrachtung der Nutzungsgrade in einer offenen Bebauung haben wir eine Wohnung mit 90m² Energiebezugsfläche herangezogen, die damit die Hälfte des Grundrisses einnimmt und nach Ost und West orientierte Fensterflächen besitzt.

Ergebnis bei einem Gebäude mit den Abmessungen L/B/H=20/12/12 ist eine Reduktion des Nutzungsgrades gegenüber dem Standard - PHPP von 97,57% auf 96,23%, das entspricht 1,34%. Die Reduktion ist somit bei einer offenen Bebauung gegenüber einer geschlossenen Bebauung geringer und kann auch vernachlässigt werden.

Grundsätzlich muss also darauf hingewiesen werden, dass bei großen Gebäuden mit mehreren Wohnungen ohne Anpassung des Nutzungsgrades die aus dem PHPP ohne Korrektur ermittelten Wärmegewinne zu hoch angesetzt sind und dadurch ein zu niedriger Heizwärmebedarf berechnet wird.

Eine Korrektur oder manuelle Herabsetzung des Nutzungsgrades wäre ratsam.

3.5.5. Transmissionswärmeverluste

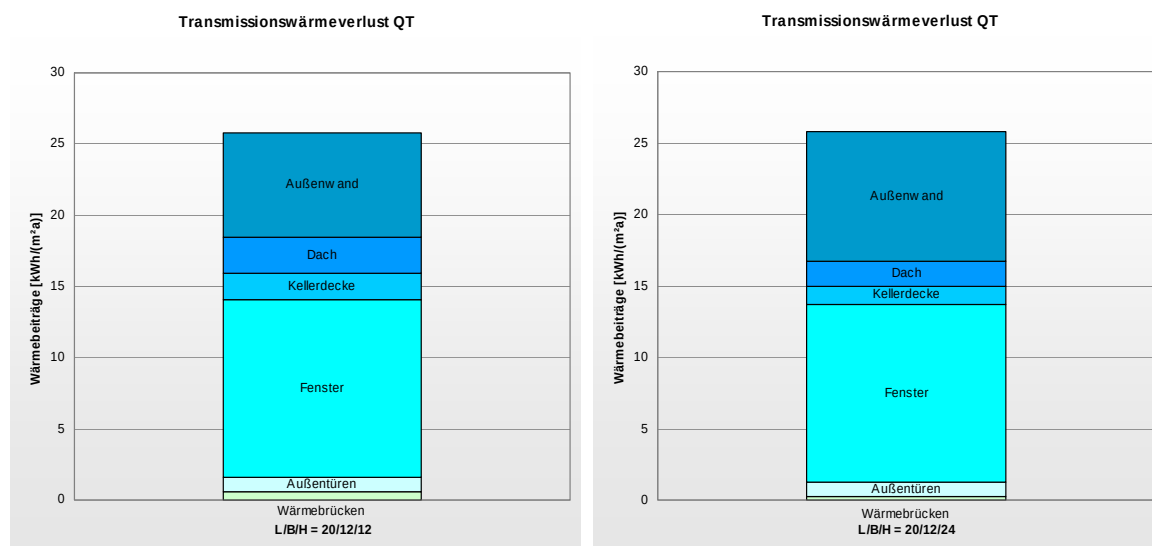
Die Transmissionswärmeverluste setzen sich wie folgt zusammen

L/B/H = 20/12/12

	Temperaturzone	Bauteilfläche	U-Wert	Temperaturfaktor ft	Heizgradstunden Gt	bauteilbezogener Transmissionswärmeverlust	bauteilbezogener Transmissionswärmeverlust pro m ² Energiebezugsfläche
		[m ²]	[W/(m ² K)]		[KKh/a]	[kWh/a]	[kWh/(m ² a)]
Außenwand Außenluft	A	681,7	0,1054	1,00	73	5244	7,28
Dach/Decken Außenluft	D	240,0	0,1054	1,00	73	1846	2,56
Bodenplatte	B	240,0	0,1496	0,50	73	1311	1,82
Fenster	A	146,8	0,8386	1,00	73	8987	12,48
Außentür	A	10,1	1,0000	1,00	73	736	1,02
Wbrücken außen (Länge/m)	A	464,4	0,0128	1,00	73	433	0,60
Transmissionswärmeverluste Q_T (über alle Bauteile)						18556	25,77

Tab. 6 Transmissionswärmeverlust des Standardgebäudes je m² Nutzfläche

Teilwerte des Transmissionswärmeverlustes der von uns betrachteten Volumina unter Berücksichtigung der gleichgesetzten Faktoren wie unter 3.6 beschrieben



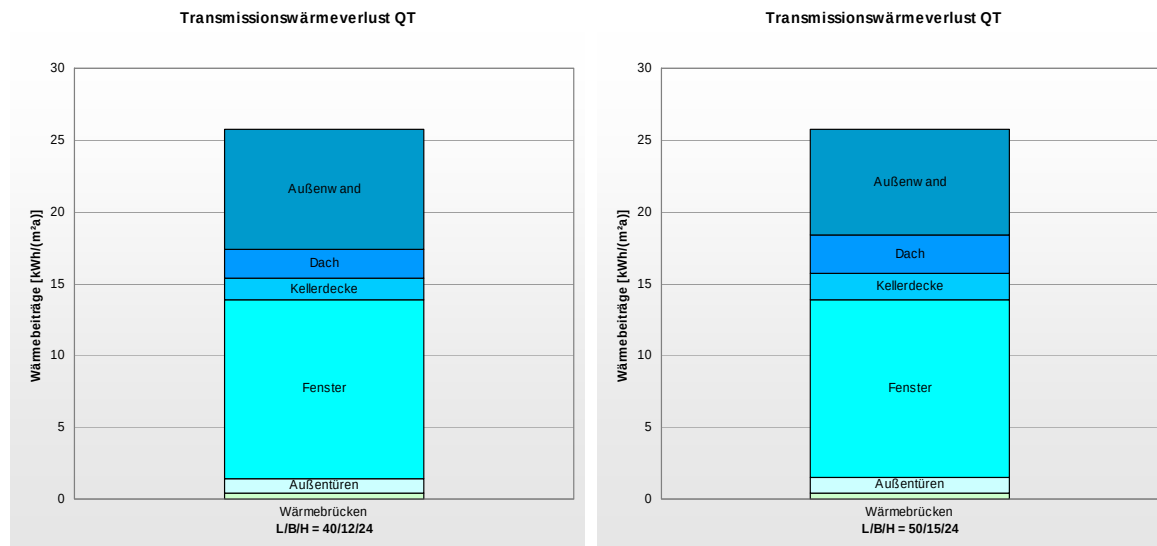


Abb. 17, 1-4 Transmissionswärmeverluste von Gebäuden verschiedener Größe

			AW / AL	Dach / AL	Kellerde	Fenster	Außentüren	Wärmebrücken	Transmissions- wärmeverluste
L	B	H							QT
[m]	[m]	[m]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]
20	12	12	5243,83	1846,13	1310,75	8986,84	735,82	432,79	18556,15
20	12	24	13062,25	2506,77	1779,81	17973,68	1471,65	318,21	37112,36
40	12	24	24051,48	5954,91	4227,99	35947,35	2943,29	1099,58	74224,60
50	15	24	33445,35	11775,08	8360,31	55790,97	4598,89	2020,24	115990,84

Tab. 7 Zusammensetzung des Transmissionswärmeverlustes versch. Gebäude absolut

			AW / AL	Dach / AL	Kellerde	Fenster	Außentüren	Wärmebrücken	Transmissions- wärmeverluste
L	B	H							QT
[m]	[m]	[m]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]	[kWh/(m²a)]
20	12	12	7,28	2,56	1,82	12,48	1,02	0,60	25,77
20	12	24	9,07	1,74	1,24	12,48	1,02	0,22	25,77
40	12	24	8,35	2,07	1,47	12,48	1,02	0,38	25,77
50	15	24	7,43	2,62	1,86	12,40	1,02	0,45	25,78

Tab. 8 Zusammensetzung des Transmissionswärmeverlustes versch. Gebäude je Nutzfläche

Da die Faktoren Wärmegewinne und Lüftungsfaktoren bei den unterschiedlichen Gebäuden gleichgeschaltet wurden, wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben, ist der Transmissionswärmeverlust bezogen auf einen m² Nutzfläche bei Gebäuden unterschiedlicher Größe bei angeglichenen sonstigen Werten durchaus eine Konstante. Innerhalb dieses Transmissionsverlustes sind wiederum die Fenster eine Konstante, da sie mit 19% der Gesamtnutzfläche für alle Gebäude gleich angenommen wurden. Außentüren und Wärmebrücken unterscheiden sich je nach Gebäudeproportion etwas, die Unterschiede sind aber vernachlässigbar.

Somit lässt sich bei den vorgegebenen Bedingungen auch der im Passivhaus mögliche Transmissionswärmeverlust durch die opaken Außenbauteile bezogen auf die Nutzfläche annähernd als Konstante angeben. Er liegt bei ca. 12 kWh/m² Nutzfläche beheizt und Jahr.

3.6. Exkurs U- wert: Relation zu Oberflächen-Volumsverhältnis

Dämmstärke in Abhängigkeit der steigenden Kompaktheit

Da im Passivhausbereich mit zunehmenden Gebäudevolumen der angestrebte Heizwärmebedarf mit zunehmend schlechteren U-Werten erreicht werden kann war es von Interesse wie sich die Dämmstärken der Außenhüllfläche in Bezug zu den Gebäudeabmessungen verhalten. Um verschiedene Volumina miteinander vergleichen zu können wurden folgende Faktoren in den Berechnungen gleichgesetzt:

Lüftung

Personenbelegung	23m ² / Person
mittlere Luftwechsel	0,5217[1/h]
Windschutzkoeffizienten	durchschnittliche Abschirmung
Luftwechsel bei Drucktest	0,4 [1/h]
Infiltrationsluftwechsel nL, Rest	0,028 [1/h]
Effektiver Wärmebereitstellungsgrad η_{WRG} , eff der Lüftungsanlage	80 [%]
Wärmebereitstellungsgrad Erdreichwärmetauscher η_{EWT}	33 [%]

Wärmeangebot Solarstrahlung QS (bei Ost / West – Orientierung)

Reduktionsfaktor	0,28
g-Wert	0,53
Globalstrahlung Heizzeit	252 [kWh/(m ² a)]

Interne Wärmequellen Q_i

Länge Heizzeit	204,517 [d/a]
spezifische Leistung q_i	2,1 [W/m ²] bei Mehrfamilienhäuser

Nutzungsgrad Wärmegewinne η_G 93 [%]

Heizwärmebedarf Q_H 15,0 [kWh/(m²a)]

Fenster, Wärmebrücken, Balkone, Nachbarverschattungen entsprechen den Annahmen im Standardgebäude unter Kap. 3.4.

Unter diesen Voraussetzungen werden, in Abhängigkeit der Gebäudegröße, die notwendigen U-Werte und damit verbundenen Dämmstoffstärken der jeweiligen Bauteile ermittelt.

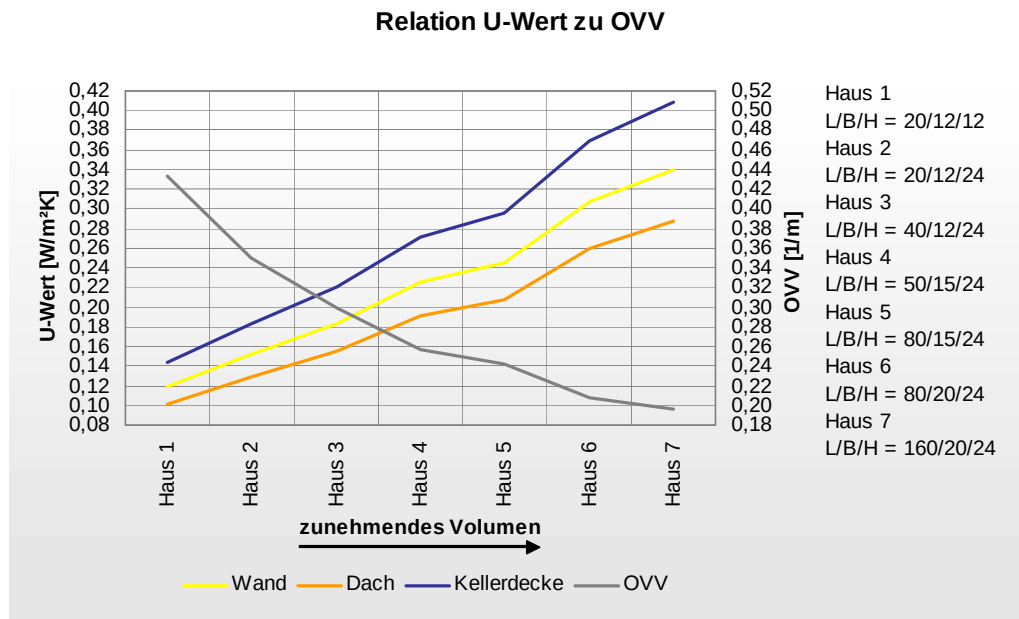


Abb. 18 U-Wert/A/V

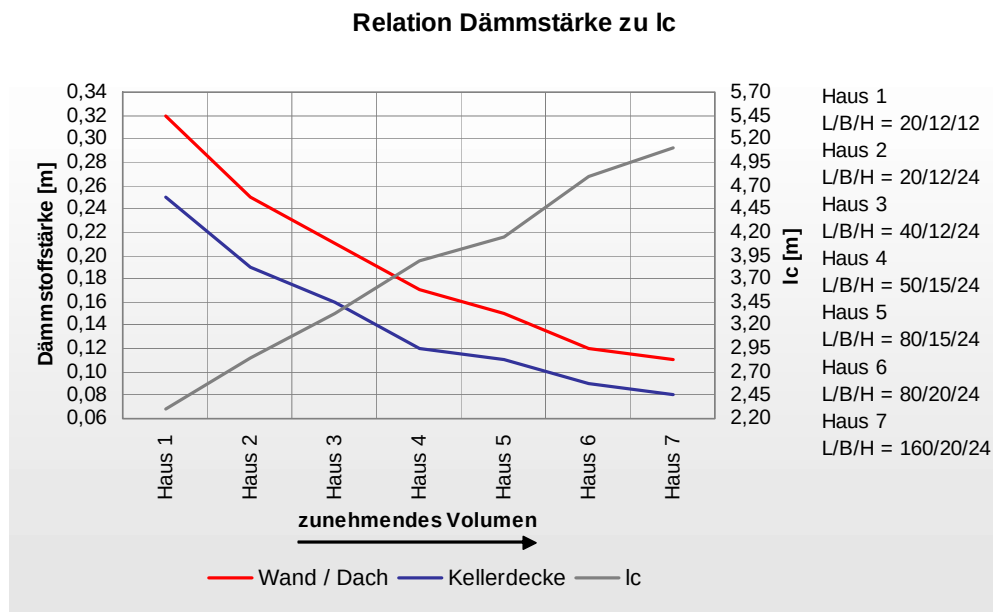


Abb. 19 Dämmstärke/Ic

Um einen Heizwärmebedarf von $15,0 \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$ zu erreichen, muss bei einem kleinen Volumen von 2880m^3 die Dämmstärken noch $0,32\text{m}$ für Dach und Außenwand bzw. $0,25\text{m}$ für die Kellerdecke betragen. Bei einem Volumen von 76800m^3 ist dasselbe Ergebnis bereits mit $0,11\text{m}$ für Dach und Außenwand sowie $0,08\text{m}$ für die Kellerdecke möglich.

3.7. Exkurs kompakte Form: Änderung der Dämmstoffdicke

Wie im Kapitel 3.2.1.2.2 erläutert, gibt das A/V-Verhältnis Auskunft, wie kompakt ein Gebäude ist. Je kompakter desto geringer sind die Transmissionswärmeverluste und dito der Heizwärmebedarf. Ausgehend von einer ost- / westorientierten Zeilenbebauung mit den Abmessungen L/B/H=60/20/24 haben wir das Gebäude mit Vor- u. Rücksprüngen in seiner Kompaktheit verschlechtert, um die Auswirkungen auf den Transmissionswärmeverlust, den Heizwärmebedarf und die notwendige Dämmstärke zu vergleichen.

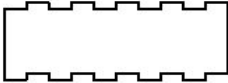
			
	[m²] [W/m²K]	[m²] [W/m²K]	[m²] [W/m²K]
Außenwand/Außenluft	2270,40 0,29	2750,40 0,29	3134,40 0,29
Dach/Decken Außenluft	1200,00 0,25	1200,00 0,25	1200,00 0,25
Bodenplatte	1200,00 0,35	1200,00 0,35	1200,00 0,35
Fensterfläche	1468,80 0,84	1468,80 0,84	1468,80 0,84
Außentür	100,80 1,00	100,80 1,00	100,80 1,00
Wärmebrücken	2096,00 0,02	2184,00 0,02	2600,00 0,02
	[kWh/a] [kWh/(m²a)]	[kWh/a] [kWh/(m²a)]	[kWh/a] [kWh/(m²a)]
Transmissionswärmeverluste	185589,30 25,78	195480,24 27,15	201879,29 28,04
Lüftungswärmeverluste	42456,01 5,90	42456,01 5,90	42456,01 5,90
Summe Wärmeverluste	228045,32 31,67	237936,25 33,05	244335,31 33,94
Wärmeangebot Solarstrahlung	54866,04 7,62	54866,04 7,62	54866,04 7,62
Interne Wärmequellen	74214,95 10,31	74214,95 10,31	74214,95 10,31
Wärmegewinne bei	120045,32 16,67	120045,32 16,67	120045,32 16,67
Wärmeverluste - Wärmegewinne	108000,00 15,00	117890,64 16,37	124289,70 17,26
Heizwärmebedarf	15,00 [kWh/(m²a)]	16,37 [kWh/(m²a)]	17,26 [kWh/(m²a)]

Abb. 20 kompakte Form und Heizwärmebedarf

Verwendet werden die Gebäudeformen wie in Kapitel 3.2.1.2.2. Aufgrund der Einschnitte und Auskragungen steigt das Ausmaß der beheizten Oberfläche AB beim zweiten Modell um ca. 10%, beim dritten Modell um ca. 14%. Obwohl diese Oberflächenvergrößerung noch relativ gering ist, wird anhand der Tabelle deutlich, dass mit abnehmender Kompaktheit die Transmissionswärmeverluste und die Wärmebrückenverluste zunehmen und dadurch bei gleich bleibender Dämmstärke der Heizwärmebedarf von 15,0 [kWh/(m²a)] auf bis zu 17,26 [kWh/(m²a)] steigt. Um den Heizwärmebedarf bei 15,0 [kWh/(m²a)] gleichzuhalten, müssen die U-Werte der Außenbauteile gesenkt und damit die Dämmstärke wie in nachfolgender Tabelle erhöht werden - um 12% für das mittlere Gebäude und um 20 % für das rechte Gebäude. Dies ergibt sich daraus, dass die Dämmstoffstärke mit sinkendem U-wert nicht linear, sondern exponentiell steigt.

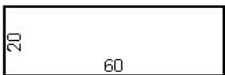
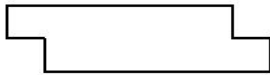
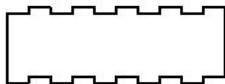
			
	[m²] [W/m²K] [m]	[m²] [W/m²K] [m]	[m²] [W/m²K] [m]
Außenwand/Außenluft	2270,40 0,290 0,127	2750,40 0,259 0,143	3134,40 0,244 0,153
Dach/Decken Außenluft	1200,00 0,245 0,125	1200,00 0,220 0,142	1200,00 0,207 0,152
Bodenplatte	1200,00 0,348 0,093	1200,00 0,312 0,105	1200,00 0,293 0,113

Abb. 21 kompakte Form und Dämmstoffdicke

Eine Vergrößerung der Oberfläche zieht also eine Vergrößerung der Gesamtdämmstoffkubatur nach sich, die nicht linear sondern überproportional entsprechend der mathematischen Beziehung U-Wert/Dämmstoffdicke steigt.

3.8. Exkurs Fenster: Orientierung, Größen, Profile, Verschattung

Es soll gezeigt werden, dass auch im Passivhausbereich der Einsatz von großen Fensteröffnungen nicht nur zu einem hohen Wohlbefinden der Bewohner führt, sondern- bei effizientem und wohlüberlegtem Einsatz- auch einen positiven Einfluss auf die Energiebilanz des Gebäudes haben kann.

Neben den Bereichen Orientierung, Größe, Verschattung spielt natürlich auch der Standort des Gebäudes eine wesentliche Rolle, da mit unterschiedlichen solaren Gewinnen gerechnet werden muss. Für unsere Berechnungen haben wir den Standort Wien City nach dem PHPP 2004 angenommen und einen Nutzungsgrad der Wärmegewinne η_G von 93%.

3.8.1. Orientierung

Für den Vergleich der unterschiedlichen Orientierungen wurde in unserem Standardgebäude mit den Abmessungen L/B/H=20/12/12 in allen 4 Geschossen je ein Fenster mit den Abmessungen 1,23m / 1,48m und den Kennwerten wie im Kapitel 3.4 angeführt eingesetzt und die Ergebnisse aller Geschosse gemittelt. (Diese Berechnung berücksichtigt daher die unterschiedlichen solaren Gewinne in den einzelnen Geschossen).

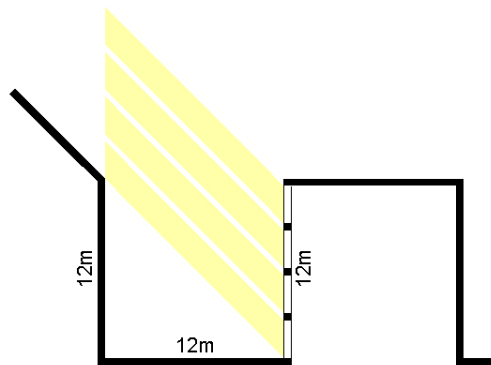


Abb. 22 Solarer Eintrag

Als Verschattungsfaktoren wurden einerseits ein Nachbargebäude, welches einen Lichteinfall von 45° gewährleistet und andererseits eine Leibungsverschattung festgesetzt. Das Nachbargebäude ist 12m entfernt und 12m hoch. Die Leibungsverschattung entspricht den erforderlichen Dämmstoffstärken.

Es soll ermittelt werden, wie Fenster in ihrer Gesamtbilanz im Vergleich mit einer opaken Wand abschneiden. Berechnungen dieser Art wurden in der Literatur bereits angestellt, sie beziehen sich normalerweise auf ein einzelnes Unverschattetes Fenster. Wir haben sie hier aber für eine gesamte Fassade errechnet und gemittelt.

Die in der Tabelle angegebenen Verluste und Gewinne Q_T und Q_G sind daher Gesamtzahlen für 4 Fenster (EG, 1.OG, 2.OG, 3.OG) mit ihren je nach Höhenlage unterschiedlichen solaren Gewinnen.

Üblicherweise wird angenommen, dass im dichtverbauten Gebiet Fenster generell zu minimieren seien, da sie durch die Beschattungen jedenfalls Verlustflächen darstellten. Dies genauer zu beleuchten und zu bewerten war unser Ziel.

Der angegebene Transmissionswärmeverlust Q_T pro 1m^2 Fensterfläche beinhaltet daher den Gesamtverlust minus Gesamtgewinn der vier übereinanderliegenden Fenster dividiert durch die Gesamtfensterfläche.

Der Transmissionswärmeverlust Q_T pro 1m^2 Wandfläche ergibt den Verlust beim vorgegebenen U Wert an ($U=0,153 \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$).

1,82m² (1,23/1,48)	Nord	O / W	Süd	
Transmissionswärmeverlust Q_T	450,67	450,67	450,67	[kWh/a]
Wärmeangebot Solar Q_S	204,72	284,90	428,66	[kWh/a]
Nutzungsgrad Wärmegewinne η_G	95	95	95	[%]
Wärmegewinne Q_G	194,48	270,65	407,22	[kWh/a]
Q_T pro 1m ² Fenster	35,18	24,72	5,97	[kWh/a]
Q_T pro 1m ² Außenwand	11,17	11,17	11,17	[kWh/a]

Tab. 9 Transmissionswärmeverlust Q_T pro 1m² Fensterfläche je nach Orientierung

Erwartungsgemäß zeigt es sich, dass im Norden der Transmissionswärmeverlust des Fensters noch das 3,1fache des Transmissionswärmeverlustes einer Wand beträgt. Im Osten und Westen ergeben sich gleiche Werte und der Unterschied zur Wand beträgt das 2,2fache.

Im Süden betragen die Verluste über die Fensterfläche von 1m² bereits nur noch das 0,53fache von der einer Wand, das heißt die Südfenster sind auch bei dichter Verbauung im Mittel Gewinnflächen.

3.8.2. Größen, Rahmenanteil

Wesentlicher Faktor beim Fenster ist der Versprossungs- oder Rahmenanteil. Gelingt es, ihn gering zu halten, so können wesentlich bessere Gewinne erzielt werden. Der Rahmenanteil kann durch die Breite des Profils, die Anzahl der Teilungen pro Fenster und die Fenstergröße maßgeblich verändert werden. Wie groß die Unterschiede sind, ist im Kapitel Belichtung unter 4.4.2 ausführlich dargestellt.

Auch hier wird ein Fenster eingesetzt, welches die unter Kap. 3.4 angeführten Kennwerte besitzt.

Die Verschattungsfaktoren wurden wie im Kap. 3.8.1 Orientierung gewählt (45° Nachbarverschattung).

Verglichen werden südorientierte Fenster mit Größen von 0,5m² bis 3,0m² mit einer Proportion von 1:2, ohne Teilung, aber offenbar.

Dabei übersteigt ein Flügel mit einer Größe von 1,22 auf 2,45 m² schon knapp die Grenze des Machbaren. Fixverglasungen sind allerdings mit noch schmäleren Rahmenprofilen herstellbar.

	0,5m² (0,5/1,0)	1,0m² (0,7/1,41)	1,5m² (0,87/1,73)	2,0m² (1,0/2,0)	2,5m² (1,12/2,24)	2,96m² (1,22/2,43)	3,0m² (1,22/2,45)	
Transmissionswärmeverlust Q_T	140,39	263,32	382,22	496,60	612,51	715,272	720,91	[kWh/a]
Wärmeangebot Solar Q_S	58,53	179,21	317,18	460,45	613,23	753,494	760,40	[kWh/a]
Nutzungsgrad Wärmegewinne	95	95	95	95	95	95	95	[%]
Wärmegewinne Q_G	55,60	170,25	301,32	437,43	582,57	715,82	722,38	[kWh/a]
Q_T pro 1m ² Fenster	42,39	23,27	13,48	7,40	2,99	-0,05	-0,12	[kWh/a]
Q_T pro 1m ² Außenwand	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	[kWh/a]

Tab. 10 Transmissionswärmeverlust Q_T pro 1m² Fensterfl. je nach Fenstergröße u. Proportion stehend

Es zeigt sich, dass ein Fenster unter 1,5 m² auch südseitig nicht mit der Außenwand konkurrieren kann. Bei größerer Größe verhält es sich jedoch in der Gesamtbilanz besser als ein ansonsten verwendeter Wandbauteil.

Werden Wände mit höheren U-Werten eingesetzt, so stellt sich die positive Bilanz für das Fenster im Vergleich natürlich auch früher ein.

Bei dieser Untersuchung hat sich gezeigt, dass neben der Größe auch die Proportion und die horizontale oder vertikale Verwendung des Fensters einen Einfluss auf die Energiebilanz haben.

Das im Kapitel Orientierung verwendete Fenster mit einem Seitenverhältnis von 4:5 schneidet bei der Bilanzierung deutlich besser ab, es erreicht mit 1,8 m² Fläche bereits 5,97 kWh/m² Fensterfläche / Jahr, während die Proportion 1: 2 bei 7,4 kWh/m² Fenster / Jahr liegt.

Weniger deutlich fällt der Unterschied zwischen liegender und stehender Proportion aus. So hat z.B. ein Fenster mit einer Fläche von 2,0m², bei dem Verhältnis Breite zu Höhe = 1,0m/2,0m, einen Transmissionswärmeverlust von 7,4

[kWh/a], jedoch das gleiche Fenster mit dem Verhältnis 2,0m/1,0m nur einen Transmissionswärmeverlust von 6,27 [kWh/a].

	0,5m ² (1,0/0,5)	1,0m ² (1,41/0,71)	1,5m ² (1,73/0,87)	2,0m ² (2,0/1,0)	2,5m ² (2,24/1,12)	2,8m ² (2,37/1,18)	3,0m ² (2,45/1,22)	
Transmissionswärmeverlust Q_T	140,96	264,12	383,20	497,75	613,79	678,976	722,32	[kWh/a]
Wärmeangebot Solar Q_S	59,34	184,15	325,34	471,10	625,84	714,602	774,59	[kWh/a]
Nutzungsgrad Wärmegewinne	95	95	95	95	95	95	95	[%]
Wärmegewinne Q_G	56,37	174,94	309,07	447,55	594,55	678,87	735,86	[kWh/a]
Q_T pro 1m ² Fenster	42,29	22,30	12,35	6,27	1,92	0,01	-1,13	[kWh/a]
Q_T pro 1m ² Außenwand	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	[kWh/a]

Tab. 11 Transmissionswärmeverlust Q_T pro 1m² Fensterfl. je nach Fenstergröße u. Proportion liegend

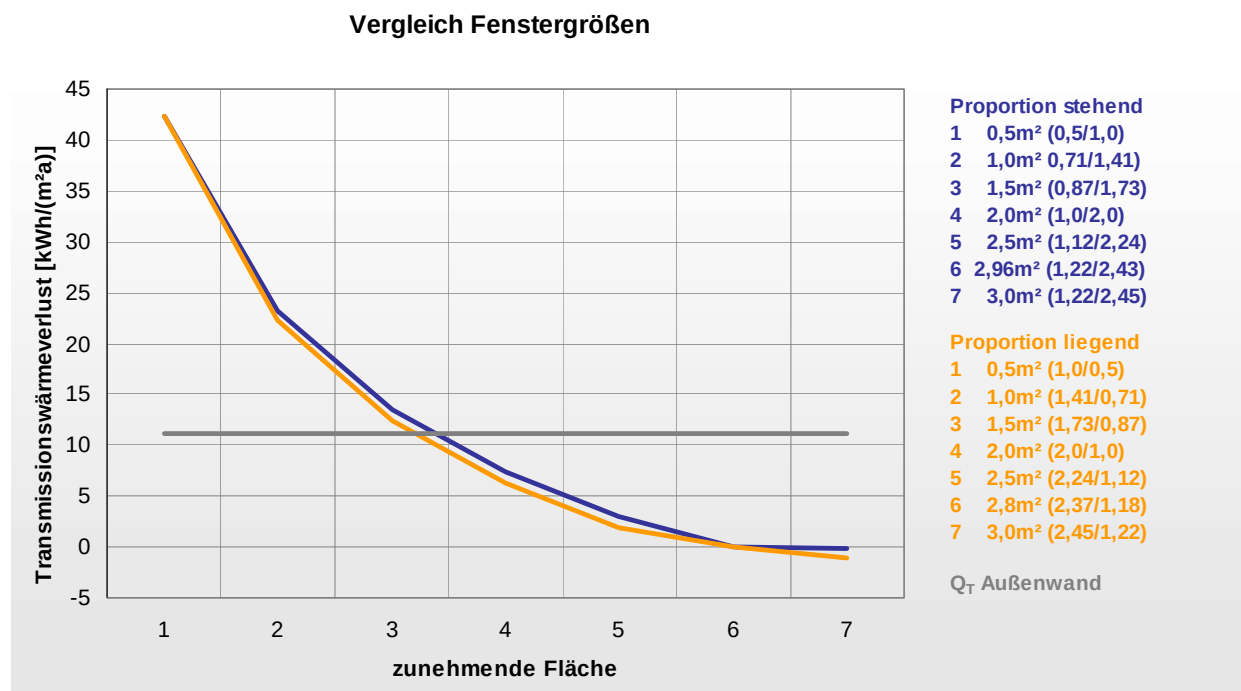


Abb. 23 Transmissionswärmeverlust / Fenstergrößen

Zusammenfassend ist es uns äußerst wichtig, darauf hinzu weisen, dass große ungeteilte Fensterformate, zusammenhängende Fenster und Fixverglasungen deutliche Vorteile bieten, und dass die kleinen Fenster und Fensterteilungen in der Passivhaustechnologie extrem sinnlos geworden sind.

Diese Studie zeigt auch, dass neue Technologien jedenfalls auch eine neue Formsprache nach sich ziehen sollten.

3.8.3. Verschattung

Hier wurde untersucht, welchen Einfluss die Verschattung durch gegenüberliegende Gebäude, eigene Balkone und die Verschattung durch die Laibungstiefe auf die solaren Wärmegewinne haben.

Es zeigte sich, dass alleine die Verdoppelung der Laibung von 15cm auf 30cm bereits eine Verringerung der Wärmegewinne um 15% bewirkt.

Für den Einfluss der Verschattung durch gegenüberliegende Gebäude und eigene Balkone wurde ein Fenster mit den Abmessungen 1,6m/2,1m in allen 4 Geschossen angenommen und die Werte der 4 Fenster gemittelt, um einen für die gesamte Fassade bzw. das Gebäude gültigen Wert zu erhalten.

Untersucht wurde die Auswirkung von Abständen gegenüberliegender Gebäude mit den Verhältnissen von Abstand Gebäude zu Gebäudehöhe = 1/1 (45°), 1/1,5 (33,69°) und 1/2 (26,57°).

Bei der Balkonverschattung wurde ein Überstand von 1,5m und ein Abstand des oberen Verglasungsrandes zur Balkonplatte von 0,6m angenommen.

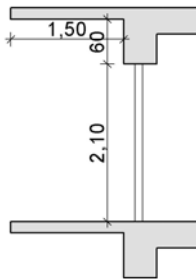


Abb. 24 Verschattung des Fensters

Weiters wurde verglichen, welchen Einfluss die Verschattung des obersten Geschosses auf die Gesamtbilanz nimmt.

Detailergebnisse:

Südorientierung 3,36m ² (1,6/2,1)	Verhältnis 1/1 ohne Balkon	Verhältnis 1/1,5 ohne Balkon	Verhältnis 1/2 ohne Balkon	Verhältnis 1/1 mit Balkon und Verschattung über dem DG	Verhältnis 1/1,5 mit Balkon und Verschattung über dem DG	Verhältnis 1/2 mit Balkon und Verschattung über dem DG	Verhältnis 1/1 mit Balkon ohne Verschattung über dem DG	Verhältnis 1/1,5 mit Balkon ohne Verschattung über dem DG	Verhältnis 1/2 mit Balkon ohne Verschattung über dem DG	
Transmissionswärmeverlust Q_T	798,16	798,16	798,16	798,16	798,16	798,16	798,16	798,16	798,16	[kWh/a]
Wärmeangebot Solar Q_S	902,29	1126,25	1267,56	735,49	918,05	1033,24	798,98	986,29	1103,30	[kWh/a]
Nutzungsgrad Wärmegewinne η_G	93	93	93	93	93	93	93	93	93	[%]
Wärmegewinne Q_G	839,13	1047,41	1178,83	684,01	853,79	960,91	743,05	917,25	1026,07	[kWh/a]
Q_T pro 1m ² Fenster	-3,05	-18,55	-28,32	8,49	-4,14	-12,11	4,10	-8,86	-16,96	[kWh/a]
Q_T pro 1m ² Außenwand	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	11,17	[kWh/a]

Tab. 12 Transmissionswärmeverlust Q_T pro 1m² Fensterfl. je nach Nachbarverschattung

Die Bilanz spricht für sich. Auf der Südseite ist es in allen Fällen energetisch günstiger, ein Fenster auszuführen als eine Wand, vorausgesetzt, das Fenster ist groß und der Rahmenanteil gering.

3.9. Exkurs Dämmstärke: Optimierung für Dach und Keller

Zielsetzung war es, basierend auf unser Standardgebäude mit den Abmessungen Breite 20m, Tiefe 12m, Höhe 12m, ein Verhältnis zwischen Wärmedämmung Dach und Wärmedämmung Kellerdecke herauszufinden, das in der Summe mit dem minimalen Dämmstoffeinsatz auskommt.

Die Überlegung geht davon aus, dass 1cm Dämmstoff umso mehr bewirkt, je schlechter der U-Wert gesamt ist. Das heißt, dass es prinzipiell bei Außenbauteilen sinnvoll wäre, möglichst gleiche U Werte zu verwenden. Die Kellerdecke ist aber ein Außenbauteil, der gegenüber der Außendecke mit geringeren Temperaturdifferenzen konfrontiert ist.

Für diese beiden Bauteile sollte in Kombination die Dämmstoffstärke abhängig voneinander optimiert werden.

Für die Berechnung mit dem PHPP wurde das Standardklima eingesetzt, wodurch sich für den Zeitintegral der Temperaturdifferenz G_t 84,0 [kWh/a] und als Reduktionsfaktor für verminderte Temperaturdifferenzen f_T , bei der Kellerdecke Werte zwischen 0,545 und 0,623 ergaben.

Für den Dach- und Kellerdeckenaufbau wurden nachstehende Kennwerte angenommen.

Dachaufbau	d [cm]	λ [W/mK]	d/λ [m ² K/W]
Humusschicht	0,1	1,8	0,056
Blähton	0,03	0,16	0,188
Vlies	0,001	0,22	0,005
WD XPS	0,05	0,034	1,471
Abdichtung 2-lag	0,008	0,23	0,035
WD EPS W25	0,21	0,036	5,833
Dampfbremse	0,001	0,87	0,001
Dampfdruckausgleichsschicht	0,001	0,23	0,004
STB Decke	0,2	2,3	0,087
Kalkputz	0,015	0,8	0,019
Wärmeübergangswiderstand R_{se}	0,04		
Wärmeübergangswiderstand R_{si}	0,1		
U-Wert [W/(m²K)]	0,128		

Kellerdecke	d [cm]	λ [W/mK]	d/λ [m ² K/W]
Parkett	0,01	0,17	0,059
Betonestrich	0,1	1,4	0,071
PAE Folie	0,001	0,23	0,004
WD EPS W20	0,26	0,038	6,842
STB Decke	0,2	2,3	0,087
Wärmeübergangswiderstand R_{se}	0,04		
Wärmeübergangswiderstand R_{si}	0,17		
U-Wert [W/(m²K)]	0,137		

Für die unterschiedlichen Dämmstärken wurde bei dem Dachaufbau lediglich die Wärmedämmschicht EPS W25 in ihrer Stärke erhöht und somit von 26cm – 49cm eingesetzt.

Ebenso wurde bei der Kellerdecke verfahren, wobei hier die Dämmstärken von 16cm – 38cm eingesetzt wurden.

Somit ergaben sich bei den drei Varianten nachstehende U-Werte die als Ausgangsbasis dienten.

Variante 01: Dachaufbau $U = 0,128$ [W/m²K], Kellerdecke $U = 0,137$ [W/m²K]

Optimales Dämmstärkenverhältnis liegt bei 31cm/21cm

Variante 02: Dachaufbau $U = 0,105$ [W/m²K], Kellerdecke $U = 0,113$ [W/m²K]

Optimales Dämmstärkenverhältnis liegt bei 37cm/27cm

Variante 03: Dachaufbau $U = 0,090$ [W/m²K], Kellerdecke $U = 0,096$ [W/m²K]

Optimales Dämmstärkenverhältnis liegt bei 43cm/33cm

Ein optimales Dämmstärkenverhältnis zwischen Dach und Kellerdecke liegt somit bei dem Verhältnis 1:0,73.

Der Verlauf des Transmissionswärmeverlustes Q_T im Bezug zu den Dämmstärken kann den nachstehenden Tabellen entnommen werden.

Optimierung Dämmstärkenverhältnis - Variante 01

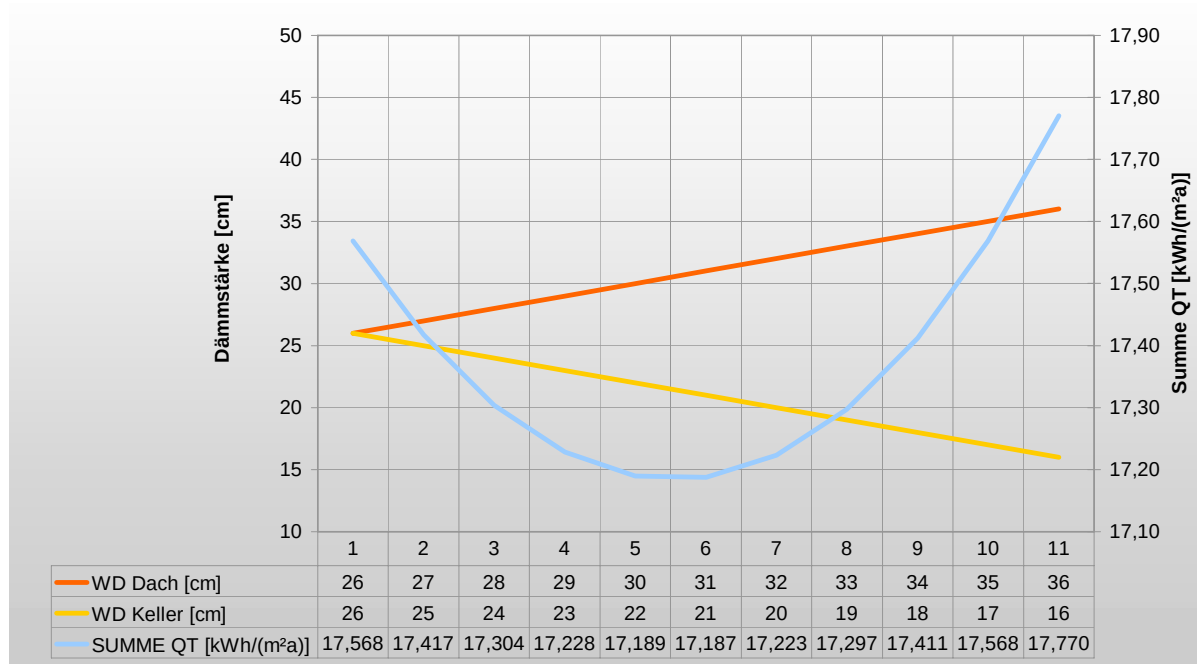


Abb. 25 Optimierung Dämmstärkenverhältnis Var.1

Die Dämmstoffstärken werden so aufgeteilt, dass sich in der Summe immer die gleiche Menge Dämmstoff ergibt, nämlich 52 cm für beide Bauteile zusammen.

Die Kombination ist dort am besten, wo die Kurve des Transmissionswärmeverlustes ihr Minimum hat.

Optimierung Dämmstärkenverhältnis - Variante 02

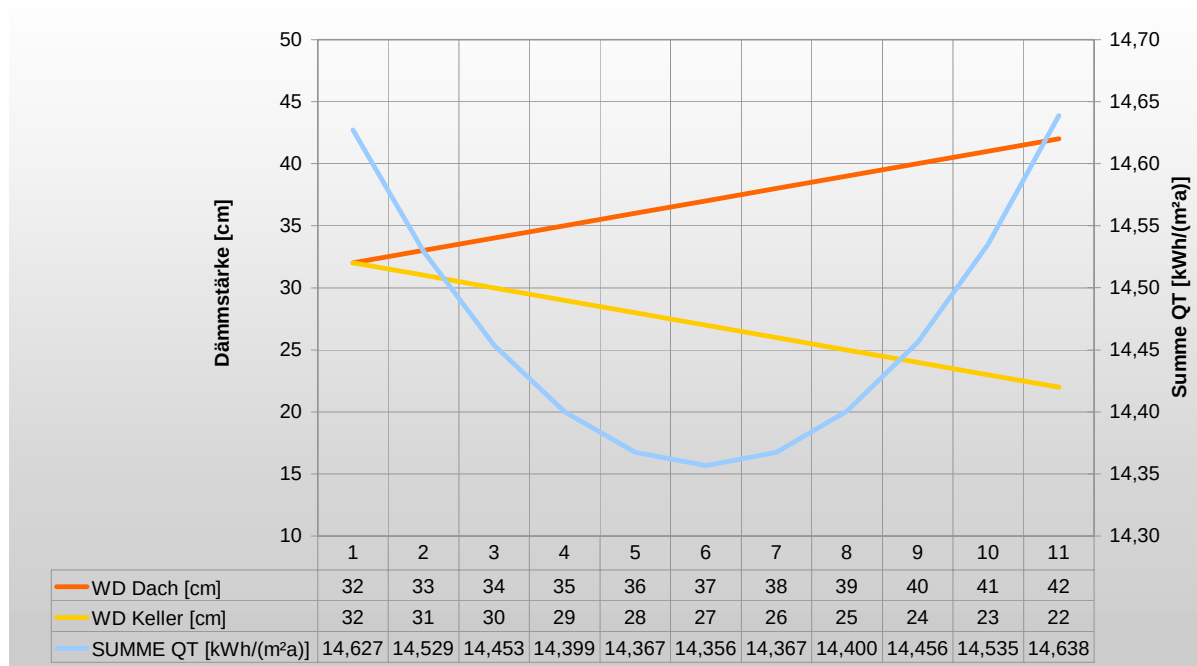


Abb. 26 Optimierung Dämmstärkenverhältnis Var.2

Optimierung Dämmstärkenverhältnis - Variante 03

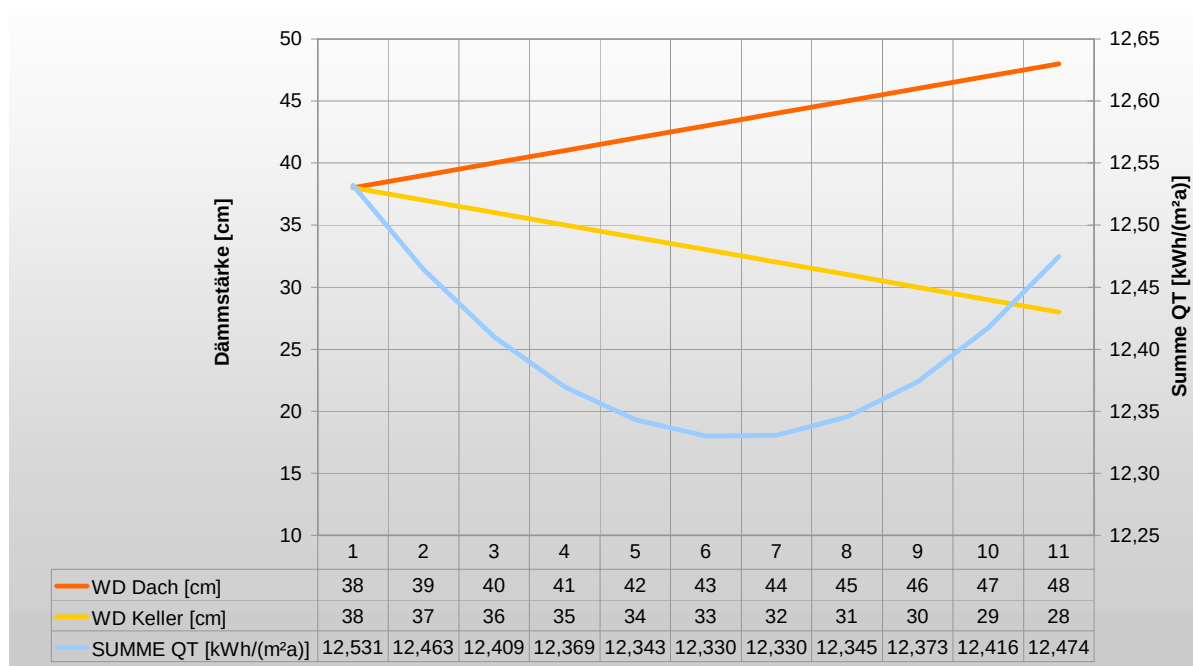


Abb. 27 Optimierung Dämmstärkenverhältnis Var.3

Für die erste Variante liegt das Verhältnis Kellerdämmung zu Dachdämmung bei 70 :100, für die zweite Variante bei 73:100 und für die dritte bei 75:100, es steigt also mit sinkendem U-Wert leicht an.

In der Praxis und in großen Gebäuden kann man vereinfacht von einem Verhältnis Kellerdämmung zu Dachdämmung von 2:3 ausgehen.

3.10. Exkurs Wärmebrücken:

Grundsätzlich werden im Bereich von Passivhäusern wärmebrückenfreie Konstruktionen empfohlen. Das führt soweit, dass nicht nur sehr geringe Leitwertzuschläge für 2-dimensionale Wärmebrücken entstehen, sondern sich sogar oft negative Werte ergeben.

Die von uns verwendeten Wärmebrücken sind im Kapitel 3.4 beschrieben, nachstehend werden die Auswirkungen bei unterschiedlich Grossen Volumina und Energiebezugsflächen verglichen.

L	B	H	Bauteil	Temperaturzone	Bauteilfläche	U-Wert	Temperaturfaktor	Heizgradstunden	wärmebrücken-bezogener Transmissions-wärmeverlust	wärmebrücken-bezogener Transmissions-wärmeverlust pro m² Energiebezugsfläche
[m]	[m]	[m]			[m²]	[W/(m²K)]	ft	Gt	Q _T	Q _T / A _{EB}
								[kKh/a]	[kWh/a]	[kWh/(m²a)]
20	12	12	Wbrücken außen (Länge/m)	A	464,39	0,01	1,00	73,00	432,79	0,60
20	12	24	Wbrücken außen (Länge/m)	A	557,75	0,01	1,00	73,00	318,21	0,22
40	12	24	Wbrücken außen (Länge/m)	A	973,75	0,02	1,00	73,00	1099,58	0,38
50	15	24	Wbrücken außen (Länge/m)	A	1403,75	0,02	1,00	73,00	2020,24	0,45

Tab. 13

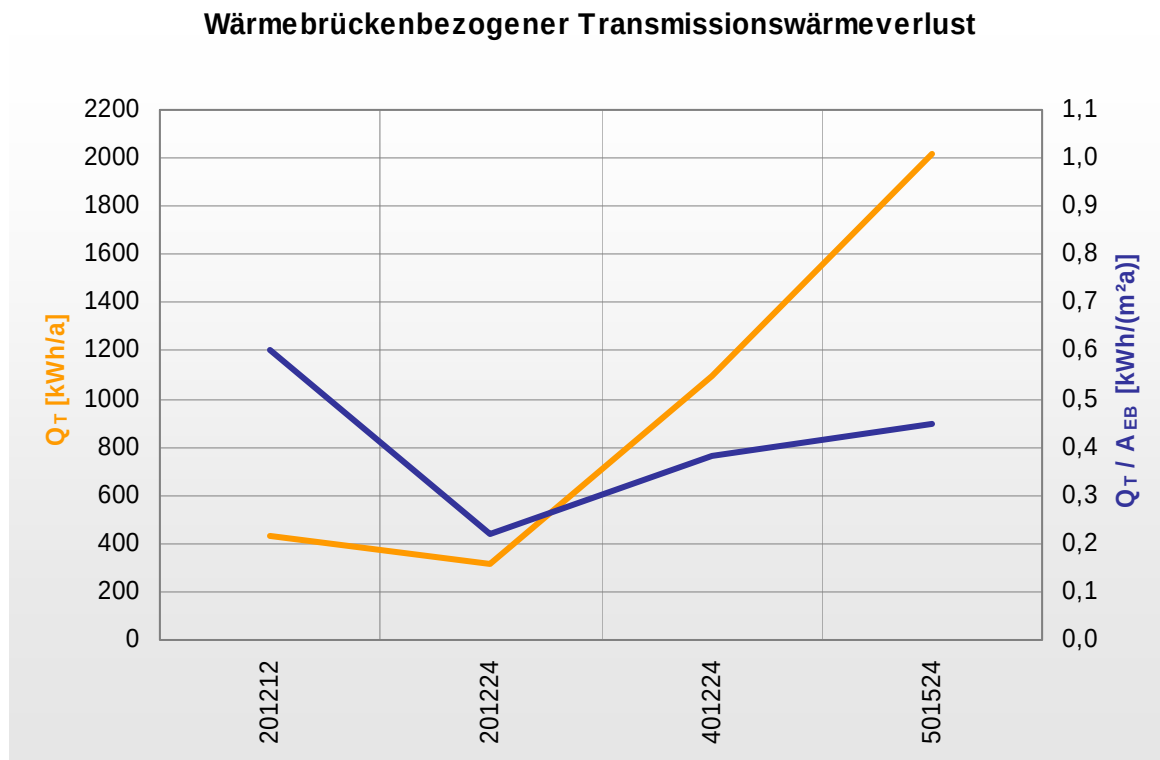


Abb. 28 wärmebrückenbezogener Transmissionswärmeverlust

Bei dem Vergleich des Transmissionswärmeverlustes pro m² Energiebezugsfläche (Q_T / A_{EB} [kWh/(m²a)]) zeigen sich zwei grundsätzliche Tendenzen.

Wird die Energiebezugsfläche und das Volumen verdoppelt, aber die Grundfläche des Gebäudes belassen, erhöhen sich nur die Leitwertzuschläge für die Außenwanddecke und die Balkone, nicht aber die Kellerdecke und das Dach. Ergebnis ist eine Reduktion des wärmebrückenbezogenen Transmissionswärmeverlustes von 26%, aber eine flächenbezogene Reduktion von 63%.

Wird aber die Energiebezugsfläche und das Volumen bei gleicher Gebäudehöhe vergrößert steigert sich der wärmebrückenbezogene Transmissionswärmeverlust linearproportional zum Gebäudevolumen. Der wärmebrückenbezogene Transmissionswärmeverlust pro m² Energiebezugsfläche steigt aber, je flacher und größer das Gebäude wird.

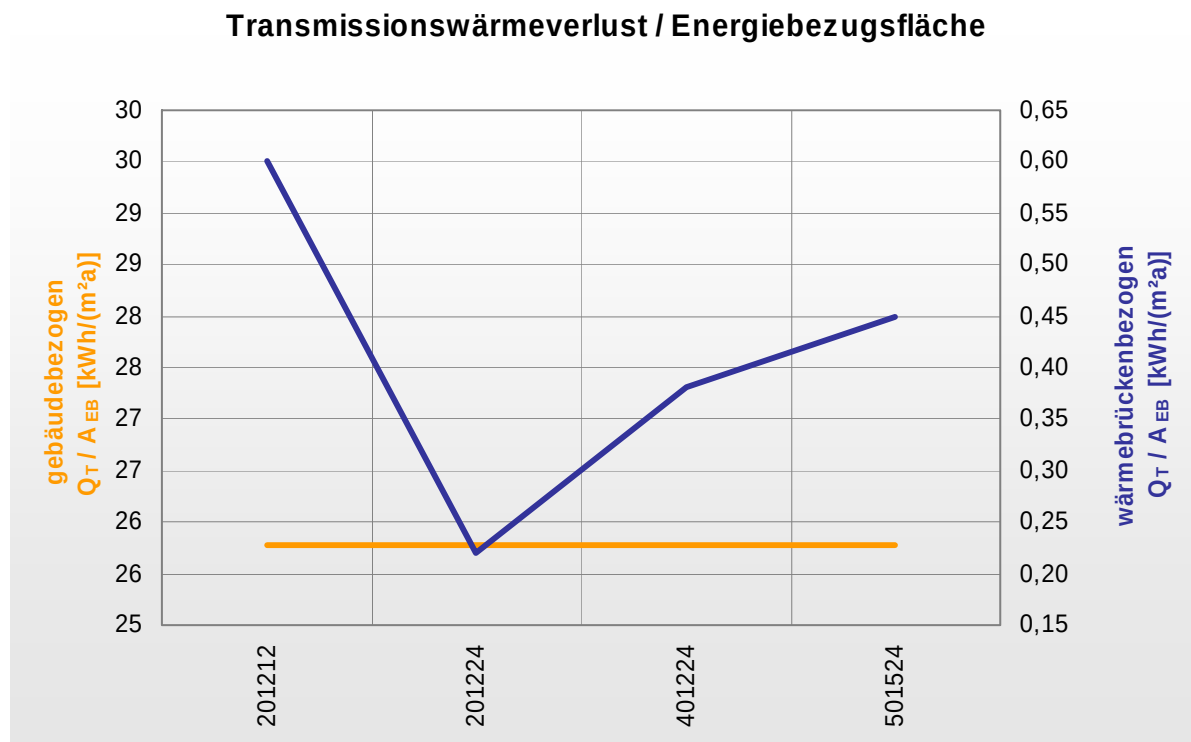


Abb. 29 Transmissionswärmeverlust / Energiebezugsfläche

Im Vergleich zu den auf das Gesamtgebäude entstehenden Transmissionswärmeverluste entsprechen die wärmebrückenbezogenen zwischen 2,33% bei einer Gebäudegröße von L/B/H=20/12/12, 0,86% bei L/B/H=20/12/24 bis zu 1,74% bei L/B/H=50/15/24.

3.11. Heizlast

Die Heizlast ist die zweite zur Bewertung der energetischen Performance wesentliche Größe. Sie gibt Auskunft darüber, wie groß die Wärme erzeugenden Geräte dimensioniert sein müssen, damit Spitzenlasten (kalter Tag, geringe solare Gewinne, geringe interne Gewinne, eventuell Aufheizerfordernis nach Abwesenheit) abgedeckt werden können.

Im klassischen Passivhaus, in dem ein behagliches Innenklima ohne separates Heizsystem und ohne Klimaanlage erreichbar ist und erreicht werden soll, erhält die Heizlast eine weitere, grundlegende Bedeutung:

Mit dem alleinigen Wärmeträger Luft sind nur kleine Wärmemengen transportierbar, es handelt sich im Passivhaus im strengeren Sinn also eigentlich nicht nur um eine Frage der Dimensionierung sondern um die Frage der Beheizbarkeit ganz generell.

Daher wird im Passivhaus überschlägig davon ausgegangen, dass eine Heizlast von 10W/m² Nutzfläche eingehalten werden muss, will man mit der Lüftung als Heizung das Auslangen finden und den hygienisch erforderlichen Luftwechsel nicht überschreiten.

Die Frage, ob es generell sinnvoll und anstrengenswert ist, die Heizleistung in einem Gebäude nur über die Luft einzubringen, oder ob Heizung und Lüftung voneinander zu entkoppeln sind, ist bereits viel diskutiert worden. Für das rein luftgebundene System spricht normalerweise der Preis, für die Trennung von Lüftung und Heizung normalerweise die unterschiedlichen Anforderungen und die größere Flexibilität des Systems. Für diese Entscheidung die Parameter auszuloten, ist Inhalt dieses Kapitels.

3.11.1. theoretische Heizlast des Standardgebäudes

Heizlast = Wärmeleistung, die unter Norm-Witterungsbedingungen zugeführt werden muß, damit die Berechnungsraumtemperatur erreicht oder aufrecht erhalten werden kann.

$$Q = A \cdot U \cdot DJ$$

A = Bruttofläche des Bauteils in m²

U = Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils in W/m²K

DJ = Temperaturdifferenz zwischen Normraumtemperatur und Normaußentemperatur

Quelle: ÖNorm B8135, Ausgabe Febr. 1983

Als Vergleichswert für die weiteren Berechnungen wird hier die Heizlast angegeben, die sich für das Standardgebäude nach dem PHPP ergeben würde, wenn es als ein Volumen betrachtet werden könnte. Ebenfalls sind die Werte für die größeren Gebäude angegeben, unter der Annahme gleichen Heizwärmebedarfes, das heißt mit geringeren U-werten der Außenwand.

Die Heizlast besteht aus einer Bilanzierung zwischen Wärmeverlusten und Wärmegewinne wobei grundsätzlich zwischen zwei Tagen unterschieden wird:

Kalter, klarer Wintertag (Hochdruckwetterlage) mit hoher Solarstrahlung

Kalter, moderater Tag ohne nennenswerte Solarstrahlung

Dadurch ergeben sich immer zwei Varianten von Gewinnen und Verlusten und das schlechtere Ergebnis wird am Ende für die Heizlast P_H herangezogen.

Wärmebilanz Heizlast

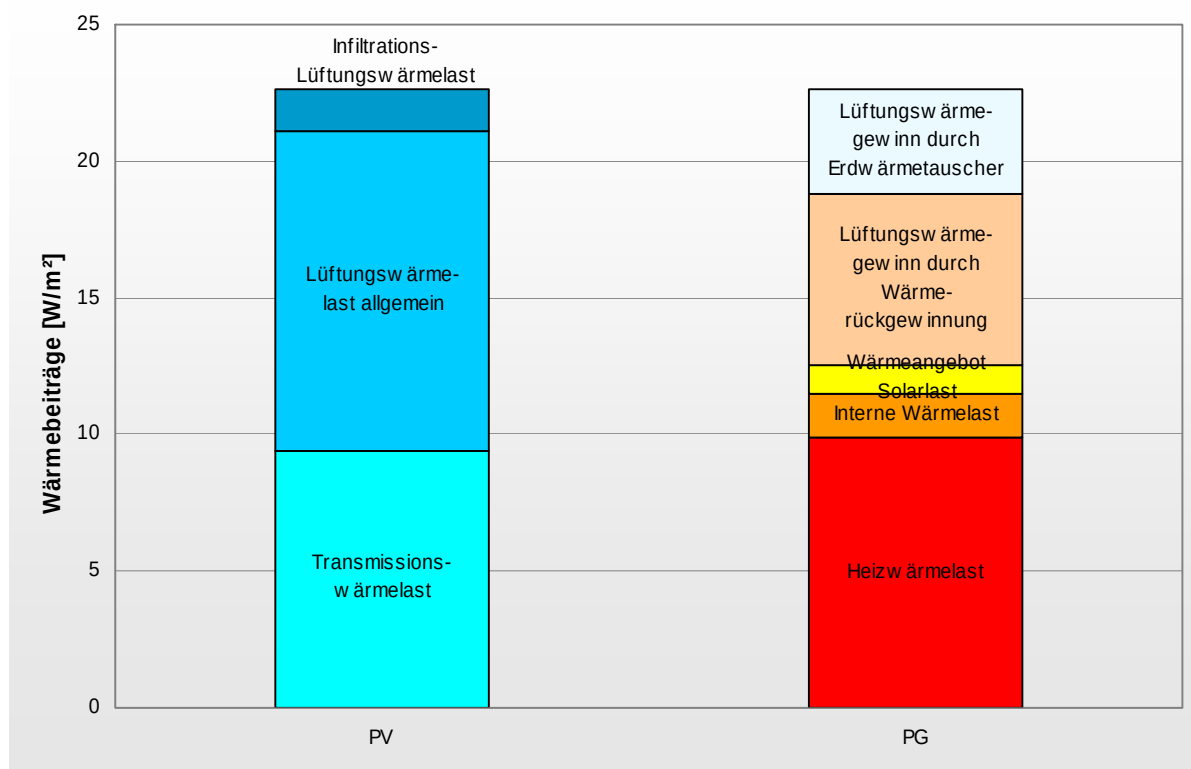


Abb. 30 Wärmebilanz Heizlast

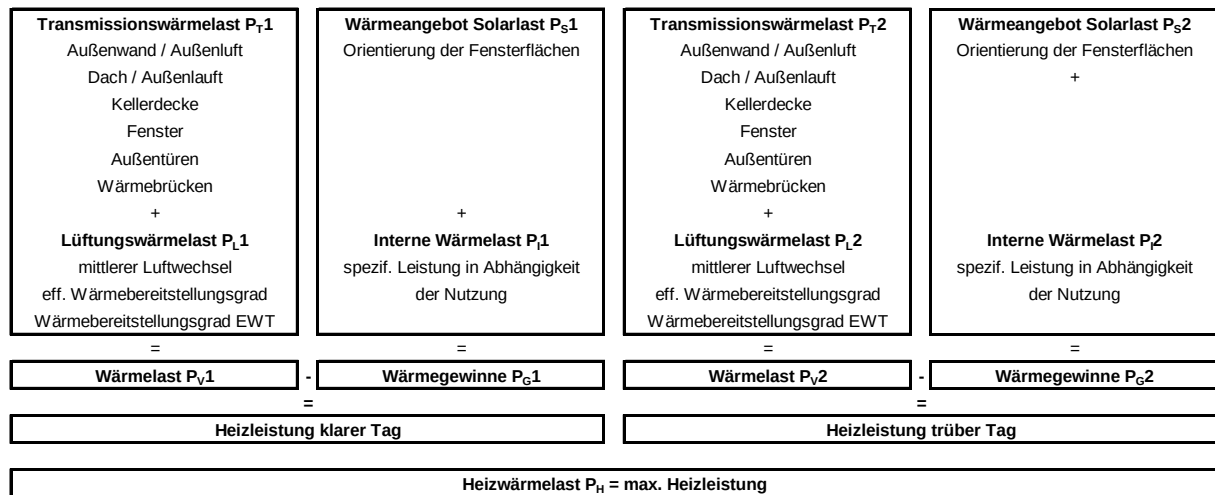


Abb. 31 Maximale Heizleistung

Teilwerte der Heizwärmelast der verschiedenen betrachteten Gebäudevolumina unter Berücksichtigung der gleichgesetzten Faktoren wie unter 3.6 beschrieben.

			Transmissions- wärmelast	Lüftungswärme-last	Wärmelast	Wärmeangebot Solarlast	Interne Wärmelast	Wärmegewinne	Heizwärmelast
L	B	H	P_T	P_L	P_V	P_S	P_I	P_G	P_H
[m]	[m]	[m]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
20	12	12	6760,68	2258,49	9019,17	762,48	1152,00	1914,48	7104,69
20	12	24	13591,72	4516,97	18108,69	1524,96	2304,00	3828,96	14279,74
40	12	24	27029,81	9033,96	36063,77	3049,92	4608,00	7657,92	28405,85
50	15	24	41808,99	14115,48	55924,46	4767,72	7200,00	11967,72	43956,75

Tab. 14 Teilwerte der Heizwärmelast verschiedener Gebäude absolut

			Transmissions- wärmelast	Lüftungswärme-last	Wärmelast	Wärmeangebot Solarlast	Interne Wärmelast	Wärmegewinne	Heizwärmelast
L	B	H	P_T	P_L	P_V	P_S	P_I	P_G	P_H
[m]	[m]	[m]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]	[W/m²]
20	12	12	9,39	3,14	12,53	1,06	1,60	2,66	9,87
20	12	24	9,44	3,14	12,58	1,06	1,60	2,66	9,92
40	12	24	9,39	3,14	12,52	1,06	1,60	2,66	9,86
50	15	24	9,29	3,14	12,43	1,06	1,60	2,66	9,77

Tab. 15 Teilwerte der Heizwärmelast verschiedener Gebäude je Nutzfläche

3.11.2. Ortung der Problemkreise

3.11.2.1. Problem: Eck und Randwohnungen

Dadurch, dass in Gebäuden mit wachsendem Volumen ein immer günstigeres Verhältnis von Nutzfläche zu wärmegeämmter Oberfläche herrscht, können größere Gebäude im Vergleich zu kleineren bei gleichem Heizwärmebedarf mit einer geringeren Dämmstärke auskommen (siehe Kap. 3.6). Bei der Optimierung der Dämmstärke anhand des Heizwärmebedarfes werden zwar in der Betrachtung des Gesamtvolumen der notwendige Heizwärmebedarf und die Heizlast eingehalten, einzelne Wohnungen jedoch, nämlich jene die im Wohnungsverband die äußeren Eck und Randwohnungen darstellen, erreichen dann die notwendigen Werte u.U. nicht mehr.

Als Grundlage für eine erste näherungsweise Untersuchung der Frage, diene eine Wohnung mit einer Energiebezugsfläche von 75m² und nach Osten hin orientierten Fensterflächen. Eine Wohnungstrennwand wurde immer zu einem nicht beheizten Nachbar mit einer Temperaturdifferenz von 3°C angenommen.

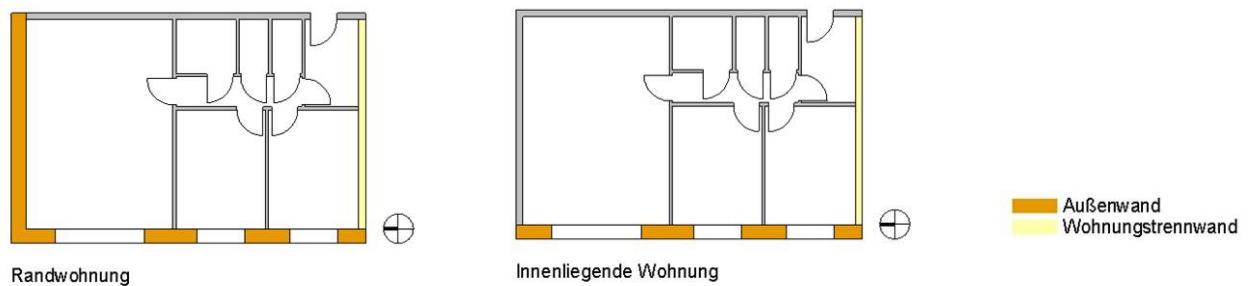


Abb. 32 Aussenmauern der Wohnungen

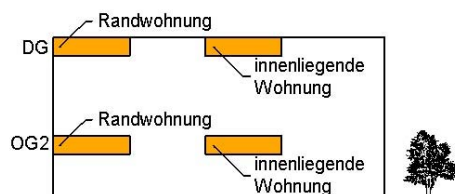


Abb. 33 Lage der Wohnungen

Betrachtet wurden die in der nachfolgenden Tabelle aufgelisteten Gebäude mit je nach Gebäudegröße erforderlichen U-Werten zur Einhaltung des Heizwärmebedarfes, mit Wohnungen jeweils im 2.Obergeschoss und im Dachgeschoss.

Die restlichen Daten (Verschattung, Luftwechsel, Verhältnis Fensterfläche Nutzfläche, etc.) entsprechen dem Standardgebäude, das unter 3.4 beschrieben ist.

Die Annahme geht also bereits von einem relativ hohen Luftwechsel mit 0,52 aus.

						charakter.	Oberfl. / Volums- verhältnis
L	B	H	Außenwand	Dach	Kellerdecke	Länge	
[m]	[m]	[m]	U-Wert [W/m²K]			lc [m]	OVV [1/m]
20	12	12	0,112	0,095	0,135	2,308	0,433
20	12	24	0,149	0,126	0,179	2,857	0,350
40	12	24	0,178	0,151	0,214	3,333	0,300
50	15	24	0,228	0,193	0,275	3,896	0,257
80	15	24	0,246	0,208	0,296	4,138	0,242
80	20	24	0,308	0,261	0,370	4,800	0,208
160	20	24	0,339	0,288	0,408	5,106	0,196

Tab. 16 erforderliche U Werte für Passivhausstandard für Gebäude unterschiedlicher Volumina

Als Ergebnis zeigt sich, dass bei einer Randwohnung im Dachgeschoss bereits bei einem Gebäude von L/B/H=20/12/24 die Heizwärmelast höher liegt als beim Gesamtobjekt und ab einem Gebäude von L/B/H=80/20/24 die Heizwärmelast über die Lüftungsanlage selbst mit den hohen Luftwechseln nicht mehr gedeckt werden kann.

L [m]	B [m]	H [m]	Gesamtgebäude	Innenliegende Wohnung 2.Obergeschoss	Innenliegende Wohnung Dachgeschoss	Randwohnung 2.Obergeschoss	Randwohnung Dachgeschoss
20	12	12					
PH [W]			7124	435,15	628,45	495,98	683,08
PH / AEB [W/m²]			9,9	5,8	8,38	6,61	9,11
20	12	24					
PH [W]			14316	467,62	708,92	550,06	785,31
PH / AEB [W/m²]			9,9	6,23	9,45	7,33	10,47
40	12	24					
PH [W]			28498	481,91	781,5	581,53	875,1
PH / AEB [W/m²]			9,8	6,43	10,42	7,75	11,67
50	15	24					
PH [W]			44145	506,33	905,5	635,3	1028,51
PH / AEB [W/m²]			9,8	6,75	12,07	8,47	13,71
80	15	24					
PH [W]			70032	514,83	948,8	654,01	1082,04
PH / AEB [W/m²]			9,7	6,86	12,65	8,72	14,43
80	20	24					
PH [W]			91867	544,99	1101,79	720,41	1271,34
PH / AEB [W/m²]			9,6	7,27	14,69	9,61	16,95
160	20	24					
PH [W]			180806	560,43	1180,29	754,42	1368,43
PH / AEB [W/m²]			9,4	7,47	15,74	10,06	18,25

Tab. 17 Heizlasten verschiedener Wohnungen in großen Wohngebäuden mit U Werten wie vor.

3.11.2.2. Problem: Verluste nach innen zu unbeheizten Wohnungen

In jedem Gebäude muss nach der momentanen Gesetzeslage davon ausgegangen werden, dass eine Wohnung auch dann beheizbar sein muss, wenn die Nachbarwohnung nicht beheizt wird. Wie bereits beschrieben, sind bei einem rein luftgebundenen System, will man energieeffizient bleiben, der einbringbaren Wärmemenge starke Grenzen gesetzt.

Im Extremfall könnten alle Nachbarwohnungen neben, unter und über der Wohnung unbeheizt sein. Dadurch wäre es auch bei den Wohnungstrennwänden/decken notwendig, sich nicht nur auf die durch die Bauordnung vorgeschriebenen Werte ($U=0,9[W/m^2K]$) zu beschränken, sondern auch diese wesentlich zu verbessern.

Im Neubau mag dies noch ohne Probleme möglich sein, (Nutzflächenverluste bringt es jedoch jedenfalls) in der Sanierung können aus dieser Tatsache (speziell in Bezug zu Trenndecken) kostenintensive Konsequenzen erwachsen.

Als Grundlage für eine erste näherungsweise Untersuchung der Frage wurden ausgehend von einer Wohnung mit einer Energiebezugsfläche von $75m^2$ in einem Gebäude mit den Abmessungen $L/B/H=20/12/12$ und einer Dachgeschoss Randlage die Transmissionswärmeverluste von Wohnungstrennwänden mit unterschiedlichen U-Werten und die flächenspezifische Heizwärmelast der Wohnung verglichen.

Wohnungstrennwand U=0,234[W/m²K]	P _{T1} [W]	P _{T2} [W]	P _H [W]	P _H / A _{EB} [W/m²]
Außenwand Außenluft	119,91	96,34		
Dach Außenluft	222,06	178,41		
Fenster	323,00	259,50		
Wärmebrücken	-16,81	-13,51		
Wohnungstrennwand	15,13	15,13		
	663,28	535,87	683,08	9,11

Wohnungstrennwand U=0,570[W/m²K]	P _{T1} [W]	P _{T2} [W]	P _H [W]	P _H / A _{EB} [W/m²]
Außenwand Außenluft	119,91	96,34		
Dach Außenluft	222,06	178,41		
Fenster	323,00	259,50		
Wärmebrücken	-16,81	-13,51		
Wohnungstrennwand	36,84	36,84		
	685,00	557,59	704,80	9,40

Wohnungstrennwand U=0,850[W/m²K]	P _{T1} [W]	P _{T2} [W]	P _H [W]	P _H / A _{EB} [W/m²]
Außenwand Außenluft	119,91	96,34		
Dach Außenluft	222,06	178,41		
Fenster	323,00	259,50		
Wärmebrücken	-16,81	-13,51		
Wohnungstrennwand	54,94	54,94		
	703,10	575,69	722,90	9,64

Wohnungstrennwand U=2,882[W/m²K]	P _{T1} [W]	P _{T2} [W]	P _H [W]	P _H / A _{EB} [W/m²]
Außenwand Außenluft	119,91	96,34		
Dach Außenluft	222,06	178,41		
Fenster	323,00	259,50		
Wärmebrücken	-16,81	-13,51		
Wohnungstrennwand	186,29	186,29		
	834,44	707,03	854,24	11,39

Tab. 18 Heizlast einer Wohnung bei verschiedenen Wohnungstrennwänden

Es zeigt sich, dass bei einer Wohnungstrennwand bestehend aus einer Gipskartonständerwand mit einer Stärke von 22cm und einem U-Wert von 0,234 [W/m²K] der Transmissionswärmeverlust durch die Wohnungstrennwand nur ca. 2 % der gesamten Transmissionswärmeverluste besteht und daher unerheblich ist.

Den Extremfall bildet sicher eine Wohnungstrennwand aus den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts, bestehend aus Stahlbeton mit einer Stärke von 20cm und einem U-Wert von 2,882 [W/m²K]. Hier werden nicht nur die durch die Bauordnung geforderten Werte nicht eingehalten, sondern der Transmissionswärmeverlust durch die Wohnungstrennwand beträgt bereits 22,3% der gesamten Transmissionswärmeverluste (trotz lediglich 3° Temperaturdifferenz) und ist damit höher als der durch die Außenwand verursachte.

Trenndecken wurden in der ersten Untersuchung nicht näher betrachtet, sie stellen allerdings eine Verschärfung des Problems dar, wegen der Größe der Fläche und der mangelnden Verbesserbarkeit in der Sanierung.

3.11.2.3. Problem: höhere Anforderungen an den Raum

Üblicherweise wird im Passivhaus von einer Raumtemperatur von 20° ausgegangen. Es häufen sich jedoch Nutzerwünsche nach 23° Raumtemperatur, die im Standardgebäude angenommene Fensterfläche von 25% der Nutzfläche der Aufenthaltsräume ist, wie im Kapitel Tageslicht beschrieben, nicht gerade großzügig bemessen, da im städtischen Umfeld Gebäude stark verschattet sein können. All diese Faktoren verschärfen bei Randwohnungen im DG und EG die Anforderungen. Es ist daher notwendig den Handlungsspielraum auszuloten und Möglichkeiten zu erkunden.

3.11.3. Handlungsspielraum Heizlast /Wärmeträger Luft

Als Grundlage der weiterführenden Untersuchung diene wiederum die Wohnung mit einer Energiebezugsfläche von 75m². Betrachtet wurde jeweils für das Dachgeschoss und das Erdgeschoss eine Randlage mit zwei oder mit drei Außenwandflächen wie in nachfolgender Abbildung dargestellt.

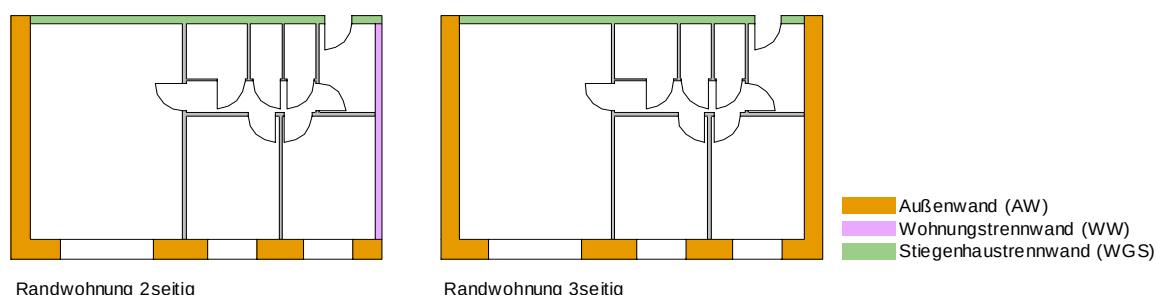


Abb. 34 Außenwände einer Wohnung

Um eine Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Varianten zu gewährleisten, werden für die Berechnungen mit dem PHPP 2004, folgende Faktoren gleichbelassen:

Klimadaten: gerechnet wurde mit regionalen Klimadaten für Österreich, Standort Wien des PHPP 2004. (eher milde Klimadaten)

Personenbelegung: pro Person wurde eine WNfl. von 23m² angenommen, wodurch sich 3,26 Pers./Wohnung ergeben.

Bauteilaufbauten: WD Wohnungstrenndecke
 WW Wohnungstrennwand
 WGS Wand gegen unbeheiztes Stiegenhaus
 DGU Decke gegen unbeheizten Keller

Dachaufbau	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m ² K/W]
Humusschicht	0,1	1,8	0,056
Blähton	0,03	0,16	0,188
Vlies	0,001	0,22	0,005
WD XPS	0,05	0,034	1,471
Abdichtung 2-lag	0,008	0,23	0,035
WD EPS W25	0,45	0,036	12,500
Dampfbremse	0,001	0,87	0,001
DDAS	0,001	0,23	0,004
STB Decke	0,2	2,3	0,087
Putz	0,015	0,8	0,019
U-Wert [W/(m²K)]	0,069		

DGU1	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m ² K/W]
Parkett	0,017	0,17	0,100
Betonestrich	0,1	1,4	0,071
PAE Folie	0,001	0,23	0,004
WD EPS W20	0,39	0,041	9,512
STB Decke	0,2	2,3	0,087
Putz	0,015	0,8	0,019
U-Wert [W/(m²K)]	0,098		

WW / WGS1	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m ² K/W]
GK-Platten 2x1,25	0,025	0,210	0,119
WD	0,08	0,043	1,860
GK-Platten 1x1,25	0,013	0,210	0,060
WD	0,08	0,043	1,860
GK-Platten 2x1,25	0,025	0,210	0,119
U-Wert [W/(m²K)]	0,234		

WD	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m ² K/W]
Parkett	0,017	0,170	0,100
Betonestrich	0,05	1,400	0,036
PAE Folie	0,001	0,230	0,004
TDP 45/40	0,04	0,034	1,176
XPS	0,04	0,037	1,081
STB Decke	0,18	2,300	0,078
Putz	0,015	0,800	0,019
U-Wert [W/(m²K)]	0,362		

DGU2	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m ² K/W]
Parkett	0,017	0,17	0,100
Betonestrich	0,1	1,4	0,071
PAE Folie	0,001	0,23	0,004
WD EPS W20	0,5	0,041	12,195
STB Decke	0,2	2,3	0,087
Putz	0,015	0,8	0,019
U-Wert [W/(m²K)]	0,078		

WGS2	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m ² K/W]
GK-Platte	0,013	0,210	0,060
WD	0,05	0,039	1,282
STB	0,18	2,400	0,075
U-Wert [W/(m²K)]	0,595		

Während die oben angeführten Aufbauten konstant angenommen werden, variiert die Dämmstärke der Außenwand in Abhängigkeit des mittleren Luftwechsels und der Heizlast. Die maximale Dämmstärke wurde bei 40cm festgelegt.

Außenwand	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m ² K/W]
Silikatputz	0,007	0,70	0,010
WD EPS	var.	0,04	variabel
STB	0,2	2,30	0,087
Putz	0,015	0,80	0,019
U-Wert [W/(m²K)]	variabel		

Wohnungseingangstür: Für die Simulation wurde ein U-Wert von 0,81 [W/m²K] angenommen.

Wärmebrücken: Die Wärmebrücken wurden wie in Kap. 3.4 beschrieben angenommen. Die Leitwerte für den Fassadenanker der Wärmedämmung wurden aus dem Projektbericht BMVIT ALTeS Haus übernommen.

Dachgeschoss:

Wärmebrückenbezeichnung	Stk/Einheit	Fläche	Länge	ψ	χ	H-Wert
		[m²]	[m]	[W/mK]	[W/K]	[W/K]
Gebäudeecke	1 Ecke		3,527	-0,06		-0,2116
Außenwand / Dach	Kanten ins Freie		variabel	-0,054		variabel
Balkonaufleger	1 Balkon		5	0,024		0,12
Flachdachgeländeranker	1 Stk/lfm		variabel	0,024		variabel
Fassadenanker der WD	2 Stk/m²AW	variabel		0,018		variabel

Erdgeschoss

Wärmebrückenbezeichnung	Stk/Einheit	Fläche	Länge	ψ	χ	H-Wert
		[m²]	[m]	[W/mK]	[W/K]	[W/K]
Gebäudeecke	1 Ecke		3,00	-0,06		-0,18
Außenwand / Kellerdecke	0,073 Stk/m² BFL	variabel			0,6	variabel
Fassadenanker der WD	2 Stk/m²AW	variabel		0,018		variabel

Als variabel sind all jene Bauteilabmessungen bezeichnet die sich im Zuge der Simulation auf Grund der notwendigen Bauteildicke der Außenwand ergeben.

Fenster: Für die Berechnung wurde ein Fenster mit Kennwerten wie in Kap. 3.4 angenommen. Die Größe der Rohbauöffnung beträgt je nach Variante 19% oder 27% der Nutzfläche der gesamten Wohnung. Das entspricht 25% bzw. 35% der Nutzfläche der Aufenthaltsräume.

Verschattung: Berücksichtigt wurde bei allen Varianten eine Verschattung durch ein Nachbargebäude mit einer horizontalen Entfernung zum verschattenden Objekt von 12m. Der Lichteinfallswinkel zwischen den Gebäuden wurde mit 45° angenommen wodurch die Höhe des verschattenden Objektes im Dachgeschoss 3m und im Erdgeschoss 12m beträgt.

Die Laibungverschattung und die Tiefe des Überstandes variiert bei allen Varianten je nach der Dämmstärke der Außenwand.

Im Erdgeschoss wurde zusätzlich bei dem Fenster mit der größten Abmessung eine Verschattung durch eine Balkonplatte mit einem Überstand von 1,5m angenommen.

Lüftungsdaten

mittlere Luftwechsel	$0,35 \leq n_{L, \text{Anlage}} \leq 0,5216 [1/h]$
Windschutzkoeffizienten	durchschnittliche Abschirmung
Luftwechsel bei Drucktest	0,6 [1/h]
Infiltrationsluftwechsel $n_{L, \text{Rest}}$	0,042 [1/h]

Wärmebereitstellungsgrad
der Lüftungsanlage

 $\eta_{\text{eff, WRG}}$

75 [%]

Wärmebereitstellungsgrad
des Erdschichtwärmetauschers

 η_{EWT}

20 [%]

Erdreich

Für die Varianten im Erdgeschoss wurden Verluste über einen unbeheizten Keller berücksichtigt. Die Fläche der Bodenplatte wurde dabei je nach Bauteildicke der Außenwand variabel angenommen, ebenso die ins Freie führenden Kanten. Die Raumhöhe wurde mit 2,3m festgelegt das Volumen ist in Abhängigkeit der Fläche der Bodenplatte variabel.

Der Luftwechsel wurde mit 0,2, die U-Werte wurden wie folgt angenommen.

Kellerwand oberirdisch 0,117 [W/m²K], Kellerwand unterirdisch 0,6 [W/m²K], Bodenplatte 0,645 [W/m²K].

In den nachfolgenden Tabellen sind die unterschiedlichen Parameter der einzelnen Varianten für die Wohnung aufgelistet:

Varianten im DG

	Innentemperatur [°C]	U-Wert der Außenwand [W/m²K]	mittlerer Luftwechsel [1/h]	Fensterfläche 25% der Aufenthaltsräume	Fensterfläche 35% der Aufenthaltsräume	Orientierung der Fenster nach Osten	Orientierung der Fenster nach Norden	Orientierung der Fenster nach Süden	Orientierung der Fenster Nord/Süd	Außenwandfläche 2seitig	Außenwandfläche 3seitig	Verluste über WGS1 (Temperaturdiff. 3K)	Verluste über WW (Temperaturdiff. 3K)	Verluste über WD (Temperaturdiff. 3K)	Verluste über WGS2 (Temperaturdiff. 3K)
V01 / FE25%,O	20	0,137	0,3500	X		X				X		X			
V01a / FE25%,O	20	0,264	0,4358	X		X				X		X			
V01b / FE25%,O	20	0,39	0,5216	X		X				X		X			
V02 / FE25%,N	20	0,097	0,3584	X			X			X		X			
V03 / FE25%,S	20	0,233	0,3500	X				X		X		X			
V04 / FE35%,O	20	0,097	0,3616		X	X				X		X			
V04a / FE35%,O	20	0,264	0,4416		X	X				X		X			
V04b / FE35%,O	20	0,394	0,5216		X	X				X		X			
V05 / FE25%,O,WGS -	20	0,097	0,3552	X		X				X					X
V06 / FE25%,O,AW +	20	0,097	0,3872	X		X					X	X			
V06a / FE25%,O,AW +	20	0,173	0,4544	X		X					X	X			
V06b / FE25%,O,AW +	20	0,248	0,5216	X		X					X	X			
V07 / FE25%,N-S,AW +	20	0,114	0,3500	X					X		X	X			
V07a / FE25%,N-S,AW +	20	0,209	0,4358	X					X		X	X			
V07b / FE25%,N-S,AW +	20	0,283	0,5216	X					X		X	X			
V08 / FE35%,N-S,AW +	20	0,097	0,3648		X				X		X	X			
V08a / FE35%,N-S,AW +	20	0,209	0,4432		X				X		X	X			
V08b / FE35%,N-S,AW +	20	0,304	0,5216		X				X		X	X			
V09.1 / FE25%,O,T 20,6°C	20,6	0,097	0,3500	X		X				X		X			
V09.2 / FE25%,O,T 23°C	23	0,097	0,4192	X		X				X		X			
V09.2a / FE25%,O,T 23°C	23	0,173	0,4704	X		X				X		X			
V09.2b / FE25%,O,T 23°C	23	0,233	0,5216	X		X				X		X			
V09.3 / FE25%,O,T 25,9°C	25,9	0,097	0,5216	X		X				X		X			
V10 / FE35%,O,T 23°C	23	0,097	0,4576		X	X				X		X			
V11 / FE25%,O,AW +,T 23°C	23	0,097	0,4864	X		X					X	X			
V12 / FE35%,O,AW +,T 22,95°C	22,95	0,097	0,5216		X	X					X	X			
V13 / FE25%,N-S,AW +,T 23°C	23	0,097	0,4352	X					X		X	X			
V14 / FE35%,N-S,AW +,T 23°C	23	0,097	0,4640		X				X		X	X			
V15 / FE25%,O,NB 3K	20	0,117	0,3500	X		X				X		X	X		
V16 / FE25%,O,T 23°C,NB 3K	23	0,097	0,4288	X		X				X		X	X		
V17 / FE25%,O,AW +,NB _{unten} 3K	20	0,097	0,4384	X		X					X	X		X	
V18 / FE25%,O,AW +,T 22,4°C,NB _{unten} 3K	22,4	0,097	0,5216	X		X					X	X		X	
V19 / FE35%,O,AW +,NB _{unten} 3K	20	0,097	0,4672		X	X					X	X		X	
V20 / FE35%,O,AW +,T 21,5°C,NB _{unten} 3K	21,5	0,097	0,5216		X	X					X	X		X	
V21 / FE35%,N-S,AW +,T 23°C,NB _{unten} 3K	23	0,097	0,5216		X				X		X	X		X	

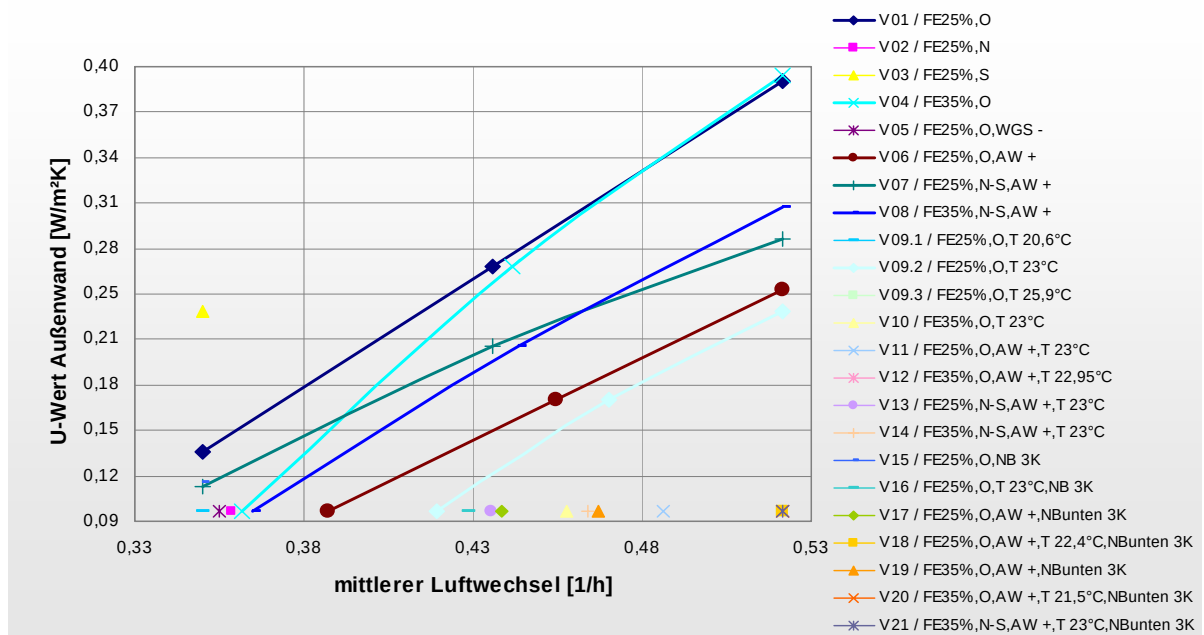
Variantenvergleich Whg75m² DG

Abb. 35 Variantenvergleich DG

Varianten im EG

	Innentemperatur [°C]	U-Wert der Außenwand [W/m²K]	mittlerer Luftwechsel [1/h]	Fensterfläche 25% der Aufenthaltsräume	Fensterfläche 35% der Aufenthaltsräume	Orientierung der Fenster nach Osten	Orientierung der Fenster nach Norden	Orientierung der Fenster nach Süden	Orientierung der Fenster Nord/Süd	Außenwandfläche 2seitig	Außenwandfläche 3seitig	Verluste über WGS1 (Temperaturdiff. 3K)	Verluste über WW (Temperaturdiff. 3K)	Verluste über WD (Temperaturdiff. 3K)	Verluste über WGS2 (Temperaturdiff. 3K)
V01 / FE25%,O	20	0,097	0,3552	X		X				X		X			
V01a / FE25%,O	20	0,264	0,4416	X		X				X		X			
V01b / FE25%,O	20	0,394	0,5216	X		X				X		X			
V02 / FE25%,N	20	0,097	0,3648	X			X			X		X			
V03 / FE25%,S	20	0,147	0,3500	X				X		X		X			
V04 / FE35%,O	20	0,097	0,3968		X	X				X		X			
V04a / FE35%,O	20	0,248	0,4592		X	X				X		X			
V04b / FE35%,O	20	0,359	0,5216		X	X				X		X			
V05 / FE25%,O,WGS -	20	0,097	0,3712	X		X				X					X
V06 / FE25%,O,AW +	20	0,097	0,4064	X		X					X	X			
V06a / FE25%,O,AW +	20	0,173	0,4624	X		X					X	X			
V06b / FE25%,O,AW +	20	0,248	0,5216	X		X					X	X			
V07 / FE25%,N-S,AW +	20	0,097	0,3936	X					X		X	X			
V07a / FE25%,N-S,AW +	20	0,181	0,4576	X					X		X	X			
V07b / FE25%,N-S,AW +	20	0,260	0,5216	X					X		X	X			
V08 / FE35%,N-S,AW +	20	0,097	0,4320		X				X		X	X			
V08a / FE35%,N-S,AW +	20	0,171	0,4768		X				X		X	X			
V08b / FE35%,N-S,AW +	20	0,233	0,5216		X				X		X	X			
V09.2 / FE25%,O,T 23°C	23	0,097	0,4512	X		X				X		X			
V09.2a / FE25%,O,T 23°C	23	0,159	0,4864	X		X				X		X			
V09.2b / FE25%,O,T 23°C	23	0,209	0,5216	X		X				X		X			
V09.3 / FE25%,O,T 24,9°C	24,9	0,097	0,5216	X		X				X		X			
V10 / FE35%,O,T 23°C	23	0,097	0,5024		X	X				X		X			
V11 / FE25%,O,AW +,T 23°C	23	0,097	0,5120	X		X					X	X			
V12 / FE35%,O,AW +,T 22°C	22	0,097	0,5216		X	X					X	X			
V13 / FE25%,N-S,AW +,T 23°C	23	0,097	0,4992	X					X		X	X			
V14 / FE35%,N-S,AW +,T 22,4°C	22,4	0,097	0,5216		X				X		X	X			
V15 / FE25%,O,NB 3K	20	0,097	0,3616	X		X				X		X	X		
V16 / FE25%,O,T 23°C,NB 3K	23	0,097	0,4576	X		X				X		X	X		
V17 / FE25%,O,AW +,NB _{oben} 3K	20	0,097	0,4576	X		X					X	X		X	
V18 / FE25%,O,AW +,T 21,8°C,NB _{oben} 3K	21,8	0,097	0,5216	X		X					X	X		X	
V19 / FE35%,O,AW +,NB _{oben} 3K	20	0,097	0,4992		X	X					X	X		X	
V20 / FE35%,O,AW +,T 20,6°C,NB _{oben} 3K	20,6	0,097	0,5216		X	X					X	X		X	
V21 / FE35%,N-S,AW +,T 21°C,NB _{oben} 3K	21	0,097	0,5216		X				X		X	X		X	

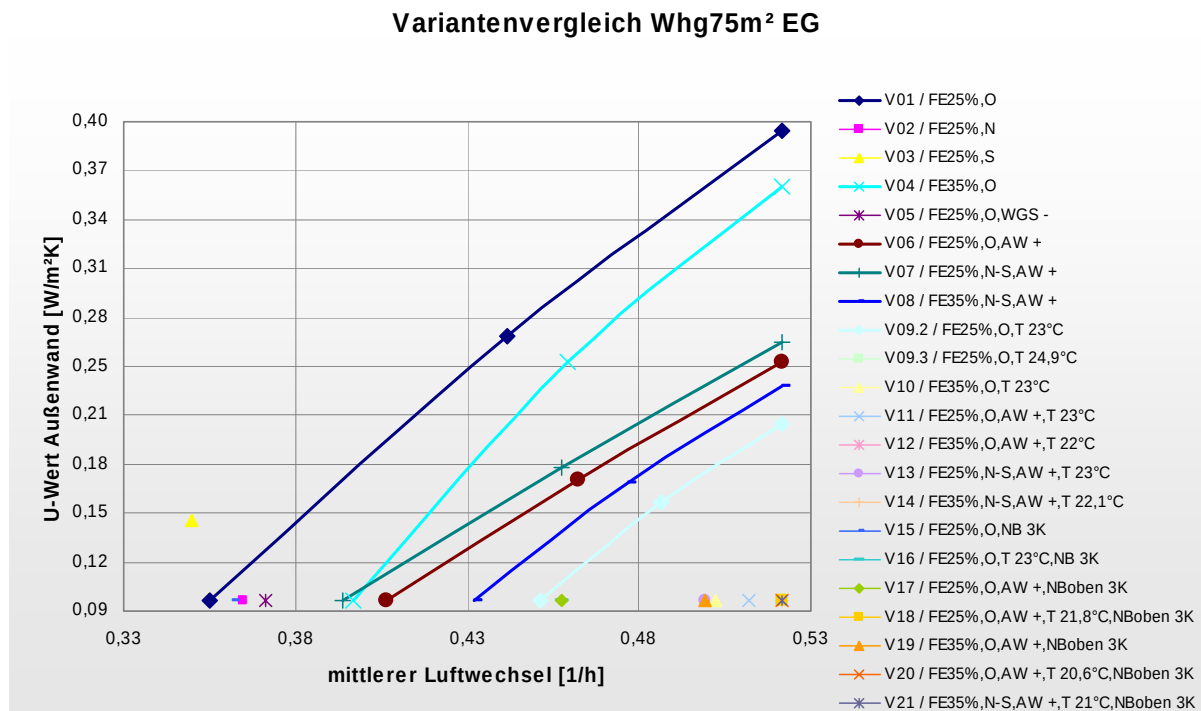


Abb. 36 Variantenvergleich EG

Bei den Parameterstudien wurde zunächst der mittlere Luftwechsel auf 0,35 [1/h] gesetzt und die Dämmstärke der Außenwand mit dem daraus resultierenden U-Wert so angenommen, dass die Heizlast gedeckt ist. Erst nach Erreichen der festgesetzten maximalen Dämmstärke (40cm) wurde der Luftwechsel im notwendigen Maß erhöht.

Vergleicht man die unterschiedlichen Varianten, zeigt sich der Zusammenhang von Luftwechsel und U-Wert. Durch die festgelegten Parameter kann im Dachgeschoss nur mit den Varianten 01, 03, 07, 09.1 und 15 ein mittlerer Luftwechsel von 0,35 [1/h] erzielt werden. Dabei kann durch die höheren solaren Gewinne bei der Variante 03 die Dämmstärke mit 16cm ausgeführt werden. Sinken nun die solaren Gewinne oder steigen die Transmissionswärmeverluste, muss bei gleich bleibendem Luftwechsel die Dämmstärke erhöht werden. Das von uns festgesetzte Maximum wird dabei bei der Variante 09.1 erreicht.

Für einige Anforderungsvarianten wurde lediglich eine Ausführung gerechnet. (Jeweils 1 Punkt in der Tabelle).

Für manche ausgewählte Varianten wurden mehrere Möglichkeiten gerechnet.

Dies sei an der Variante 06 erläutert.

Bei der Grundannahme der Variante 06 beträgt der U-Wert der Außenwand 0,097 W/m²K, was einer Dämmstärke von 40cm entspricht. Der mittlere Luftwechsel wurde, um die Heizlast zu erreichen, auf 0,3872 [1/h] gesetzt. Möchte man nun die Dämmstärke reduzieren, muss gleichzeitig der Luftwechsel erhöht werden. Bei einer Reduktion der Dämmstärke auf 22cm beträgt der notwendige Luftwechsel 0,4544 [1/h]. Setzt man den Luftwechsel auf das von uns festgelegte Maximum von 0,5216 [1/h] könnte die Dämmstärke der Außenwand auf 15cm, das entspricht einem U-Wert von 0,248, reduziert werden.

Je weniger harte Anforderungen an eine Wohnung gestellt werden (Fenstergröße, Orientierung, Temperatur, unbeheizte Nachbarn, Qualität der Trennwände und Decken) desto größer ist der Handlungsspielraum, der sich in der Tabelle zwischen einem U-Wert von 0,09 und 0,4 in Kombination mit einem Luftwechsel von 0,35 bis 0,52 aufspannt. Dieser Handlungsspielraum wird durch die Länge der Linien der einzelnen Varianten dargestellt. Je

länger die Linie, desto mehr Möglichkeiten gibt es. So lässt sich auch erkennen, dass die Varianten 18 und 21 gar keinen Handlungsspielraum mehr besitzen.

Im Erdgeschoss sind die Tendenzen gleich. Jedoch wird die maximale Dämmstärke früher erreicht. Ein Grund liegt in der höheren Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude und den damit geringeren solaren Gewinnen.

Vergleicht man die Ergebnisse der Variante 01 sieht man, dass im Erdgeschoss bereits in der Grundannahme die maximale Dämmstärke erreicht wird und der Luftwechsel auf 0,3552 [1/h] erhöht ist. Im Dachgeschoss konnte der Luftwechsel bei 0,35 [1/h] belassen werden und die Dämmstärke beträgt 28cm.

Betrachtet man die Ergebnisse in den beiden Diagrammen sieht man den möglichen Handlungsspielraum. Möchte man einen höheren Komfort in den Wohnungen erzielen, müssen Maßnahmen wie eine höhere Dämmung oder die Steigerung des mittleren Luftwechsels getroffen werden. Das kann allerdings, wie im Dachgeschoss Variante 21 ersichtlich, soweit führen, dass durch die gewünschten Komfortbedingungen, wie eine höhere Innentemperatur von 23°C in Kombination mit einem Fensteranteil von 35%, sowie zusätzliche Einflüsse wie eine erhöhte Außenwandfläche und zusätzliche Verluste in die Nachbarwohnung darunter, überhaupt kein Handlungsspielraum mehr vorhanden ist.

Speziell im Erdgeschoss, wo Beeinträchtigungen wie eine reduzierte Belichtung aus Gründen der Wohnqualität durch größere Fenster kompensiert werden müssen, reduzieren sich die Möglichkeiten stark. Das führt in vielen Fällen dazu, dass die Dämmstärken der Randwohnungen im Vergleich zum gesamten Gebäude wesentlich höher ausgeführt werden müssten.

Als zusätzliche Varianten wurden für das Erdgeschoss weitere Verbesserungsmöglichkeiten betrachtet. Diese können einerseits in der Erhöhung der Dämmstärke der Decke gegen den unbeheizten Keller oder andererseits in der Reduktion der Verschattung durch ein Nachbargebäude liegen.

Für die Simulationen wurden folgende Annahmen getroffen:

Erhöhung der Dämmstärke der Kellerdecke von 39cm auf 50cm.

Reduktion der Verschattung durch Gewährleistung eines Lichteinfallwinkels von 30°.

Kombination der beiden Maßnahmen.

Eine Übersicht der getroffenen Parameter ist in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich.

Zusatzvarianten im EG	Innentemperatur [°C]	U-Wert der Außenwand [W/m²K]	mittlerer Luftwechsel [1/h]	Fensterfläche 25% der Aufenthaltsräume	Fensterfläche 35% der Aufenthaltsräume	Orientierung der Fenster nach Osten	Lichteinfallswinkel 45°	Lichteinfallswinkel 30°	Außenwandfläche 2seitig	Außenwandfläche 3seitig	Verluste über WGS1 (Temperaturdiff. 3K)	Verluste über DGU1 (Temperaturdiff. 3K)	Verluste über DGU2 (Temperaturdiff. 3K)
V01 / FE25%,O	20	0,097	0,3552	X		X	X		X		X	X	
V01.1 / FE25%,O,DGU +	20	0,105	0,3500	X		X	X		X		X		X
V01.2 / FE25%,O,LI30°	20	0,111	0,3500	X		X		X	X		X	X	
V01.3 / FE25%,O,DGU +,LI30°	20	0,128	0,3500	X		X		X	X		X		X
V04 / FE35%,O	20	0,097	0,3968		X	X	X		X		X	X	
V04.1 / FE35%,O,DGU +	20	0,097	0,3904		X	X	X		X		X		X
V04.2 / FE35%,O,LI30°	20	0,097	0,3840		X	X		X	X		X	X	
V04.3 / FE35%,O,DGU +,LI30°	20	0,097	0,3776		X	X		X	X		X		X
V06 / FE25%,O,AW +	20	0,097	0,4064	X		X	X			X	X	X	
V06.1 / FE25%,O,AW +,DGU +	20	0,097	0,4000	X		X	X			X	X		X
V06.2 / FE25%,O,AW +,LI30°	20	0,097	0,3968	X		X		X		X	X	X	
V06.3 / FE25%,O,AW +,DGU +,LI30°	20	0,097	0,3904	X		X		X		X	X		X

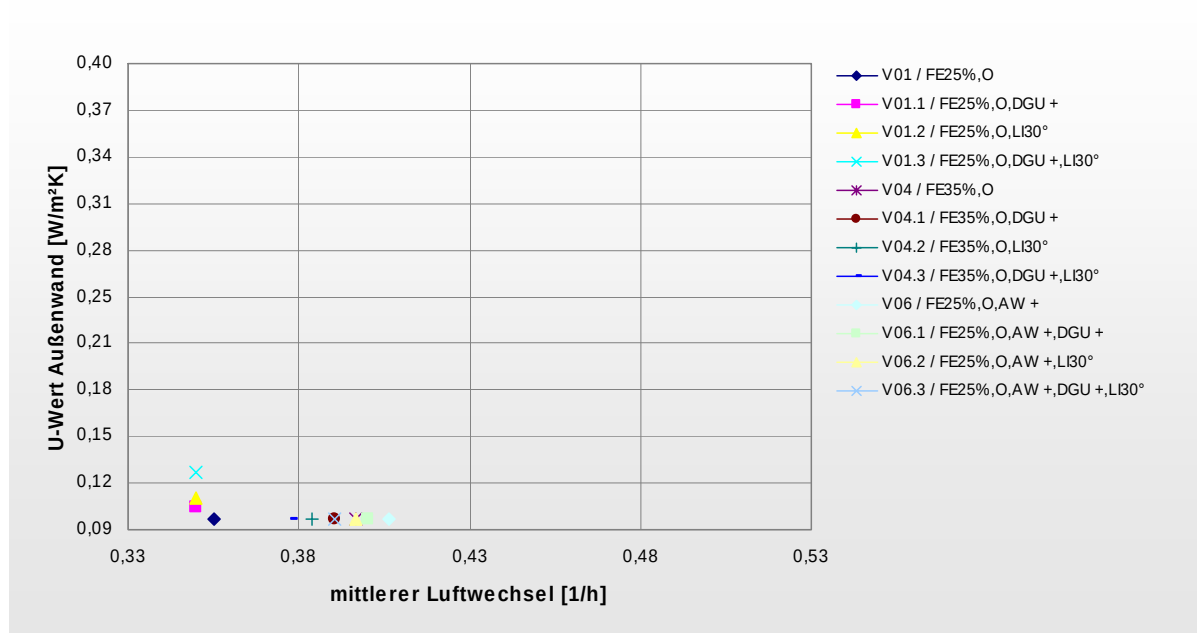
Variantenvergleich Whg75m² EG

Abb. 37 Variantenvergleich EG

Als Ergebnis zeigen sich unterschiedliche Auswirkungen der betrachteten Varianten. Betrachtet man die Variante 01, kann eine gleichzeitige Reduktion des Luftwechsels und der Dämmstärke festgestellt werden. Bei den restlichen Varianten muss die maximale Dämmstärke belassen werden, jedoch konnte der Luftwechsel reduziert werden. Generell führte die Kombination aller Varianten zu den besten Ergebnissen.

3.11.4. Optimierung der Transmissionsverluste in Randwohnungen

Eine Möglichkeit, den Handlungsspielraum für Randwohnungen in Bezug auf die Heizlast zu erweitern, ist es, die Verluste über die Oberfläche zu minimieren.

Dies kann auf folgenderweise geschehen:

1. über eine Änderung der Dämmstärke
2. über eine Änderung der Form
3. über eine Änderung des konstruktiven Außenwandaufbaues.

3.11.4.1. Änderung der Dämmstärke im Dachgeschoss/ Erdgeschoss

Wenn man die Gesamtkubatur erforderlicher Dämmung für ein Passivhausgebäude betrachtet, ist es normalerweise am sinnvollsten, diese Kubatur möglichst gleichmäßig zu verteilen. Dieser generelle Grundsatz muss an Bereiche unterschiedlicher Temperaturdifferenz zwischen innen und außen angepasst werden.

(s. auch Kap. 3.9 Exkurs Dämmstärke: Optimierung für Dach und Keller)

Zusätzlich könnte durch eine unterschiedliche Aufteilung der Dämmstärken am Gebäude bei einem Passivhaus mit rein luftgebundenem Heizsystem die Transmissionsverluste von Randwohnungen zu minimieren und damit das Problem der Heizlast in diesen Wohnungen zu entschärfen.

Formal konsequent angewendet könnte das im großen Volumen so aussehen:

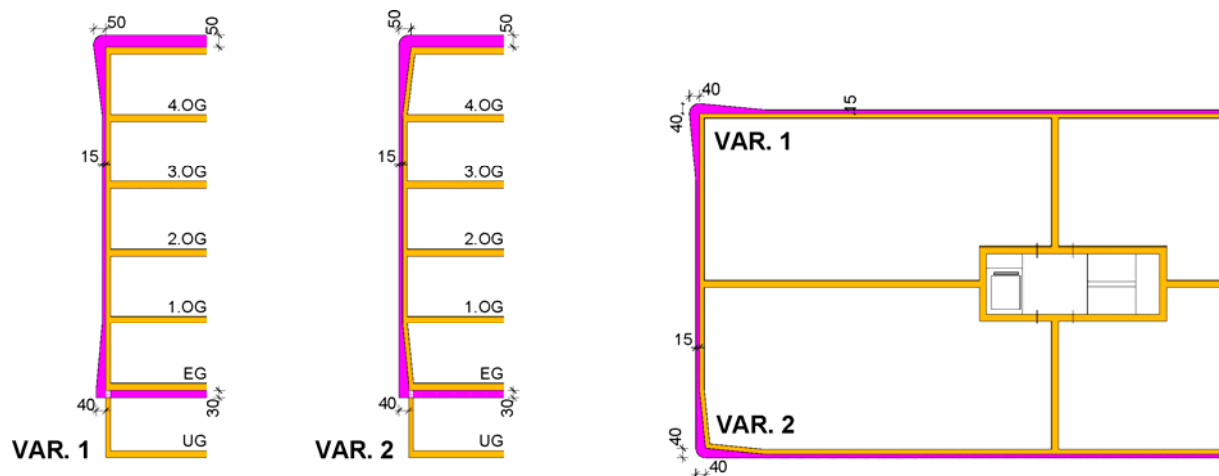


Abb. 38 Schnitte und Grundriss (Schema) mit örtlich angepasster Dämmstärke

In der Variante 1 bildet ein herkömmlicher rechtwinkliger Rohbau die Grundlage der Gebäudeform. Die Dämmstärke wird den Erfordernissen konsequent angepasst. Das äußere Erscheinungsbild des Gebäudes ändert sich radikal.

In der Variante 2 bildet die äußere Hülle die Grundlage. Von außen erscheint das Gebäude wie ein herkömmlich konstruiertes Haus.

Die Dämmstärke entspräche dann in den Mittelgeschossen den Erfordernissen des jeweiligen Volumens, im Dachgeschoss wären Dämmstärken von 40 – 50 cm wie im Einfamilienhaus vonnöten.

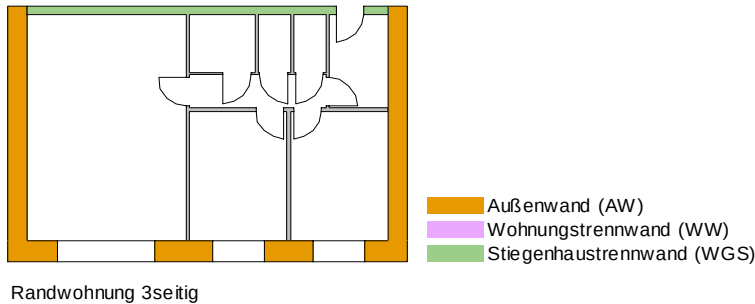
Diese Maßnahme vereinheitlicht dann in gewissem Maße die solaren Ausnutzungsgrade der einzelnen Wohnungen, es bedeutet jedoch, dass im Dachgeschoss wie auch im Erdgeschoss der solare Ausnutzungsgrad sinkt. Dies bedeutet in weiterer Konsequenz, dass ein etwas größerer Teil der möglichen solaren Gewinne (in der Größenordnung von 10- 15% der Gewinne dieser Wohnungen) nicht verwertet werden können. Sowohl diese Tatsache als auch die der ungleichen Verteilung des Dämmstoffes und damit des energetisch uneffizienteren Einsatzes muss bei gleichem Heizwärmebedarf durch eine Mehrmenge an Dämmstoff ausgeglichen werden. Ob diese Mehrmenge an Dämmstoff primärenergetisch besser abschneidet als die Trennung von Lüftung und Heizung in Form eines einfachen Zusatzsystems für die Restheizwärme wie in Kap. 3.11.5 beschrieben, ist wissenschaftlich nicht untersucht. Diese Frage wird, neben der jeweiligen Gebäudekonstellation, maßgeblich davon abhängen, ob in Zukunft eine Entwicklung primärenergetisch hocheffizienter Restheizsysteme stattfinden wird.

3.11.4.2. Änderung der Form im Dachgeschoss/ Erdgeschoss

In diesem Kapitel wurde untersucht, wie weit eine Oberflächenminimierung durch Schrägen oder Abrundungen im Dachgeschoss eine Verbesserung für die Heizlast bringt.

Ausgehend von der in Kap. 3.11.3 definierten Variante 17 wurden verschiedene Variationen und ihre Auswirkungen auf die Heizlast untersucht.

Var. 17 hat folgende Ausgangslage:



Bauteilaufbauten: WD Wohnungstrenndecke

WW Wohnungstrennwand

WGS Wand gegen unbeheiztes Stiegenhaus

DGU Decke gegen unbeheizten Keller

Fensteranteil 25% der belichteten Nutzfläche, 19% der Gesamtnutzfläche

Orientierung: Ost

Raumtemperatur: 20 °

Innere Verluste über Stiegenhaus/Nachbar seitlich: Temperaturdifferenz: 3°K

Innere Verlust zu Nachbar unten über Trenndecke: Temperaturdifferenz: 3°K

Zu beachten ist der relativ gute Wandaufbau der inneren Trennwände, wobei die Gipskartonwohnungstrennwand, wie unter WW/WGS1 dargestellt, im Wohnbau durchaus üblich ist, die Trenndecke WD mit 2 mal 4 cm Dämmstoff jedoch im normalen Wohnbau nicht ausgeführt wird.

Dachaufbau	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m²K/W]
Humusschicht	0,1	1,8	0,056
Blähton	0,03	0,16	0,188
Vlies	0,001	0,22	0,005
WD XPS	0,05	0,034	1,471
Abdichtung 2-lag	0,008	0,23	0,035
WD EPS W25	0,45	0,036	12,500
Dampfbremse	0,001	0,87	0,001
DDAS	0,001	0,23	0,004
STB Decke	0,2	2,3	0,087
Putz	0,015	0,8	0,019
U-Wert [W/(m²K)]	0,069		

WD	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m²K/W]
Parkett	0,017	0,170	0,100
Betonestrich	0,05	1,400	0,036
PAE Folie	0,001	0,230	0,004
TDP 45/40	0,04	0,034	1,176
XPS	0,04	0,037	1,081
STB Decke	0,18	2,300	0,078
Putz	0,015	0,800	0,019
U-Wert [W/(m²K)]	0,362		

WW / WGS1	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m²K/W]
GK-Platten 2x1,25	0,025	0,210	0,119
WD	0,08	0,043	1,860
GK-Platten 1x1,25	0,013	0,210	0,060
WD	0,08	0,043	1,860
GK-Platten 2x1,25	0,025	0,210	0,119
U-Wert [W/(m²K)]	0,234		

Außenwand	d [m]	λ [W/mK]	d/λ [m²K/W]
Silikatputz	0,007	0,70	0,010
WD EPS	0,4	0,04	10,000
STB	0,2	2,30	0,087
Putz	0,015	0,80	0,019
U-Wert [W/(m²K)]	0,090		

Da die neuen Varianten mit leicht veränderten Klimadaten gerechnet werden mussten, ist nun ein Luftwechsel von 0,45/Stunde erforderlich um in der Ausgangsvariante 17 die Abdeckung der Heizlast ausschließlich durch die Luft zu ermöglichen. In weiterer Folge wurde für 3 Formvarianten der Ausgangsvariante 17 die erforderlichen Wärmebrücken gerechnet und der Einfluss auf die Heizlast und den HWB im PHPP dargestellt.

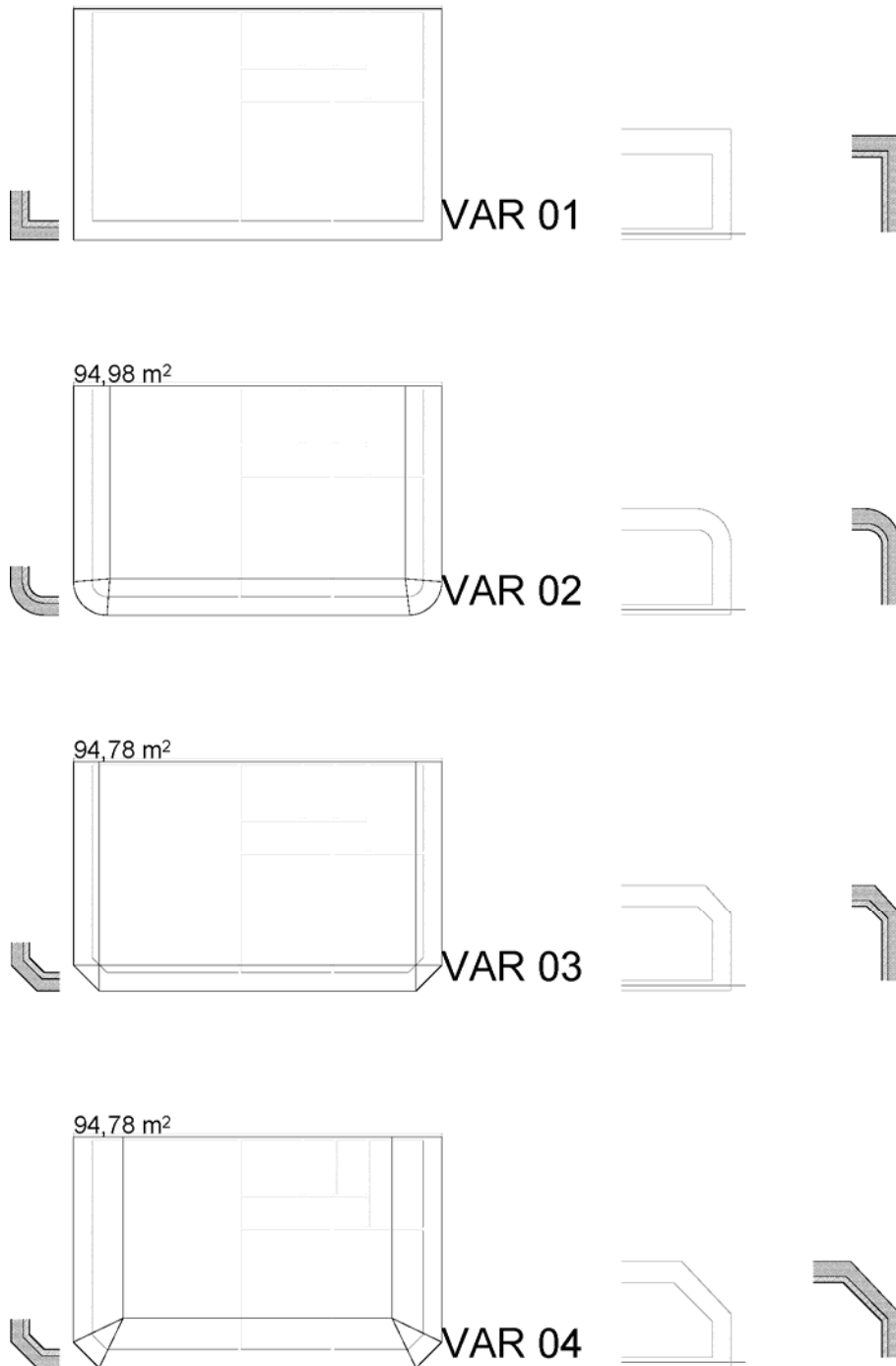


Abb. 39 Var. 1-4

- Var. 1 „normale“ Ecke
- Var. 2 abgerundete Ecke
- Var. 3 schräge Ecke klein
- Var. 4 schräge Ecke groß

Nachfolgend die genauen Aufbauten:

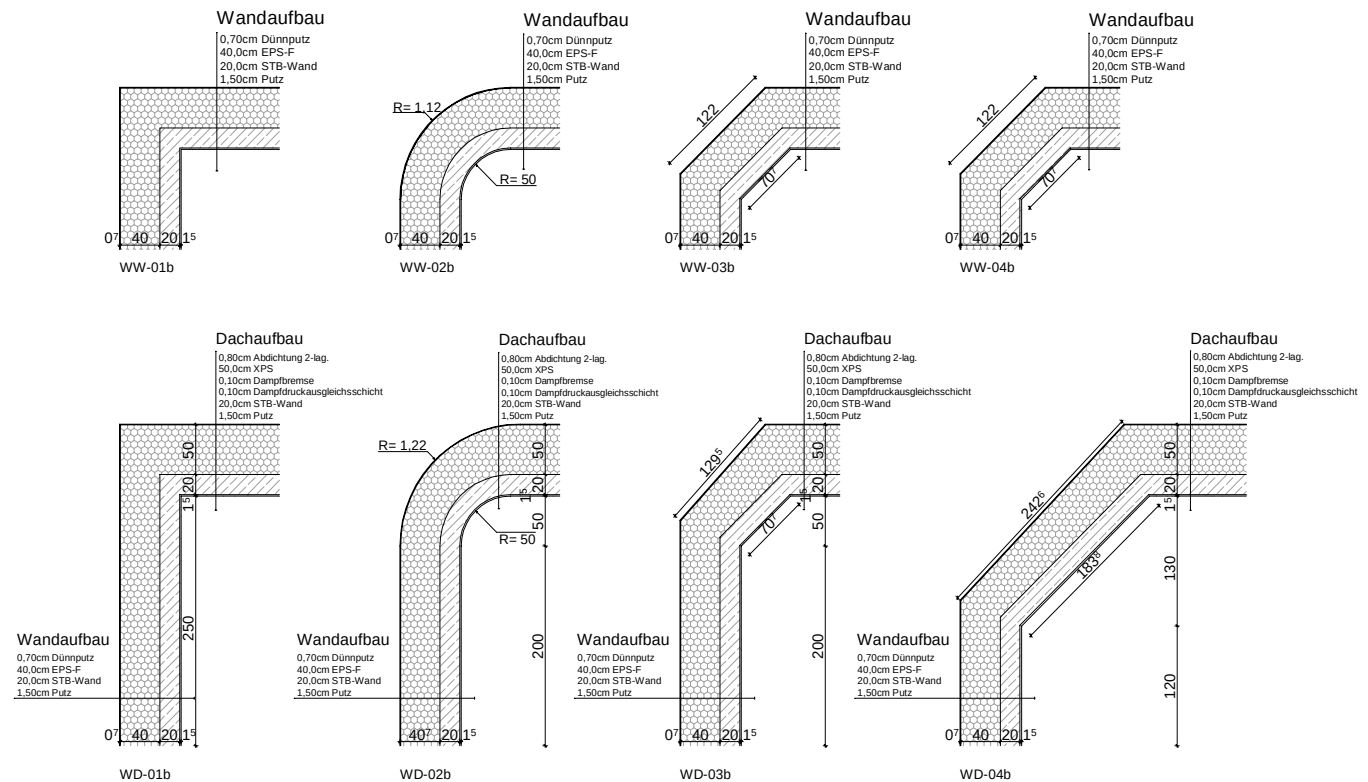


Abb. 40 Aufbauten der Ecklösungen Var. 1-4

Die Ergebnisse sind durchaus bemerkenswert:

	Variante	1	2	3	4
	Ausgangsvariante				
Nutzfläche	m²	75	75	75	75
Heizwärmebedarf					
Spez.	kWh/m²a	15,3	13,4	13,7	12,2
Änderung bzgl. Var.1	%	0%	-13%	-11%	-20%
Heizlast					
Spez.	W/m²	14,1	13,1	13,3	12,6
Änderung bzgl. Var.1	%	0%	-7%	-6%	-10%
Flächen					
Außenwand inkl. Fenster	m²	97,6	58,2	65,0	43,6
Dach 01	m²	95,5	64,5	73,0	54,8
Dach 02 Schräge/Krümmung	m²		49,2	32,6	57,5
Bruttofläche gegen Außenluft ges.	m²	193,1	171,9	170,6	155,9
Änderung bzgl. Var.1	%	0%	-11%	-12%	-19%
Trennwand Gang	m²	41,5	39,4	39,2	37,1
Wohnungstrenndecke	m²	95,5	95,0	94,8	94,8
Wohnungstür	m²	1,8	1,8	1,8	1,8
Längen Wärmebrücken					
Außenwanddecke	m	5,0	5,6	5,4	7,7
AWD Außenwand/Dach	m	25,3	24,9	24,7	24,7
AWD Geländersteher	m	25,3	24,9	24,7	24,7
AW Balkon	m	5,0	5,0	5,0	5,0
Spidanker	Anzahl	166,7	88,0	101,5	58,6

Tab. 19 Heizwärme und Heizlastminderung durch Ecklösungen geänderter Form

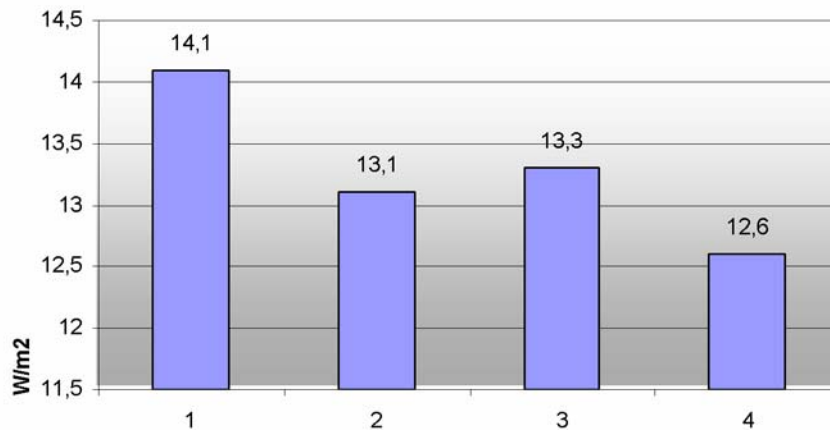


Abb. 41 Heizlasten Varianten 1-4

In allen Varianten stellt eine Heizlast von $14,1 \text{ W/m}^2$ die Grenze des mit der Luftheizung leistbaren dar. Bei Heizlasten von über $14,1 \text{ W/m}^2$ müsste zu einem Zusatzsystem gegriffen werden.

Gegenüber der Ausgangsvariante können nun in den erstellten Varianten 2-4 Einsparungen bei der Heizlast bis zu 10 % erzielt werden, beim Heizwärmebedarf sogar bis zu 20 %. Die äußerste Variante 4 stellt allerdings auch eine deutliche Einschränkung in der räumlichen Qualität dar.

Am bemerkenswertesten und für die Zukunft am interessantesten ist sicherlich Var. 2 mit den abgerundeten Ecken. Sie stellt, zumindest was den Übergang Wand- Decke betrifft kaum eine Beeinträchtigung dar, da sich die Rundungen über 2m Raumhöhe befinden.

Welche Veränderungen können nun mit den eingesparten 7% Heizlast durchgeführt werden, welcher zusätzliche Handlungsspielraum eröffnet sich dadurch?

Folgende Maßnahmen könnten durch die verbesserte Form von Var. 2 alternativ durchgeführt werden:

Eine Senkung des Luftwechsels von 0,45 auf 0,41 oder

eine "Normalisierung" der Trenndecke mit einer Verschlechterung des U- Wertes von 0,36 auf $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}^\circ$ oder

eine Erhöhung der Raumtemperatur auf knapp 21° .

Weitgreifend sind diese Möglichkeiten nicht. Sie zeigen allerdings eine Tendenz und einen weiteren Schritt hin zu einer formalen Entsprechung zwischen Architektur und Energieeffizienz.

3.11.4.3. Änderungen der Außenwandkonstruktion

Zuletzt sollte noch erhoben werden, welche Verbesserungen sich in Bezug auf die Heizlast der kritischen Wohnungen im DG ergeben, wenn mit sinnvollerem = schlankeren Außenbauteilen gleicher U-Werte gearbeitet wird.

Die Schlankheit des Außenbauteiles bietet im übrigen nicht nur energetisch einen Vorteil: Überall wo kostengünstig gebaut werden muss und dort, wo eine bestimmte Bebauungsdichte nicht überschritten werden darf, hat die Stärke der Außenbauteile einen direkten Einfluss auf die erzielbare Nettonutzfläche und damit auf die Effizienz des Brutto/Nettoflächenverhältnisses und somit auf die Effizienz des Gebäudes ganz allgemein.

Dünne Außenbauteile sind also in mehrerer Hinsicht sinnvoll.

In diesem Unterkapitel wurden wiederum ausgehend von Var. 17 aus Kap. 3.11.3 noch zwei unterschiedliche Außenwandbauteile und Deckenbauteile untersucht.

In Var. 5 handelt es sich um den theoretischen Einsatz von Vakuumdämmung, auch wenn dieses System noch nicht Stand der Technik für den großflächigen Einsatz ist und in Österreich erst vereinzelt angewendet wurde.

In Var. 6 handelt es sich um einen Aufbau aus Holz, der natürlich im Vergleich mit Beton/Vollwärmeschutz in Hinblick auf die Schlankheit überlegen ist.

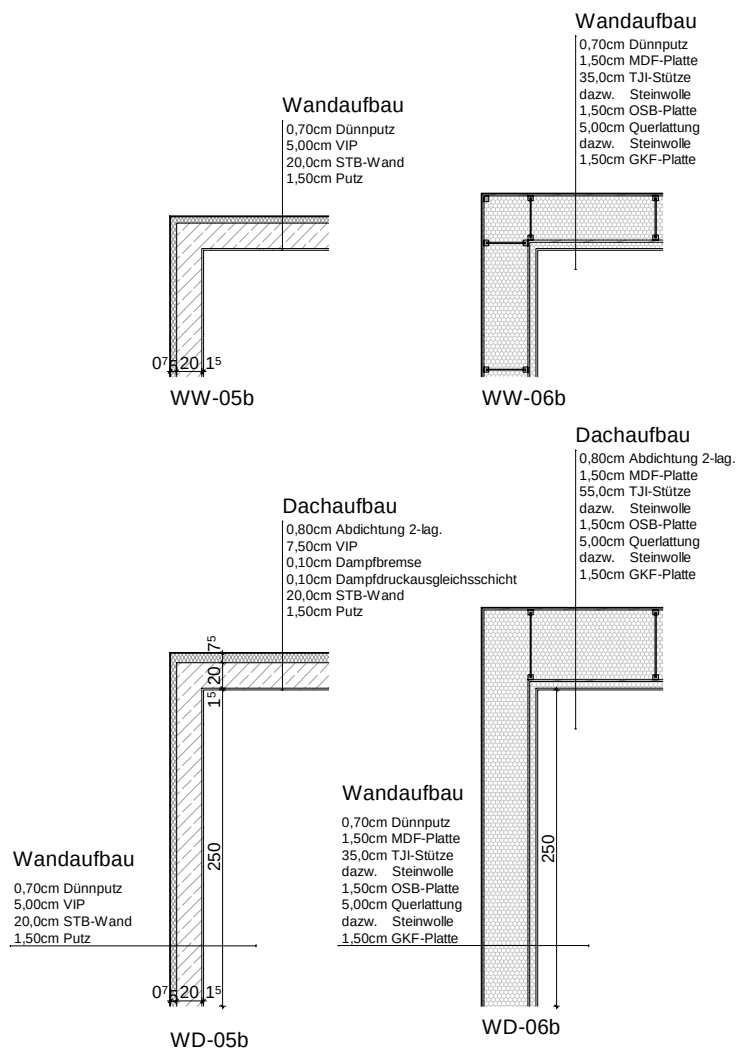


Abb. 42 Ecklösungen Varianten 5-6

Die übrigen Parameter sind den Beschreibungen in den Kap. 3.11.4.2 und 3.11.3 zu entnehmen.

So stellen sich die Ergebnisse dar:

		Variante	1	5	6
		Ausgangsvariante			
Nutzfläche	m ²		75	75	75
Heizwärmebedarf					
Spez.	kWh/m ² a		15,3	14,2	13,6
Änderung bzgl. Var.1	%		0%	-8%	-11%
Heizlast					
Spez.	W/m ²		14,1	13,3	13,2
Änderung bzgl. Var.1	%		0%	-5%	-6%
Flächen					
Außenwand inkl. Fenster	m ²		97,6	78,3	86,076
Dach 01	m ²		95,5	86,0	90,9
Dach 02 Schräge/Krümmung	m ²				
Bruttofläche gegen Außenluft ges.	m²		193,1	164,4	176,9
Änderung bzgl. Var.1	%		0%	-15%	-8%
Trennwand Gang	m ²		41,5	34,8	39,2
Wohnungstrenndecke	m ²		95,5	86,0	90,9
Wohnungstür	m ²		1,8	1,8	1,8
Längen Wärmebrücken					
Außenwanddecke	m		5,0	5,0	5,0
AWD Außenwand/Dach	m		25,3	25,3	25,3
AWD Geländersteher	m		25,3	25,3	25,3
AW Balkon	m		5,0	5,0	5,0
Spidianker	Anzahl		166,7	128,2	151,7

Tab. 20 Heizwärme und Heizlastminderung durch Ecklösungen geänderten konstruktiven Aufbaues

Die Heizlasten stellen sich wie folgt dar:

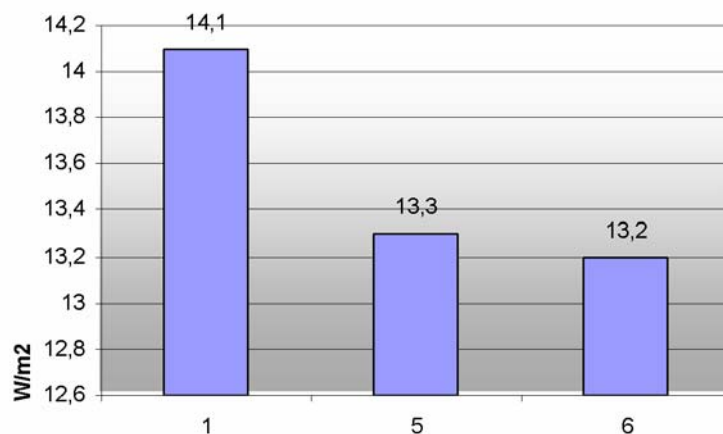


Abb. 43 Heizlasten Varianten 5, 6 im Vergleich zur Ausgangslage Var.1

Die Größenordnung der Ergebnisse ist ähnlich wie in Kap. 3.11.4.2.

Interessant und unerwartet ist jedenfalls, dass Holz und Vakuumdämmung in etwa gleichauf liegen, lediglich beim Heizwärmebedarf liegt die Holzvariante (bei gleichem U-Wert) vorne. Unsere Rechnungen wurden allerdings so durchgeführt, dass die Nettonutzfläche der Wohnung unverändert blieb. Wenn es jedoch um die optimale Ausnützung eines möglichen Volumens geht, sowohl in der Fläche als auch im Besonderen in der Höhe, stellt die Variante Vakuumdämmung sicherlich die effizienteste Lösung dar.

Auch in Hinblick auf die geänderten Bauteile kann wie bei der Formoptimierung lediglich eine sinnvolle Tendenz festgestellt werden, die Einzelmaßnahme kann zwar u. U. in manchen Fällen eine Entspannung des Problems Heizlast bringen, die Möglichkeiten sind allerdings beschränkt.

Wenn jedoch die Maßnahmen der Formoptimierung und der Bauteiloptimierung kombiniert werden, so werden die Einsparungen und Möglichkeiten noch größer.

In technischer Hinsicht scheint durch die möglichen Maßnahmen Erhöhung der Dämmstärke, Formoptimierung und Bauteiloptimierung das Problem Heizlast nur mühsam zu bewältigen zu sein.

In formaler Hinsicht jedoch leitet das neue hochenergieeffiziente Bauen unter Umständen eine Epoche ein, in der Gebäude abgerundet und "windschlüpfrig" wie Autos werden könnten, nicht aus dem formalen Wunsch nach einer expressiven Geste heraus, sondern als Folge der wissenschaftlichen Erkenntnisse energieeffizienten Bauens.

3.11.5. Haustechnische Möglichkeiten

3.11.5.1. Erhöhung der Luftmenge durch Umluftanteil

Die Variante der Einführung eines Umluftanteils ist eine Möglichkeit, die Heizleistung eines Luftsystems zu erhöhen ohne die Raumluftfeuchte im Winter weiter zu senken. Mindestluftwechsel bleibt dabei der nutzungsbedingte hygienische Luftwechsel (personenbezogen $30\text{m}^3/(\text{pers.h})$ oder raumvolumenbezogen 0,4-fach pro Stunde). Über eine Lüftungsgeräteinterne Schaltung könnte dem Raum mehr Abluft entnommen werden und über ein Heizregister geführt wieder in den Raum gebracht werden.

Nachteil dieser Variante ist die höhere Luftmenge, die aus akustischen Gründen größere und damit teurere Lüftungsgeräte und Luftdurchlässe erfordert. Aus der Planungspraxis bzw. am Lüftungsgerätemarkt ist dem Autor keine realisierte Passivhauswohnung unter diesem Prinzip bekannt.

3.11.5.2. Abdeckung durch ein einfaches wassergeführtes System

Wegen der gut gedämmten Gebäudehülle und den Passivhausfenstern ist es ohne Komfortverlust möglich, die Position einer Heizfläche (Heizkörper) nicht in Fensternähe zu wählen. Damit werden die nötigen Zuleitungen zu den Heizflächen kürzer, die Kosten sind nur wenig über denen einer einzelraumgeregelten Luftheizung. Allerdings entfällt die Koppelung der Heizleistung mit der Luftmenge, wodurch die NutzerInnen in der Lage sind, bei trockenen Außenluftbedingungen im Winter den Luftwechsel auf die hygienischen Bedürfnisse zu drosseln (z.B. Lüftungsgerät Stufe 1) und trotzdem ausreichend Heizleistung im Raum einzubringen.

Wohnung	Gebäudegröße	Außenwand U-Wert	Oberflächen/ Volums- verhältnis	Wohnungslage
	L / B / H [m]	[W/m ² K]	[1/m]	
1	20 / 12 / 12	0,112	0,433	innenliegend im 2.OG
2	20 / 12 / 12	0,112	0,433	Randwohnung im DG
3	50 / 15 / 24	0,228	0,257	Randwohnung im 2.OG
4	80 / 20 / 24	0,308	0,208	innenliegend im DG
5	160 / 20 / 24	0,339	0,196	Randwohnung im DG

Abb. 44 exemplarische Wohnungen aus Kap. 3.11.2

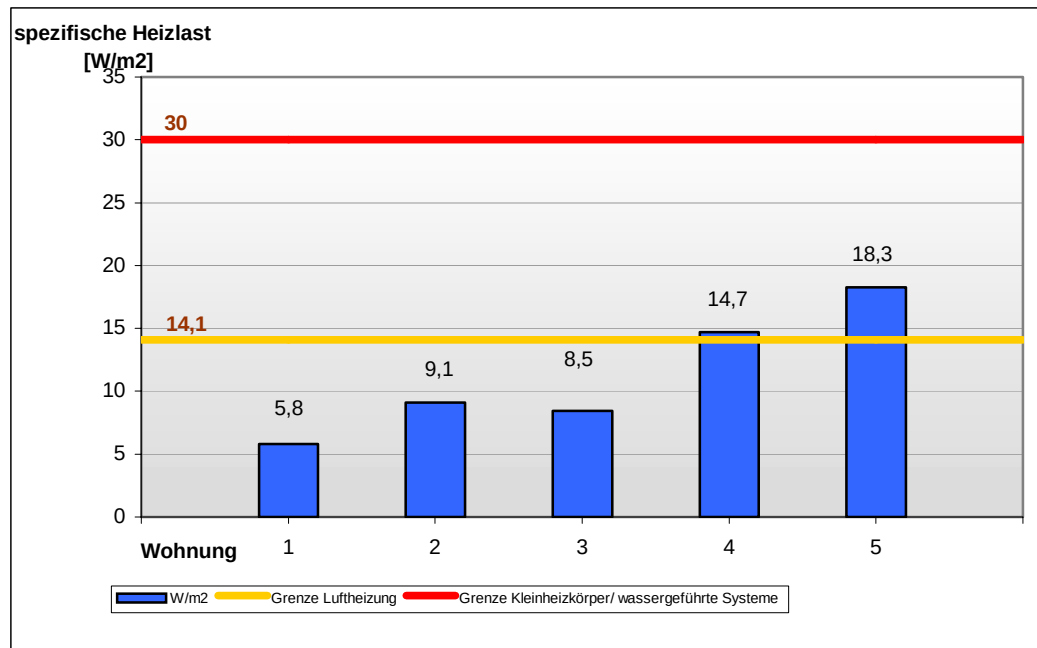


Abb. 45: Erweiterung der raumseitigen Heizleistung unter Verwendung eines Kleinstheizkörpers in Türstockformat (BxHxT = 900x150x90mm), VL/RL = 80/60°C

Eine erprobte Position für die Anbringung einer kostengünstigen Heizfläche ist der Türsturz. Für die Anordnung des Zuluftdurchlasses eignet sich die Position über der Heizfläche, damit die Lüftströmung die natürliche Konvektion an der Heizfläche ergänzt. Einbaubeispiele sind in den folgenden

Abbildungen (Abb. 46) zu sehen.

Schemaschnitt Heizungs- und Lüftungstechnik

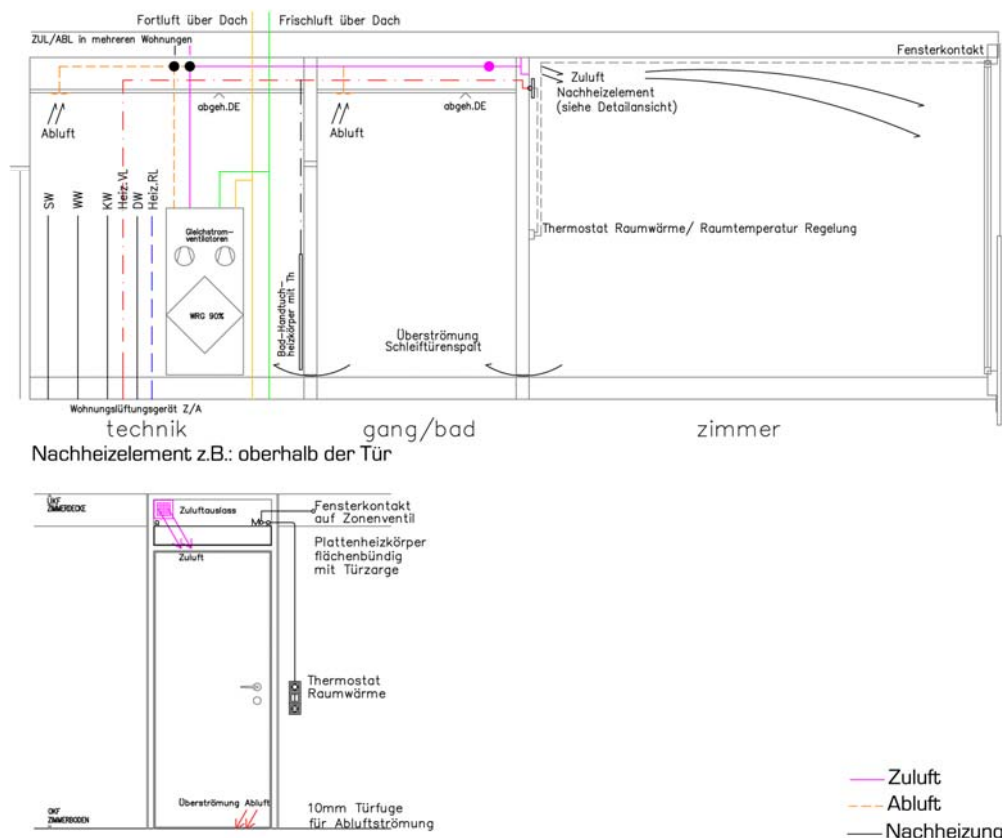


Abb. 46: Anbringung eines Kleinstheizkörpers im Türsturzsbereich mit darüber angeordnetem Zuluftauslass

Kostenschätzung für Wärmeabgabesysteme im Vergleich:

Randbedingungen:

Referenzwohnung 75m² mit vergleichbaren Komfortbedingungen:

3 Zulufräume mit je einer Heizfläche und Einzelraumtemperaturregelung,

1 Badezimmerheizkörper mit Thermostatventilkopf (auch in Variante Luftheizung) für erhöhte Raumtemperatur im Bad,

Zentrale Anlagenteile wie Wärmeerzeugung und –verteilung bis zur Wohnungsgrenze sind nicht mit einbezogen, da in allen Varianten gleich erforderlich.

Variante 0

Die Zuluft wird über ein zentrales Luftheizregister je Wohnung erwärmt. In den einzelnen Räumen sind keine unterschiedlichen Solltemperaturen einstellbar.

In den Varianten 1-4 kann hingegen Einzelraumregelung eingesetzt werden:

Variante 1

Die Zuluft wird je Raum mit einem Heizregister im Zuluftkanal erwärmt.

Variante 2

Die Heizung erfolgt über einen kleinen Heizkörper, der direkt unterhalb des Zuluftauslasses positioniert ist.

Variante 3

Mittels Kleinheizkörpern an der Außenwand wird beheizt.

Variante 4

Über Fußbodenheizung im Bereich der Außenwand wird der Raum erwärmt.

Verweis: Eine ausführlichere Variantenbeschreibung ist in Kap. 8 (Praxisbeispiel) enthalten.

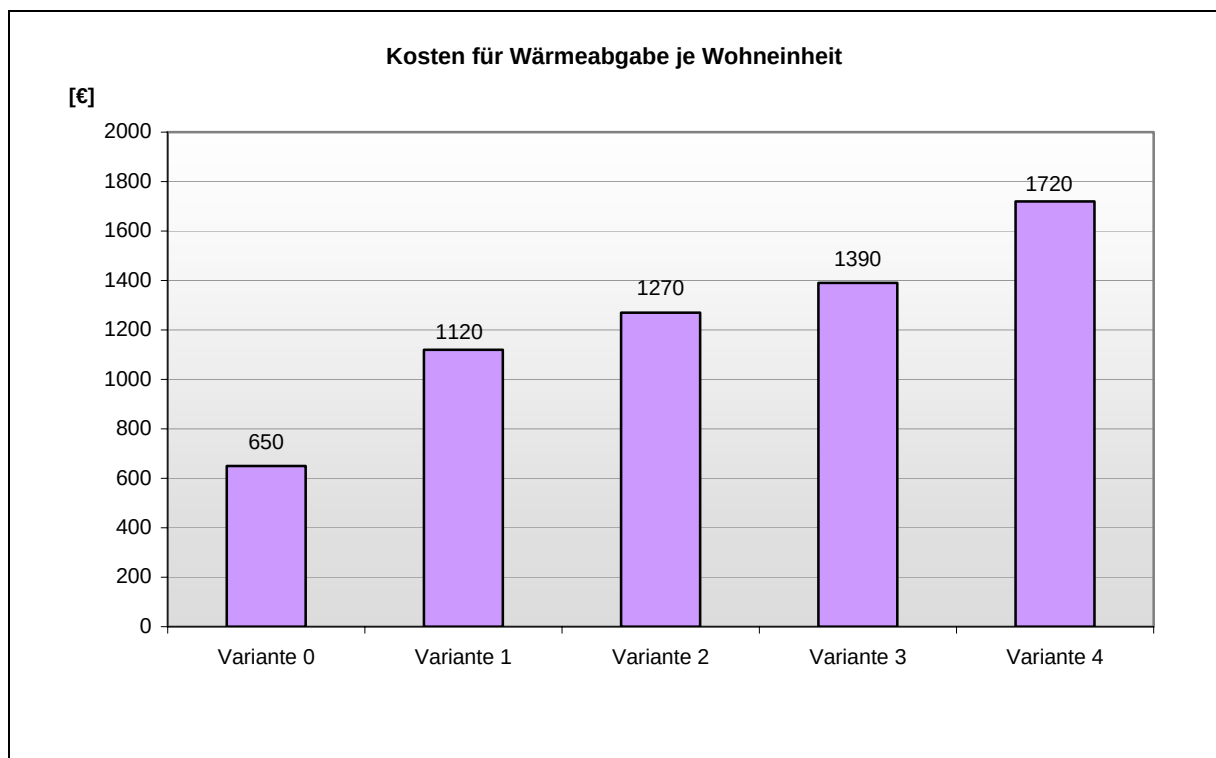


Abb. 47: Variantenvergleich - Kostenschätzung für Wärmeabgabesysteme (Detaillierte Darstellung siehe folgende Tabelle)

Variante 0: Luftheizregister Zuluft zentral			
Anzahl		Einzelpreis	Gesamtpreis
1	Wasser/Luft Heizregister 120mm inkl. 5m Anbindeleitung VL/RL und Wärmedämmung zum Steigschacht	€ 270,00	€ 270,00
1	Temperaturregler mit Zonenventil	€ 130,00	€ 130,00
1	Badezimmer- Heizkörper mit Anschlussgarnitur und Zuleitung inklusive Raumthermostatventil mit Rücklaufverschraubung; 6m Rohranbindung/Hk 3/8", 6m Isolierung/hk 30mm	€ 250,00	€ 250,00
		Summe	€ 650,00
Variante 1: Luftheizregister Zuluft je Raum			
Anzahl		Einzelpreis	Gesamtpreis
3	Wasser/Luft Heizregister 100mm inkl. 5m Anbindeleitung VL/RL und Wärmedämmung zum Steigschacht	€ 200,00	€ 600,00
3	Raumtemperaturregler mit Zonenventil	€ 90,00	€ 270,00
1	Badezimmer- Heizkörper mit Anschlussgarnitur und Zuleitung inklusive Raumthermostatventil mit Rücklaufverschraubung; 6m Rohranbindung/Hk 3/8", 6m Isolierung/hk 30mm	€ 250,00	€ 250,00
		Summe	€ 1.120,00
Variante 2: Kleinstheizkörper in Zulufräumen			
Anzahl		Einzelpreis	Gesamtpreis
3	Kleinstheizkörper 900x150x90mm inklusive Anschlussgarnitur, 6m Anbindeleitung wärmegedämmt	€ 250,00	€ 750,00
3	Raumtemperaturregler mit Zonenventil	€ 90,00	€ 270,00
1	Badezimmer- Heizkörper mit Anschlussgarnitur und Zuleitung inklusive Raumthermostatventil mit Rücklaufverschraubung; 6m Rohranbindung/Hk 3/8", 6m Isolierung/hk 30mm	€ 250,00	€ 250,00
		Summe	€ 1.270,00
Variante 3: Kleinheizkörper in Zulufräumen			
Anzahl		Einzelpreis	Gesamtpreis
3	Kleinheizkörper inklusive Anschlussgarnitur inklusive Raumthermostatventil, 10m Anbindeleitung wärmegedämmt	€ 380,00	€ 1.140,00
1	Badezimmer- Heizkörper mit Anschlussgarnitur und Zuleitung inklusive Raumthermostatventil mit Rücklaufverschraubung; 6m Rohranbindung/Hk 3/8", 6m Isolierung/hk 30mm	€ 250,00	€ 250,00
		Summe	€ 1.390,00
Variante 4: Fußbodenheizung/ Teilfläche im Bereich der Außenwand			
Anzahl		Einzelpreis	Gesamtpreis
3	Fußbodenheizung 10m2 je Raum Verteiler, Anbindeleitung wärmegedämmt	€ 400,00	€ 1.200,00
3	Raumtemperaturregler mit Zonenventil	€ 90,00	€ 270,00
1	Badezimmer- Heizkörper mit Anschlussgarnitur und Zuleitung inklusive Raumthermostatventil mit Rücklaufverschraubung; 6m Rohranbindung/Hk 3/8", 6m Isolierung/hk 30mm	€ 250,00	€ 250,00
		Summe	€ 1.720,00

Tab. 21 Detaillierte Darstellung der Kosten einzelner Heizungsvarianten

3.12. Bewertung der Problemlösungen

Eine einheitliche und für alle Bauvorhaben gültige Bewertung kann nicht gefunden werden. Vielmehr wurde in den vorausgegangenen Kapiteln versucht, das Thema Passivhaus im großen Volumen von vielen Seiten zu beleuchten.

Klar ist, dass ein großes Volumen und ein kompakter Baukörper aus der Sicht der Energieeffizienz kleinen Volumina klar überlegen ist, dass damit aber auch die Ungleichheit der Wohnungen in Bezug auf Heizwärmebedarf und Heizlast stark ansteigt.

Klar ist auch, dass in großen Wohnbauten davon ausgegangen werden muss, dass Nachbarwohnungen nicht bewohnt sind, im ungünstigsten Fall sogar mehrere.

Wenn nun das klassische Passivhaussystem der reinen Luftheizung Verwendung finden soll, so ergeben sich daraus verschiedene Probleme. Mit der Luft, die ja ein schlechtes Wärmeträgermedium ist, kann nur eine geringe Menge Wärme den Räumen zugeführt werden. Eine Erhöhung der Luftmenge über den hygienisch erforderlichen Luftwechsel hinaus, um mehr Wärme einzubringen, bedeutet zum einen unnötige Energieverluste und zum anderen extrem trockene Luft.

Wenn also ausschließlich mit der Luft geheizt werden soll, müssen Wohnungen in Randlage dämmtechnisch rundum, auch gegen Nachbarwohnungen wie Einfamilienhäuser ausgestattet sein. Dies ist in der Sanierung (besonders gegen die darunter liegende Wohnung) kaum möglich, im Neubau theoretisch schon, aber mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Darüber hinaus wird dann meistens gegen Außenluft die im Dachgeschoss erforderliche hohe Dämmstärke von 40 cm rund um den ganzen Baukörper geführt, was in Mittelwohnungen nur mehr zu geringen Einsparungen führt, da diese bereits so wenig Energieverbrauch haben, dass der solare Ausnutzungsgrad stark sinkt.

Wir haben in Kap 3.11.4 dargestellt, wie Transmissionsverluste in Randwohnungen minimiert werden können und haben gezeigt, dass abgerundete Ecke und dünne Wandaufbauten hier deutliche Vorteile schaffen können. In der Minimierung der Außenwandstärke, und Verlagerung der Tragstruktur und Speichermasse nach innen liegt hier also ebenso Optimierungspotential.

Der zukünftige formale Ansatz von energieeffizienter Architektur sollte diese Erkenntnisse berücksichtigen, "organische" Formen und ein Umdenken in Bezug auf die Konstruktionsart der Außenwand wären die Konsequenz. Wenn es der Bauindustrie gelingt, mehr und mehr industrielle Vorfertigung und standardisierte Fertigteile im Bauen zum Einsatz zu bringen, müssten diese neuen Formen in weiterer Zukunft auch keinen finanziellen Zusatzaufwand bedeuten.

Zuletzt sind wir der Meinung, dass in Randwohnungen einfache Zusatzsysteme zum reinen Luftsystem Verwendung finden sollten. Eines dieser Systeme haben wir unter Kap.3.11.5 vorgestellt. Diese Systeme verursachen zwar vordergründig betrachtet Mehrkosten, berücksichtigt man aber, dass dann innerhalb des Hauses mit herkömmlichen Aufbauten das Auslangen gefunden werden kann, und zu Nachbarwohnungen kein erhöhter Dämmstandard angewendet werden muss, so sind die Mehrkosten (die weniger als 1% der Bausumme ausmachen) in den meisten Fällen leicht wieder ausgeglichen.

Darüber hinaus ermöglichen die einfachen Zusatzsysteme eine individuellere Regelbarkeit, lassen eine Entkopplung der Heizung von der Lüftung zu, was im Winter Vorteile hinsichtlich der Luftfeuchtigkeit bringen kann und geben höhere Sicherheit weil sie mehr Spielraum in der Abdeckung der Heizlast gewähren.

4. Belichtung/ Komforthandbuch Teil 1

4.1. Grundlagen

4.1.1. Gesetzliche Grundlagen

Gesetzliche Grundlagen zum Thema Tageslicht im Wohnbau sind in Österreich schwach ausgebildet. In Deutschland und Großbritannien findet man konkretere Forderungen nach Tageslicht in Wohnräumen. Dabei handelt es sich um die DIN 5034 Tageslicht in Innenräumen als Norm in Deutschland. In Großbritannien gibt es die BRE (British Research Establishment) Dokumentation "Site layout planning for daylight and sunlight – a guide to good practice", welche Normcharakter hat. Außerdem gibt es ein Gesetz mit dem Namen "Rights to Light", in welchem geregelt wird, wie viel Licht man einem Nachbarn durch Baumaßnahmen nehmen darf. In diesem Fall ist Ausgangsbasis immer die "Ist-Situation" der vom betroffenen Raum sichtbaren Himmelsanteile (in %), welche mit der geplanten Situation verglichen wird.

4.1.1.1. Wiener Bauordnung

In der Bauordnung findet man Angaben zu Mindestfenstergrößen, dies lässt jedoch keine Rückschlüsse auf die tatsächlichen natürlichen Belichtungsverhältnisse zu.

(1) Aufenthaltsräume müssen grundsätzlich natürlich belichtet sein (§ 78).

(2) Fenster, die zur Belichtung von Aufenthaltsräumen erforderlich sind (Hauptfenster), müssen ins Freie münden. Vorgelagerte Verglasungen bleiben dabei außer Betracht, wenn der gesetzliche Lichteinfall für die Aufenthaltsräume gewährleistet bleibt. Die Gesamtfläche der Hauptfenster muss, in der Architekturlichte gemessen, mindestens ein Zehntel der Fußbodenfläche des zugehörigen Raumes betragen. Dieses Maß vergrößert sich bei Raumtiefen von mehr als 5 m um je 10% für jeden vollen Meter Mehrtiefe. Ragen in das Lichtprisma (§ 78) Vorbauten über Hauptfenster desselben Gebäudes und beträgt der Vorsprung mehr als 50 cm, so muss die Architekturlichte solcher Hauptfenster mindestens ein Sechstel der Fußbodenfläche des zugehörigen Raumes betragen.

(2a) In Wohnungen muss jedes Hauptfenster eine waagrechte Sichtverbindung nach außen ermöglichen. Die Parapethöhe dieser Fenster darf nicht mehr als 1,20 m betragen. In dieser Höhe muss eine freie waagrechte Sicht von mindestens 3 m gewährleistet sein. Verfügt eine Wohnung über Hauptfenster, die nur eine waagrechte Sicht von 3 m ermöglichen, muss mindestens ein Hauptfenster dieser Wohnung eine freie waagrechte Sicht von mindestens 6 m ermöglichen.

(3) Verglaste Balkone und Loggien sind vor Hauptfenstern nur zulässig, wenn ihre verglaste Fläche mindestens drei Zehntel und die Architekturlichte der Hauptfenster mindestens ein Sechstel der Fußbodenfläche des zugehörigen Raumes beträgt.

(4) Oberlichten in Decken sind Hauptfenstern gleichzuhalten, wenn sie den Anforderungen des Abs. 2 entsprechen.

(5) Fenster von Küchen, die von einem Abstand gemäß § 79 Abs. 3 aus belichtet werden, müssen nicht den für Hauptfenster erforderlichen Lichteinfall (§ 78) aufweisen.

(6) Fenster, die nicht zur Belichtung von Aufenthaltsräumen erforderlich sind, sind Nebenfenster.

(7) Alle Fenster müssen so beschaffen sein, dass sie auch an der Außenseite leicht und gefahrlos gereinigt werden können. Dies gilt nicht, wenn entsprechende Vorrichtungen zur leichten und gefahrlosen Reinigung der Fenster von außen vorgesehen sind. Soweit dies nach der Lage und dem Verwendungszweck der Räume notwendig ist, müssen einzelne Fenster ihrer Größe und Lage nach so beschaffen sein, dass durch sie die Rettung von Menschen möglich ist; solche Fenster sind auch bei Klimatisierung der Aufenthaltsräume offenbar einzurichten und im Raum als solche dauerhaft zu bezeichnen.

4.1.1.2. Arbeitsstättenverordnung (AstV)

Im Kapitel "Anforderungen an Arbeitsräume" der Arbeitsstättenverordnung werden in §25 Details für Lichteintrittsflächen und die Sichtverbindung nach außen festgelegt. Hier heißt es unter anderem, dass als Arbeitsräume nur Räume verwendet werden dürfen, die möglichst gleichmäßig natürlich belichtet sind. Das sei gewährleistet, wenn die Summe der Lichteintrittsflächen mindestens 10% der Raumbodenfläche betragen und direkt ins Freie führen. Außerdem muss eine Sichtverbindung zum Freien bestehen, welche die Größe von 5% der Bodenfläche nicht unterschreitet. Zu diesen Kriterien gibt es eine Anzahl von Ausnahmen, abhängig von der Art der Betätigung sowie den Betriebszeiten. Alle Fenster müssen laut §8 mit geeigneten Einrichtungen ausgestattet sein, dass direkte Sonneneinstrahlung auf Arbeitnehmer/innen oder störende Hitze oder Kälte vermieden wird.

4.1.2. Normen

4.1.2.1. Anforderungen der DIN 5034

Den besten Informationsgehalt hat eigentlich nur die DIN 5034 "Tageslicht in Innenräumen". Im Teil 1 sind die allgemeine Anforderungen beschrieben. Die Norm gilt prinzipiell für Wohn- und Arbeitsräume. Tageslichtöffnungen sind als Fenster und Dachoberlichter definiert.

4.1.2.1.1. Sichtverbindung nach außen

Die Fenster in Wohnräumen müssen für eine ausreichende Sichtverbindung nach außen herstellen und dabei folgende Anforderungen erfüllen:

Die Oberkante der durchsichtigen Fläche des Fensters sollte mindestens 2,2 m über dem Fußboden liegen. Die Oberkante der Brüstung sollte höchstens 0,9 m, die Unterkante des durchsichtigen Teiles des Fensters höchstens 0,95 m über dem Fußboden liegen. Die Mindestbreite muss mindestens 55% der Breite des Wohnraumes betragen. Neben der Größe von Fenstern unterteilt die Norm im Wesentlichen in drei Bereiche Helligkeit, Beleuchtungsstärke und Blendungsbegrenzung.

4.1.2.1.2. Helligkeit in Wohnräumen

Die Helligkeit gilt als ausreichend, wenn der Tageslichtquotient in einer Höhe von 0,85 m über dem Fußboden, in halber Raumtiefe und mit je 1 m Abstand zu den Seitenwänden im Mittel mindestens 0,9% beträgt und am ungünstigsten Punkt mindestens 0,75%. Diese Werte sind real gemessen oder durch Computersimulation berechnet, d.h. eventuelle bestehende Verbauung ist einzubeziehen.

Um diese Vorgaben ohne Messung bzw. Berechnung erfüllen zu können wird in Teil 4 der Norm eine vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume beschrieben. Hierbei kommen umfangreiche Tabellen zur Anwendung, mit deren Hilfe sich die Fenstergrößen über Verbauungswinkel, Raumdimensionen und Fensterhöhen ermitteln lassen.

In Bezug auf die Beleuchtungsstärke gibt es für Wohnräume keine Anforderungen laut DIN. Hier geht es eigentlich nur um Arbeitsräume und die nur durch Tageslicht erreichte Beleuchtung gilt als ausreichend, wenn die Beleuchtungsstärke am ungünstigsten Arbeitsplatz das 0,6-fache der Nennbeleuchtungsstärke laut DIN 5035 (Beleuchtung mit künstlichem Licht), bzw. EN 12464-1 liegt. Das würde bei Nennbeleuchtungsstärke 500lx für einen Büroarbeitsplatz 300lx bei Tagesbelichtung entsprechen. Der Verweis auf die DIN 5035 zeigt deutlich wenig Beziehung zum Wohnbau, da in der DIN 5035 nur Arbeitsstätten erfasst sind.

4.1.2.1.3. Blendungsbegrenzung:

Zumindest bei den Tageslichtöffnungen, die besonnt werden können, muss ein Schutz gegen mögliche Blendung vorhanden sein. Dies können z.B. Vorhänge, Rollos, Jalousien

oder andere bewegliche Systeme sein. Hier unterscheidet die Norm nicht zwischen Wohnräumen und Arbeitsplätzen.

4.1.2.1.4. Besonnungsdauer:

Ein Raum gilt als besonnt, wenn Sonnenstrahlen bei einer Sonnenhöhe von mindestens 6° in den Raum einfallen können. Als Nachweisort gilt die Fenstermitte in Brüstungshöhe und Fassadenebene. Ein Wohnraum gilt als ausreichend besonnt, wenn seine Besonnungsdauer am 17. Januar mindestens 1 Stunde beträgt. Eine Wohnung gilt als ausreichend besonnt, wenn in ihr mindestens ein Wohnraum ausreichend besonnt wird.

4.1.2.2. British Standard for daylighting

In Großbritannien ist die Tagesbelichtung von Wohnungen im *British Standard for daylighting* und im *CIBSE Applications manual: window design* geregelt und stellt, wie auch unsere Normen Empfehlungen von Mindestwerten dar. Es gibt drei Hauptkriterien, die auf dem mittleren Tageslichtquotienten, der Raumtiefe und der Lage der "no-sky line" im Raum beruhen. Für den mittleren Tageslichtquotienten werden 1% für Schlafzimmer, 1,5% für Wohnzimmer und 2% für Küchen (arbeitsplatzähnlich), ermittelt in 0,85m Höhe über den gesamten Raum, empfohlen. Wenn ein Raum nur von einer Seite belichtet wird, sollte die Raumtiefe L folgende Formel nicht überschreiten:

$$L/W + L/H < 2/(1-R)$$

(wobei W = Raumbreite, H = Fenstersturzhöhe vom Fußboden gemessen, R = mittlerer Reflexionsgrad der Oberflächen in der hinteren Raumhälfte)

Wenn L also diesen Wert übersteigt, wird die hintere Hälfte des Raumes düster wirken und die Zuschaltung von elektrischem Licht erforderlich machen.

Wenn ein beträchtlicher Anteil der Arbeitsfläche (0,85m Ebene) außerhalb der "no-sky line" (d.h. hier gibt es kein direktes Himmelslicht) liegt, wird der Raum dunkel erscheinen und die Zuschaltung von elektrischem Licht erforderlich sein.

4.1.2.2.1. Tageslichtquotient

Das wichtigste dieser drei Kriterien ist der mittlere Tageslichtquotient und es sind für Wohnungen drei Mindestwerte festgelegt:

min. 2% für Küchen, min. 1,5% für Wohnräume und min. 1% für Schlafräume.

Der mittlere TQ wird über eine Formel berechnet in die der Verbauungswinkel eingearbeitet ist. Dieser kann auch indirekt über die "Vertical Sky Component", an der Mitte des Fensters ermittelt, bestimmt werden. Die "Vertical Sky Component" ist eigentlich ein Tageslichtquotient vertikal im Freien gemessen.

4.1.2.2.2. Besonnung

Bezüglich Sonnenlicht gibt es auch im British Standard Forderungen bzw. Kriterien. Die Anforderungen gelten als erfüllt wenn eine der beiden folgenden erfüllt ist:

Die Fensterwand muss südwärts gerichtet sein (eine Normale zur Wand muss innerhalb 90° von der Südrichtung liegen - also nicht weiter nördlich als genau West oder Ost) und keine Verbauung im Lotschnitt durch die Fenstermitte darf einen Höhenwinkel von 25° von der Horizontalen überschreiten.

oder:

Die Fensterwand liegt innerhalb 20° von der Südrichtung (das Fenster ist genau nach Süden gerichtet +/- 20°) und der Tageslichtquotient außen, vertikal an der Fenstermitte gemessen, beträgt mehr als 27%.

Sind beide Kriterien nicht erfüllt kann man noch eine genauere Bestimmung der statistischen möglichen Besonnungsdauer machen, wobei der British Standard empfiehlt, dass

mindestens 25% der jährlich möglichen Sonnenstunden an einem Referenzpunkt am Fenster verfügbar sein sollen, davon mindestens 5% im Winter, d.h. zwischen 21. September und 21. März.

4.1.3. Gebäudebewertungstool Total Quality, TQ

Das Österreichische Ökologieinstitut hat im Projekt "Ecobuilding-Optimierung von Gebäuden durch Total Quality Assessment" das Instrument der Total Quality Gebäudebewertung erarbeitet, das einen wichtigen Beitrag zur Umweltentlastung sowie zur Steigerung der Nutzerfreundlichkeit und Gebäudequalität insgesamt leisten soll.

Das Total Quality Bewertungssystem gibt für jedes Bewertungskriterium, wie auch für das Tageslicht, die anzustrebenden Zielwerte für die Planung vor.

4.1.3.1. Ausschnitt aus den Bewertungskriterien in Total Quality

4.1.3.1.1. Tageslichtquotient

Der Tageslichtquotient setzt sich zusammen aus dem Himmelslichtanteil DH, erzeugt durch direkt auftreffendes Licht des bedeckten Himmels, dem Außenreflexionsanteil DV, erzeugt durch an der Umgebungsverbauung reflektiertes Licht und dem Innenreflexionsanteil DR, erzeugt durch von den Innenraumflächen reflektiertem Himmelslicht. $D = DH + DV + DR$

4.1.3.1.2. Ermittlung des Tageslichtquotienten

Der Tageslichtquotienten D (Daylight Factor) wird folgendermaßen bestimmt: Man misst in einer Nutzebene von 0,85 m über Fußbodenoberkante die horizontale Beleuchtungsstärke im Raum E_p und setzt diese in Beziehung zur zeitgleich zu messenden

Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien E_a bei gleichmäßig bedecktem Himmel (d.h. ohne direkte Sonneneinstrahlung) und bei unverbauter Himmelshalbkugel sowie schneefreier Umgebung.

$$D = E_p / E_a \cdot 100\%$$

Die durch direktes Sonnenlicht bewirkten Anteile beider Beleuchtungsstärken werden nicht berücksichtigt.

Zu Ermitteln ist der Tageslichtquotient ist in einem Aufenthaltsraum in 2 m Entfernung vom Fenster und 1m Seitenabstand von der Wand in einer Nutzebene von 0,85 m über der Fußbodenoberkante.

4.1.3.1.3. Bewertung der Tageslichtversorgung von Aufenthaltsräumen in Tops

Bewertet wird die Qualität der Tageslichtversorgung von Aufenthaltsräumen in Tops nach folgender Skala (Punkte gemäß Einordnung auf der Skala):

	Punkte
Tageslichtquotient = 4	5
3,5 = Tageslichtquotient < 4	4
3 = Tageslichtquotient < 3,5	3
2,5 = Tageslichtquotient < 3	2
2 = Tageslichtquotient < 2,5	1
1,5 = Tageslichtquotient < 2	0
Tageslichtquotient < 1,5	-1
Keine Ermittlung des Tageslichtquotienten	-2

Tab. 22 Bewertung der Tageslichtversorgung von Aufenthaltsräumen

Diese Klassifizierung, die nur einem TQ ≥ 4 die maximale Punktezahl verleiht, wird allerdings bei der Bewertung von großen Gebäuden nicht verwendet und bleibt daher eine theoretische Einteilung. Die tatsächliche Bewertung von Gebäuden erfolgt nach der Skala unter 4.1.3.1.4

4.1.3.1.4. Bewertung der Tageslichtversorgung von Gebäuden

Bewertet wird die Qualität der Tageslichtversorgung des Gebäudes nach folgender Skala (Punkte gemäß Einordnung auf der Skala):

Punkte (Beste Wertung: 5 Punkte)	
$2 \leq \text{Tageslichtquotient für 100\% der Tops}$	5
$2 \leq \text{Tageslichtquotient für 85 \% der Tops}$	4
$2 \leq \text{Tageslichtquotient für 70 \% der Tops}$	3
$2 \leq \text{Tageslichtquotient für 55 \% der Tops}$	2
$2 \leq \text{Tageslichtquotient für 40 \% der Tops}$	1
$2 \leq \text{Tageslichtquotient für 25 \% der Tops}$	0
$2 \leq \text{Tageslichtquotient für 10 \% der Tops}$	-1
Keine Ermittlung des Tageslichtquotienten	-2

Tab. 23 Bewertung der Tageslichtversorgung des Gebäudes

4.1.3.1.5. ergänzende Ausführungen

Bei vorhandener dichter Bebauung kann der Verlust an direktem Himmelslicht durch helle Oberflächen der gegenüberliegenden Nachbargebäuden etwas ausgeglichen werden. Ebenso tragen helle Innenwand- und Deckenoberflächen zu einer gleichmäßigeren Tageslichtverteilung sowie zu einer Verringerung der Leuchtdichteunterscheide bei. Empfohlene Mindestreflexionsgrade: Decke > 0,7 Wände > 0,5 Boden > 0,2

Speziell in Räumen mit Oberlichtern wirkt sich insbesondere der Reflexionsgrad des Fußbodens auf die Gesamtraumhelligkeit bedeutend aus. Der Einfluss von vorgesehenen Einrichtungsgegenständen sollte möglichst berücksichtigt werden.

Der Tageslichteinfall unterliegt bestimmten Reduktionsfaktoren wie Minderung durch Fensterkonstruktionsteile (Sprossen-, Rahmenanteile, etc., die bei Heranziehen der Architekturlichte von Fenstern abgezogen werden müssen), dem Verschmutzungsgrad der Fenster (bei Wohnräumen im Durchschnitt $k_2=0,95$), den Lichteinfallswinkeln und dem lichttechnischen Transmissionsgrad der Verglasung. Der lichttechnische Transmissionsgrad der Verglasung bezeichnet das Verhältnis des durchgelassenen zu dem auf den Stoff auftreffenden Lichtstrom (= sichtbare Lichtmenge, die von einem leuchtenden Körper in den gesamten Raum ausgestrahlt wird).

4.1.3.1.6. Richtwerte für den Tageslichtquotienten

Richtwerte für den Tageslichtquotienten (Quelle: Panzhauser, E., Strukturierung und Bewertung der humanökologischen Bauqualität, Wien, 2000 (z.Z. unveröffentlichtes Manuskript)).

Räume	Tageslichtquotient TQ		
	mindest	gut	optimal
Schlafräume (Eltern, Kinder, Gäste, zeitweise als Krankenzimmer genutzt)	= 0,5%	= 1,0%	2% bis 3%
Wohnräume*), Küchen, Büroräume, Schulklassen, Kindergruppenräume	= 1,0%	= 2,0%	3% bis 4%
Räume mit höherem visuellen Leistungs-Anspruch (Zeichenräume, Ateliers,...)	= 2,0%	= 3,0%	> 5% bis 8%
Räume mit besonders hohem visuellen Leistungs-Anspruch (feingrafische Arbeiten, Gravurarbeiten,...)	= 6,0%	> 8% bis 10%	8% bis 12%
*) in einer Entfernung von $\geq$ 2m vom Fenster			

Tab. 24 Richtwerte für den Tageslichtquotienten in Abhängigkeit der Nutzung

Text aus TQ - TOTAL QUALITY PLANUNG UND BEWERTUNG / NUTZERINNENKOMFORT
 ÖSTERREICHISCHES ÖKOLOGIE-INSTITUT UND KANZLEI DR. BRUCK Version 2.0, 20. August 2002

4.1.3.2. Zusammenfassung Bewertungstool Total Quality

In TQ wird zwischen der Bewertung der Tageslichtversorgung von einzelnen Tops und der Bewertung von ganzen Gebäuden unterschieden.

Tops werden nur nach der Qualität der Tageslichtversorgung im größten Aufenthaltsraum (=normalerweise Wohnraum) beurteilt, und zwar mit relativ hohem Anspruch:

Die Bewertungsskala reicht von "-2" bis "5" Punkte, was einem Tageslichtquotienten von kleiner als 1,5% (bzw. nicht ermittelt) bis größer als 4% entspricht.

Gemessen wird der TQ in 2 m Entfernung vom Fenster und 1 m Seitenabstand von der Wand auf einer Höhe von 85 cm – also ähnlich dem Verfahren in DIN 5034, Teil 1 – wobei hier die Raumtiefe (Raumgröße) unberücksichtigt bleibt.

Wie in Kap. 4.1.4 gezeigt wird, ist eine Bewertung mit 4 bis 5 Punkten also einem TQ von mehr als 3,5% mit einseitiger Belichtung und einer Raumhöhe von 2,5m nicht zu erreichen.

In die Bewertung von größeren Wohngebäuden fließt jedoch diese relativ strenge Bewertung von Einzeltops nicht ein.

Wie unter Kap.4.1.3.1.4 ersichtlich ist, wird für die Bewertung von Gebäuden als Kriterium das Über- bzw. Unterschreiten eines TQ von 2% pro Wohnung herangezogen, eine bessere Belichtung hat für die Gesamtbewertung dann keine Konsequenzen mehr.

In den Definitionen von TQ gibt es auch Richtwerte für den Tageslichtquotienten für verschiedene Raumnutzungen, wobei zwischen Schlafräumen, Wohnräumen, Küchen etc. unterschieden wird. Für die Bewertung "gut" genügen Tageslichtquotienten zwischen 1% und 2% und entsprechen so in etwa den britischen Mindestforderungen wie zuvor beschrieben.

4.1.4. Vergleich der Vorschriften und Empfehlungen

Um nun zu sehen was die verschiedenen länderspezifischen Vorschriften im Vergleich zueinander bedeuten bzw. fordern wurden TQ- Berechnungen für einen Musterraum unter den verschiedenen Bedingungen durchgeführt. Der Musterraum wurde mit 3 m Breite, einer Tiefe von 4 m und eine Raumhöhe von 2,5 m definiert. Die Berechnungen wurden mittels Relux 3.5 durchgeführt, einem Berechnungstool, das auch vom Total Quality Bewertungssystem empfohlen wird. Das bedeutet, dass die Berechnung unabhängig von gegenüberliegender Verbauung angesetzt ist, was in der Realität jedoch selten zutrifft.

Setzt man nun ein Fenster laut Bauordnung (Architekturlichte: 1,0m breit, 1,2m hoch) mit 0,9% Versprossung mit 1,0m Parapethöhe in der Mitte der Fensterwand ein, erhält der Raum laut Total Quality Tool "-1" Punkte (TQ = 0,83% 2m vom Fenster, 1m Wandabstand).

Die Bewertung nach DIN 5034 wäre mit einem Mittel in halber Raumtiefe von TQ = 0,86% verfehlt.

Nach britischen Bewertungsverfahren erzielt man einen mittleren Tageslichtquotienten über den gesamten Raum von 1,55%, was für Wohnräume und Schlafräume gerade ausreichend wäre.

Die Dimensionierung eines Fenster zur Erfüllung der gestellten Anforderungen nach der DIN 5034 Teil 4 erfolgt über Tabellen in Abhängigkeit von den geometrischen Raumverhältnissen. Das Ergebnis ist ein Fenster mit einer Fläche von ungefähr 20% der Nutzfläche des Raumes.,

Das ergibt für den oben gewählten 12 m² Raum ein Fenster mit 2,3 m² oder eine Architekturlichte mit 1,85m Breite und 1,25m Höhe.

Mit 0,9% Versprossung mit 0,95m Parapethöhe in der Wandmitte, erzielt man immer noch nur "0" Punkte nach dem Bewertungstool Total Quality (TQ = 1,60% 2m vom Fenster, 1m Wandabstand) erfüllt jedoch die DIN 5034 Forderung mit einem Mittel in halber Raumtiefe von TQ = 1,61%.

Nach der britischen BRE Bewertung hätte man mit einem mittleren Tageslichtquotienten von 3,08% eindeutig alle Voraussetzungen erfüllt.

Vergrößert man nun das Fenster auf volle Raumbreite (Architekturlichte: 3,0m breit, 1,7m hoch) mit 0,9% Versprossung mit 0,70m Parapethöhe in der Wandmitte, erhält man "+3" Punkte (TQ = 3,23% 2m vom Fenster, 1m Wandabstand). DIN und BS sind dabei leicht erfüllt. Dies bedeutet nun, dass man mit vorliegendem Raum keine höheren / besseren Bewertungspunkte erzielen kann. Der Versuch den Raum zu verbreitern oder in der Tiefe zu reduzieren bringt ebenfalls keine Verbesserung der Bewertung. Wenn man das Fenster um 0,1m nach oben vergrößert und den Sturz weglässt erreicht man mit TQ = 3,53% die Bewertung "+4". Einzig die Raumhöhe hebt das Bewertungsergebnis bei 2,7 m Raumhöhe auf "+5", unter der Voraussetzung, dass das Fenster über die volle Raumbreite bis zur Deckenunterkante reicht. Eine andere Möglichkeit höhere Werte zu erreichen wäre eine Belichtung über zwei Seiten.

So konnten die einzelnen Normen miteinander verglichen werden. Zur Verlässlichkeit der Berechnungen mit Simulationstools und zur Entsprechung mit Messungen in der Realität verweisen wir jedoch auf Kap.4.4.1

4.1.5. Wirkungen des Tageslichtes auf den Menschen

In den Normen findet man keine Hinweise des Einflusses von (Tages)licht auf den Menschen und dessen Gesundheit bzw. Psyche. Solche Aspekte werden eigentlich nur in allgemeiner Literatur behandelt. Es gibt hier eine Anzahl von Büchern über verschiedene (wahrnehmungs)psychologische Testreihen, Versuche und Theorien.

Ziemlich eindeutig werden in verschiedenen Büchern die Qualitäten der Farbwiedergabe, des Kontrastsehens und der exakten Wahrnehmung unter Tageslicht beschrieben.

Es wird vielfach über den positiven Einfluss auf das physische und psychische Wohlbefinden und der daraus resultierenden geförderten Leistungsbereitschaft berichtet, über reduzierte Fehlerquoten im Arbeitsprozess und Reduzierung von Ermüdungserscheinungen. Des weiteren kann man über eine verbesserte Steuerung der Hormone lesen, sowie über bessere Stressbewältigung, eine Erhöhung der körpereigenen Abwehrkräfte und eine Verminderung von Depressionen. Man findet Hinweise auf Zusammenhänge zwischen Tageslicht und Lernvermögen, Krebskrankheiten, Depressionen, Sexualverhalten, Stress, Blutdruck, Herzleistung, Cholesterinwerten, Übergewicht u.v.m.

4.1.5.1. Kann Kunstlicht Tageslicht ersetzen?

Es ist die Auffassung verbreitet, dass durch Kunstlicht jeder Tageslichtzustand ersetzt werden kann. Das stimmt vielleicht physikalisch, ist jedoch wahrnehmungspsychologisch falsch.

4.1.5.1.1. Veränderung und Dynamik des Lichtes

Das Tageslicht enthält vor allem durch seine Veränderung aller Komponenten des Lichtes, wie Intensität, Richtung und spektrale Zusammensetzung, wesentlich mehr Informationsgehalt als ein statisch bestimmter Zustand, wie er hingegen beim Kunstlicht auftritt.

Die optische Wahrnehmung ist auf Dynamik angewiesen und da sie die Informationsaufnahme bewirkt, ist das Informationsangebot durch Veränderung viel reicher und nicht mit einem statischen Zustand vergleichbar.

Tageslicht bringt nicht nur bessere Sehbedingungen, es erleichtert durch seine Veränderung die optischen Wahrnehmungsabläufe, vergrößert die Informationsaufnahme und verringert somit die mentale Belastung. Die erhöhte freie Gehirnkapazität steigert die Fähigkeit zur Aufmerksamkeit und verhindert Fehlleistungen.

4.1.5.2. Einfluss auf Organfunktionen

Tageslicht greift wesentlich in alle biologischen und physiologischen Organfunktionen ein und ist daher ein sehr wichtiger Faktor für die Hormonfunktion und den Zellstoffwechsel, also für die Gesundheit.

So hat Tageslicht zum Beispiel eine leistungssteigernde und aktivierende Wirkung auf Konzentration, Reaktion, Ausdauer und Schnelligkeit. Im Vergleich wies Hollwich 1978 für Kunstlicht eine erhöhte Stressbelastung gegenüber Tageslicht nach, gemessen am ACTH-Spiegel und Cortisolspiegel. In einem Maschinenbaubetrieb ergab eine Untersuchung der Aktivität der Phagozyten deutliche Unterschiede zwischen einer Beleuchtung ohne UV-Anteil und einer mit UV-Anteil. Es ergaben sich bei der Beleuchtung mit UV-Strahlung 47% weniger Krankheitstage für die gesamte Belegschaft. Schon zu Beginn des 20. Jahrhunderts erschienen eine Reihe von Aufsätzen über die gesundheitlichen Vorzüge von UV-durchlässigen Fenstern. Zuviel UV-Licht ist schädlich, eine gewisse Dosis brauchen wir aber, um am Leben zu bleiben und das Immunsystem intakt zu halten. Dies wird z.B. mit Sauerstoff verglichen, der in zu großen Mengen ebenfalls gesundheitsschädlich ist, andererseits lebenswichtig.

4.1.5.3. Lichtmangel

Bei vielen Menschen löst Lichtmangel Gefühle der Energielosigkeit und Niedergeschlagenheit aus. Oft kann sogar ein Umzug von einem hellen in ein dunkles Haus unvermittelt Depressionen auslösen. Neben unterschiedlichen Jahreszeiten können uns auch bestimmte Wetterlagen Licht entziehen. Nach einer Reihe von Regentagen im Sommer kommt es z.B. verstärkt zu SAD-Symptomen (SAD = saisonal bedingte Depression). Umgekehrt kann klares Wetter im Winter zu für die Jahreszeit unüblichen Remissionen kommen. Saisonal bedingte Depressionen (Winterdepression) lassen sich in vielen Fällen durch Lichttherapie therapieren. Dabei werden die Personen mit sehr intensivem Licht mit Beleuchtungsstärken von 2500 Lux bis 10 000 Lux bestrahlt. Dies entspricht den Intensitäten von natürlichem Licht. In der Praxis wird zwischen 30 Minuten und 2 Stunden täglich behandelt. Der antidepressive Therapieeffekt tritt in der Regel innerhalb der ersten zwei bis vier Behandlungstage ein. Auch eine prophylaktische Anwendung der Lichttherapie vor oder zu Beginn der lichtarmen Wintermonate wird empfohlen. Mit dem Wissen, dass sehr intensives Licht ein Antidepressivum ist, wird es möglich, auch natürliches Sonnenlicht therapeutisch zu nutzen. Sogar im Winter, wenn man auf den Himmel blickt, nimmt das Auge mehrere tausend Lux auf.

Den zuvor beschriebenen Erkenntnissen folgend sollten wir versuchen, Tageslichtanteile in Räumen zu erhöhen, eventuell höhere Mindestwerte in den entsprechenden Normen festzulegen und die Besonnungsdauer in Räumen klarer über Zeitraum und Ort des Einfallendes zu definieren.

4.1.6. Einflüsse auf den Belichtungskomfort in Wohnräumen:

Generell muss gesagt werden, dass unter den am Bau beteiligten Planern oft relativ wenig Kenntnis über Wirkung und Eigenschaften des natürlichen Lichtes herrscht. Spezialisten, die die Lichtverhältnisse in einem Raum voraussagen können werden zumeist nur für die Dimensionierung des Kunstlichtes herangezogen, und auch dies nur dann, wenn der Nachweis entsprechender Qualitäten (wie z.B. in Büros oder Arbeitstätten) per Gesetz oder rechtsverbindlich erklärter Norm vorgeschrieben ist.

Der Wohnbau muss zumeist zur Gänze ohne Bewertung bzw. Voraussage auskommen und wird ausschließlich danach beurteilt, ob er dem geltenden Baurecht genügt.

Dabei gibt es außer der Fenstergröße noch zahlreiche andere wesentliche Faktoren, die auf die Qualität der Belichtung in einem Raum Einfluss nehmen. Sie werden zumeist grob unterschätzt oder überhaupt vernachlässigt.

4.1.6.1. innere Einflüsse

Die inneren Einflüsse ergeben sich unter anderem aus Helligkeit und Farbe, Reflexionsgrad, welcher Bereich im Raum, lichtlenkende Elemente, Lage des Fensters, Anzahl der Lichtöffnungen, Transmission und Absorption. Dazu zählt zum Beispiel die Beschaffenheit des Bodens, vor allem in Fensternähe. Hier kommen die Eigenschaften Helligkeit (bestimmt durch Reflexionsgrad) und Farbe des Bodenbelages zur Geltung. Günstig ist es daher helle Materialien mit freundlichen (warmen) Farben zu wählen. Ein dunkler Teppich vorm Fenster kann zu Beispiel erhebliche Einbußen der sichtbaren (=reflektierten) Tageslichtmenge bewirken, - genauso ein dunkler Parkettboden. Warme Farben reflektieren Licht meist besser als kühle Farben. Ein goldgelber Belag kann sogar (nicht vorhandenen) Sonnenschein vortäuschen. Transmission bzw. Absorption ist in Zusammenhang mit Vorhängen oder Sonnenschutzmaßnahmen zu sehen. Sichtschutzvorhänge können leicht die Hälfte des einfallenden Lichtes schon im unmittelbaren Fensterbereich verschlucken. Natürliche lichtlenkende Elemente sind helle Fensterbänke, helle Fensterleibungen, eventuell helle Jalousien im Besonnungsfall (wenn nicht ganz geschlossen), Balkon und Terrassenbeläge sowie helles Mobiliar in unmittelbarer Fensternähe. Wenn es an mehr als einer Wand Fensteröffnungen gibt, verliert man meistens die dunklere Raumentiefe und der gesamte Raum erscheint gut belichtet.

4.1.6.2. äußere Einflüsse

4.1.6.2.1. Himmelsrichtung und Fremdverschattung

Die Himmelsrichtung, zu welcher der Raum orientiert ist, kann bei sonnigem Wetter von großer Bedeutung sein. Bei Sonnenschein haben wir im Sommer an einer Südfassade bis zu 100 000 Lux, im Freien gemessen, zu erwarten, während wir zum gleichen Zeitpunkt an der Nordfassade nur um die 20 000 Lux messen können. Dies sind dann auch die Lichtmengen welche in die TQ Betrachtungen einfließen. Im Süden kann mit geeignetem Sonnenschutz daher ein beträchtlich höherer Tageslichtanteil im Raum erzielt werden.

Fremdverschattung, also Versperrung der freien Sicht zum Himmel durch gegenüberliegende Verbauung kann massive Verminderungen der Tageslichtmengen bedeuten. Das wird deutlich an einem Beispiel, wobei auf einem bisher unbebauten Nachbargrundstück ein höheres Gebäude errichtet wird. Bisher konnte man an fast jedem Punkt im Raum einen Teil des Himmels sehen (=direktes Himmelslicht gelangt in den Raum). Mit dem neuen Gebäude ist das stark eingeschränkt oder sogar nur noch von fensternahen Bereichen aus möglich. Für solche Fälle gibt es in Großbritannien die Methode die "no-sky line" in den Raumgrundriss einzuzeichnen, vorher und nachher, um die Verluste graphisch sichtbar zu machen. Durch das Gesetz "rights to light" wird geregelt in welchem Ausmaß das zumutbar ist. Die "no-Sky line" wird konstruiert, indem man in einem Raster über den gesamten Raum in 0,85 m über dem Fußboden untersucht, ob der Himmel noch zu sehen ist oder nicht. Die Verbindung der Punkte, an denen der Himmel nicht mehr zusehen

ist ergibt diese Linie. Idealerweise sollte diese Linie in der hinteren Hälfte des Raumes liegen.

4.1.6.2.2. Balkone und Loggien, Eigenverschattung am Gebäude

Eine nicht unerhebliche Beeinträchtigung der Belichtung ergibt sich auch durch die Eigenverschattung am Gebäude (im Gegensatz zu dem unter innere Einflüsse aufgezeigten lichtlenkenden Effekt). Sowohl Balkone als auch seitlich vorspringende Gebäudeteile können die Belichtung eines Raumes stark beeinträchtigen. Die Einschränkung der Belichtung einer Wohnung durch über der Wohnung liegende Balkone ist ausführlich im Kapitel 5 dargestellt.

4.2. Bewertung der Gesetzeslage

Die Gesetze scheinen alle einen engen Bezug zur angewandten Praxis zu haben. Es liegt die Vermutung nahe, dass Vorgaben aus der Erfahrung bzw. Erkenntnissen in der Wirklichkeit stammen. Es gibt praktisch keine Untersuchungen im Zusammenhang mit Beleuchtung bzw. Tagesbelichtung von Wohnungen und die Auswirkungen auf den Menschen. Es fehlen anscheinend kommerzielle Anreize solche Untersuchungen anzustellen. Die Forschung im Arbeitsbereich (Belichtung von Arbeitsplätzen) ist hingegen Interesse der Wirtschaft, um Arbeitsbedingungen zu verbessern und damit aber vor allem Arbeitsleistungen zu steigern, und damit wiederum Umsätze.

Die Gesetzeslage in den untersuchten Ländern (A, D, GB) unterscheidet sich nur geringfügig. Für den Wohnbereich gibt es wesentlich weniger Richtlinien als für den kommerziellen Bereich. Vorgeschlagene Fenstergrößen (Belichtungsverhältnisse) scheinen eher am unteren Bereich der Zumutbarkeit (aus psychologischer Sicht) angesiedelt zu sein. Vergleicht man die Vorschriften für Wohnräume in Großbritannien mit denen in Deutschland, so legen diese höhere Anforderungen fest, allerdings scheint dies in Großbritannien auch aus der angewandten Praxis zu stammen, bei den im Vergleich zu Österreich oder Deutschland wesentlich kleineren Raumdimensionen sind die Vorgaben auch leichter zu erreichen (und zum Großteil trifft man noch auf Einfachverglasungen!!).

4.3. Versuch einer Definition:

4.3.1. zeitgemäßer Belichtungsstandard in Wohnräumen

Menschen bauen Gebäude zum Schutz vor Klima und Witterung. Seit der Erfindung des Glases gibt es in dieser Hülle transparente Bauteile, die eine Verbindung zwischen Innen und Außen gewährleisten und aktive Tätigkeiten in diesen Räumen erst ermöglichen.

Fenster waren immer schwierig zu beherrschende, teure und sehr komplexe Bauteile. Mit der Passivhausfenstertechnologie (sehr hoher Wärmeschutz, sehr hohe Dichtheit) hat für den Bauteil Fenster und auch für den Innenraum eine neue Ära begonnen. Es gibt keine Kondensaterscheinungen am Fenster mehr, es gibt keinerlei Zugerscheinungen mehr und es gibt (zumindest bei den heute üblichen Raumhöhen) keinen Kaltluftabfall am Fenster mehr.

Auch in Hinblick auf die sommerliche Überwärmung ist mit den heutigen außenliegenden Sonnenschutzsystemen mit Reduktionen des Gesamtenergiedurchlassgrades auf 10% ein großer Handlungsspielraum eröffnet.

Erstmals müssen bei der Dimensionierung von Fenstern nicht mehr Belichtungsanforderungen gegen negative Eigenschaften abgewogen werden.

Darüber hinaus ist die Lebensführung der Menschen in vielen Ländern der Erde heute vom Aufenthalt in Innenräumen bestimmt. Neben der Anforderung sich vor dem Klima zu schützen geht es heute ebenso intensiv darum, Licht und Klima von draußen im wahrsten Sinne des Wortes nicht "aus dem Auge" zu verlieren.

Diesen Änderungen tragen zumindest die Baugesetze in Österreich noch keine Rechnung. Dass dies geändert werden muss, ist klar.

Aber wie?

Innovative Ansätze (wie das Bewertungstool Total Quality, s. Kap. 4.1.3 gehen seit einigen Jahren in Richtung Festlegung von erforderlichen Tageslichtquotienten für Wohnräume. (Zur Definition Tageslichtquotient s. Kap.4.4.1.1 Die Definition des TQ, auf Nuancen achten!!!)

Dies kann in der Zukunft ein guter Weg sein, ob er heute schon beschreitbar ist möchten wir an dieser Stelle stark in Zweifel ziehen.

Wie wir in unseren Vergleichen zwischen Messung und Simulation (dargestellt in Kap. 4.4.1.2) leider herausfinden mussten, ist eine ausreichende Übereinstimmung zwischen Simulationsprogrammen untereinander, zu den Messungen und zwischen den Messungen nicht gegeben.

Zum einen liegt dies offensichtlich an der sehr unterschiedlichen Realitätsnähe der Programme. Die Genauigkeit, mit der Leubungsausbildungen, Wandstärken, Balkonverschattungen, Verschattungen und Reflexionen von Nachbargebäuden, sonstige äußere und innere Reflexionen, Reflexionsgrade der Materialien, die Leuchtdichtevertelung des Himmels eingegeben werden können, bzw. überhaupt in der Simulation berücksichtigt werden ist stark unterschiedlich, größtenteils scheint der Entwicklungsstand der Programme hier noch klar verbesserungsfähig.

Zum anderen haben die Ergebnisse die Vermutung nahe gelegt, dass die Leuchtdichtevertelung des bedeckten Himmels durchaus stark differiert, was hauptsächlich in der Raumtiefe zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Damit sind Messungen in der Realität an verschiedenen Objekten zu verschiedener Zeit (selbst wenn immer bedeckter Himmel herrschte) kaum miteinander vergleichbar und damit auch keinem objektiven Bewertungsmaßstab unterziehbar.

Weiters scheint es uns noch beachtenswert, dass sowohl Messungen als auch Simulationen zeitaufwändig und damit teuer sind. In der Praxis (wie das z.B. im Bewertungstool total quality durchgeführt wird) führt dies dazu, dass bei der Bewertung einer Wohnanlage von einer Wohnung nur in einem Raum, nur ein Punkt und nur an einem Tag gemessen wird.

Ob dies die geeignetste Methode ist, die durchschnittliche Belichtungsqualität aller Wohnungen festzustellen und Wohnanlagen untereinander vergleichbar zu machen, sollte in der nahen Zukunft Thema eingehender Diskussionen unter Fachleuten sein.

Zu guter letzt ist es noch fraglich, ob für Wohnräume die Messebene 0,85m die richtige Bewertungsebene ist, da es sich ja hierbei nicht um einen Arbeitsplatz handelt. Natürlich gibt es auch im Wohnbereich Tätigkeiten die auf Tischhöhe stattfinden und eine ausreichende Beleuchtungsstärke verlangen. Die Erfüllung diese Kriteriums ist jedoch als alleinige Grundlage zur Aussage über die allgemeine Belichtungsqualität des Raumes nicht geeignet. Eine Bewertungsebene von 0,4 m scheint für einen Wohnraum in den meisten Fällen relevanter. Durch das Fenster eintretendes Licht fällt meist ungehindert auf den Boden, bzw. auf Möbel die eher im Höhenbereich von 0,4 m liegen (Sofa, Stühle, Hocker, Pflanzen, Tischchen etc.) und wird von dort weiter in den Raum reflektiert. In dieser Ebene kann man auch besser erkennen, dass jede Vergrößerung der Glaslichte eine Erhöhung des Tageslichtanteiles bewirkt (vergl. Kapitel 4.4.3.).

Für die Gegenwart scheint es daher, dass die verlässlichsten Methoden für die Definition einer guten Tagesbelichtung in Definitionen der Raumgeometrie und Fensterbeschaffenheit, in den Verhältnissen zwischen Raum- und Fensterdimensionen, sowie in der Definition von zulässigen äußeren Verschattungen liegen.

Ein verlässlicher Weg führt also über die Vorgaben von erstrebenswerten TQ- Werten aus der Sicht von Experten, verpackt in Formeln, wie wir sie aus der Bauordnung kennen.

Prinzipiell halten wir die generelle Unterteilung der Forderungen aus der DIN 5034 nach Sichtverbindung, Helligkeit, Blendung und Besonnung für sinnvoll.

Auf die Helligkeit wollen wir hier näher eingehen:

Grundsätzlich sollte gelten: Soviel Tageslicht wie möglich, ohne den wirtschaftlichen Rahmen zu sprengen.

Ausgehend von den derzeitigen Forderungen aus der DIN 5034, die für Wohnräume in etwa eine Fenstergröße von 20 % der Nutzfläche ergibt sollte folgendes unbedingt beachtet werden:

1. sinnvoller als die Angabe der Rohbaulichte oder Architekturlichte ist jedenfalls die Nettoglasfläche, da je nach verwendetem Profil und Art der Fensterteilung bei der gleichen Rohbaulichte die Nettoglasfläche deutlich unterschiedlich sein kann.
2. zu achten ist wesentlich darauf, dass in weiterer Zukunft alle Glasscheiben 3fach Verglasungen aufweisen werden, mit entsprechend vermindertem Lichttransmissionsgrad. Um die Lichteinbussen aufzufangen, müssten die derzeit geltenden Vorschriften deutlich erhöht werden, und zwar um einen Faktor 1,2 bis 1,6 je nach Transmissionswert der 3-fach Verglasung. Da von einer Optimierung des Lichttransmissionswertes in der Planung a priori nicht ausgegangen werden kann, plädieren wir für eine Erhöhung um einen Faktor 1,5.
3. Weiters hat sich in unseren Untersuchungen die Frage der Verschattung durch Nachbargebäude als sehr bedeutsam herausgestellt. Den in Österreich praktizierten ausreichenden Lichteinfallswinkel von 45° halten wir für zu hoch. Bei einer derart hohen Verschattung durch Nachbargebäude lässt sich im EG in der Raummitte oder Raumtiefe keine angemessene Belichtung mehr herstellen. Anzustreben wäre eine maximale Verschattung von 30° oder ein Verhältnis Abstand/Höhe von 2:1.
4. Zuletzt kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass alle Wohnräume und Möbel hell gehalten sind. Auch für eventuell niedrigere Reflexionsgrade müsste von vorneherein ein kleiner Puffer eingeplant werden.

Andere wichtige Maßnahmen in diesem Zusammenhang, wie helle Raumbooberflächen, weiße Fensterleibungen, helle Farbgebung von Nachbargebäuden, Verzicht auf Store oder andere "Lichtvernichter" können nur im Rahmen von langfristiger Aufklärung im Bewusstsein von Planern und (Gebäude-)Nutzern verankert werden.

Betrachtet man nun die Anforderungen aus DIN 5034 mit ihren in etwa 20 % der Nutzfläche und wendet man die vorher angeführten Punkte zusätzlich an, so erhält man in etwa die Forderung nach einer **Nettoglasfläche** von 25% von der Nutzfläche des Raumes, was bei großen Glasteilungen und teilweisen Fixverglasung einer Rohbaulichte von 30% -35% der Nutzfläche des Raumes entspricht.

Einschränkungen aus Verschattung durch Balkone sind gesondert zu bewerten, generell ist von der üblichen Balkonauskragung von 1,5 M abzugehen. Vorschläge zur lichttechnisch sinnvollen Ausbildung von Balkonen finden sich in Kap. 5.

Die Verschattung durch Nachbargebäude sollte auf 30 ° abgemindert werden, in dicht verbauten Gebieten könnten Speziallösungen wie hoch reflektierende Fassadenbeschichtungen, Terrassenbeläge und Fußbodenmaterialien überlegt werden.

Die Summe dieser Maßnahmen sollten uns für den Wohnbereich auch unter zukünftig veränderten Verglasungsbedingungen Standards bringen, die heute im Bürobau für Arbeitsplätze bereits Gültigkeit haben.

4.4. Detaillierte Untersuchungen zum Belichtungskomfort

Um das Phänomen Tageslicht näher ins Blickfeld zu rücken, wurden im Projekt grünes Licht einige detaillierte Untersuchungen durchgeführt, die verschiedene Einflussfaktoren genauer beleuchten sollen und Rückschlüsse ermöglichen sollen, welche Maßnahmen im Wohnbau (und hier im speziellen in der Passivhausbauweise) "etwas bringen" und welche wenig zielführend sind.

Diese Untersuchungen, sofern sie nicht rein mathematisch zu führen waren, wurden einerseits durch Modellmessungen geführt andererseits durch Lichtsimulationen mit dem

GProgram Relux 2005. Wie sich leider erst gegen Ende der teilweise gleichzeitig durchgeführten Untersuchungen herausstellte, konnte zwischen Messungen und Simulationen keine ausreichende Übereinstimmung erzielt werden. Die einzelnen Untersuchungen geben daher im Vergleich der gleichartig untersuchten Inhalte sehr gute Resultate, die Tageslichtquotienten die bei den Simulationen ermittelt wurden können jedoch mit denen der Messungen nicht verglichen werden.

In diesem Zusammenhang hat sich für uns die Frage gestellt, wie weit die derzeit geübte Praxis, einen Raum zuerst zu simulieren und ihn später in der Realität zu messen eine sinnvolle oder eine verbesserungswürdige Methode ist, und vor allem auch, in welcher Art und Weise Messungen standardisiert werden müssten, um vergleichbare Ergebnisse zu gewährleisten.

4.4.1. Der TQ in Messung und Simulation, Übereinstimmung gescheitert

Wichtigste (und handhabbare) Größe der Tageslichtüberprüfung ist der Tageslichtquotient. Bei allen Tageslichtbewertungen spielt er die maßgebliche Rolle.

4.4.1.1. Die Definition des TQ, auf Nuancen achten!!!

Der Tageslichtquotient D (Daylight factor) wird als Verhältnis der Beleuchtungsstärke E_p in einem Punkt einer gegebenen Ebene, die durch direktes und/oder indirektes Himmelslicht bei angenommener oder bekannter Leuchtdichtevertellung des Himmels erzeugt wird, zur gleichzeitig vorhandenen Horizontalbeleuchtungsstärke E_a im Freien bei unverbauter Himmelskugel definiert.

Für den Anwendungsbereich nach der Norm DIN 5034 gilt der Tageslichtquotient für die Beleuchtung durch den vollkommen bedeckten Himmel. In diesem Fall ist der Tageslichtquotient für jeden Raumpunkt eine konstante Größe.

$$D = E_p / E_a \cdot 100\%$$

Das heißt: bei bedecktem Himmel wird die Beleuchtungsstärke im Freien gemessen (z.B. 12000 lux) und mit der zeitgleich gemessenen Beleuchtungsstärke eines bestimmten Punktes im Gebäudeinneren in Beziehung gebracht (z.B. 300 lux)

Der TQ in diesem Punkt wäre dann 2,5 %. Dieser Wert gilt landläufig bei bedecktem Himmel als Konstante, wie das auch aus der obigen Definition hervorgeht.

Wesentlich in dieser Definition ist der kleine Satzteil:

bei **angenommener oder bekannter** Leuchtdichtevertellung des Himmels

Landläufig geht man bei bedecktem Himmel davon aus, dass das Licht diffus verteilt ist und die Leuchtdichtevertellung am Himmel gleich oder ähnlich.

Dies ist eine folgenschwere Vereinfachung. In unseren Messungen hat sich herausgestellt, dass die Leuchtdichtevertellung des bedeckten Himmels durchaus stark unterschiedlich ist, und der Tageslichtquotient (wie die Definition auch klarstellt, wenn man genau liest) **dann und nur dann** eine Konstante ist, wenn die Leuchtdichtevertellung des Himmels definiert wird und konstant gehalten wird.

Dies ist in einer Simulation möglich- hier wird zumeist mit dem sogenannten "europäischen Normhimmel" operiert, in der Messung hat man zwar immer reale und tatsächliche Ergebnisse, aber die Leuchtdichtevertellung des Himmels, der während der Messung herrschte wird normalerweise nicht erfasst und ist daher nicht bekannt.

4.4.1.2. durchgeführte Vergleiche zwischen Messung und Simulation

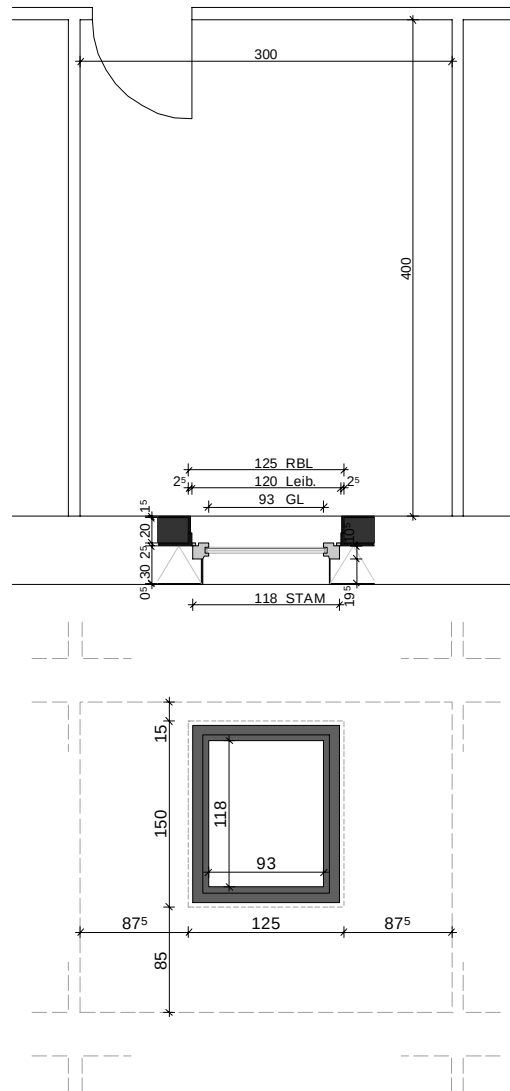
Da sich die in Simulationen und Messungen ermittelten Tageslichtquotienten so stark voneinander unterschieden, wurden vergleichende Messungen und Simulationen durchgeführt, um zu versuchen, eine Übereinstimmung und Abstimmung erzielen zu können.

Zu diesem Zweck wurde ein 1:10 Modell eines Raumes aus Spanplatten gebaut und Wände und Decke mit Wandfarbe weiß gestrichen.

Insgesamt wurden dann folgende Messungen und Simulationen durchgeführt.

1. Tageslichtmessungen am Modell unter bedecktem freiem Himmel (an 2 verschiedenen Tagen)
2. Messungen am Modell im Innenraum mit künstlich hergestelltem Himmel, der in etwa dem Normhimmel entspricht
3. Simulationen mit dem Programm superlite
4. Simulationen mit dem Programm Relux

Messungen und Simulationen bezogen sich auf einen Raum mit 3 mal 4 Meter und 2,5 M Raumhöhe, gleichartige Wandkonstruktion: 20 cm STB, 30 cm Wärmedämmung, gleiches Fenster mit einer Rohbaulichte von 125cm auf 150 cm, gleiche Rahmenausbildung:



Modellmessung Tageslicht Var. 01

bedeckter Himmel, im Freien gemessen, Boden der Umgebung grau, Reflexionsgrade des Modells: Wand / Decke 80%, Boden 35%, Lichttransmission Glas T_L 69%, Reduktionsfaktor durch Verschmutzung 90%, Leibungsreflexion 80 %. Die Reflexionsgrade wurden nicht gemessen sondern entsprechen Erfahrungswerten der verwendeten Materialien.

Modellmessung Tageslicht Var. 02

gleiche Bedingungen wie Var.01, lediglich anderer Messtag, ähnliche Beleuchtungsstärke im Freien

Modellmessung im Innenraum mit künstlichem Tageslicht
Leuchtdichtevertelung lt. Normhimmel, Boden der Umgebung grau, gleiches Modell wie für Messungen im Freien

Modellmessung im Innenraum mit künstlichem Tageslicht,
Leuchtdichtevertelung lt. Normhimmel, Boden der Umgebung schwarz, gleiches Modell wie für Messungen im Freien

Superlite Var.01

Diffusstrahlung bei bedecktem Winterhimmel (7100 lx), keine direkte Sonnenstrahlung

Reflexionsgrad Wand / Decke 80%, Boden 35%, T_L 63%, Fensterlaibung 50%

Superlite Var.02

Diffusstrahlung bei bedecktem Winterhimmel (7100 lx), keine direkte Sonnenstrahlung

Reflexionsgrad Wand / Decke 80%, Boden 35%, T_L 63%, Fensterlaibung 80%

Relux Var.01

Diese Einstellung entspricht den übrigen im Projekt Grünes Licht durchgeführten Simulationen

Eingabe Innenlaibung, Reflexionsgrad Wand / Decke 80%, Boden 35%, T_L 69%,
Reduktionsfaktor durch Verschmutzung 90%, hoher Indirektanteil.

Relux Var.02

Eingabe Innenlaibung, Reflexionsgrad Wand / Decke 90%, Boden 45%, T_L 90%,
Reduktionsfaktor durch Verschmutzung 100%, hoher Indirektanteil.

Relux Var.03

Eingabe Innenlaibung, Reflexionsgrad Wand / Decke 100%, Boden 70%, T_L 90%,
Reduktionsfaktor durch Verschmutzung 100%, hoher Indirektanteil.

Vergleich der Ergebnisse aus Simulation und Modellmessung

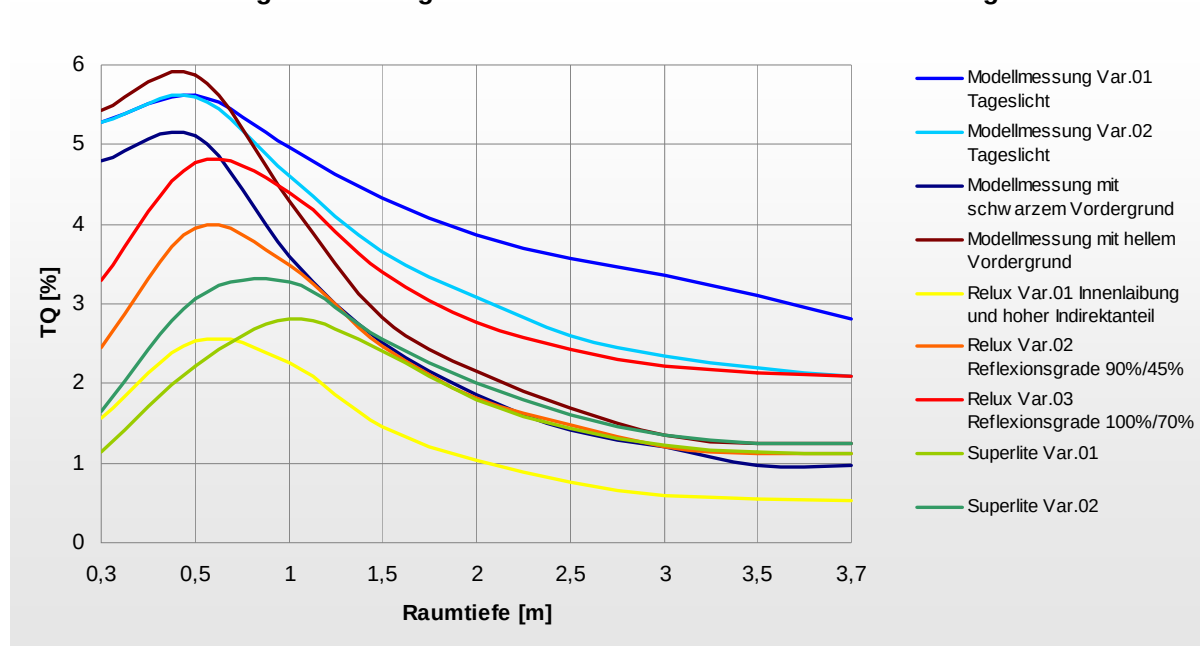


Abb. 48 Simulation/Modellmessung

Die Messpunkte aller Messungen und Simulationen liegen auf 0,4 Meter, in Raumachse vom Fenster bis nach hinten zur Raumrückwand gemessen, die Bereiche 0 bis 0,3 M und 3,7 bis 4 Meter wurden ausgeschieden.

Der Vergleich bietet ein ernüchterndes Bild.

Wichtigsten Vergleichsmaßstab bieten die beiden Messungen im Innenraum mit künstlich hergestelltem "Normhimmel" (im Bild braun und dunkelblau)

Sie weisen in einem halben Meter Entfernung vom Fenster einen TQ von 5% bis 6% auf, je nach den Bodenreflexionen aus der Umgebung.

In 2 Meter Entfernung vom Fenster ergibt sich ein Wert um 2%, in der Raumtiefe liegt der Wert um 1%.

Auch die beiden Ergebnisse der Simulationen mit dem Programm superlite (hell und dunkelgrün dargestellt) weisen in den Bereichen ab 1,5 M Raumtiefe recht gute Übereinstimmung mit den Modellmessungen mit künstlichem Himmel auf. In den fensternahen Bereichen sind die Werte hingegen nicht brauchbar.

Die Ergebnisse der Simulation mit dem Programm relax, wie es auch in den übrigen Simulationen des Projektes verwendet wurde (gelbe Kurve) sind allgemein deutlich zu niedrig. Im Bereich von 2M Raumtiefe liegt der simulierte Wert in etwa bei der Hälfte des Wertes der sich bei superlite und der Messung unter künstlichem Himmel ergibt.

Es wurde daraufhin versucht, die Annahmen des Programmes relax soweit zu verändern, dass eine Übereinstimmung mit superlite oder der Kunstmessung zu erzielen wäre.

Dies könnte theoretisch mit relax var. 2 (orange) realisiert werden. Um entsprechende Ergebnisse zu erhalten wäre es allerdings notwendig, die Reflexionsgrade der Innenoberflächen zu erhöhen, einen besseren Glastransmissionswert anzunehmen und die Verschmutzung auf 0 zu stellen.

Kurz wurde vom Team überlegt, ob die Simulationen mit relax unter den geänderten Eingaben alle noch ein 2. Mal gerechnet werden sollten. Da jedoch nicht klar war, ob die Ergebnisse in anderen als den hier verglichenen Räumen und Punkten dann ein "realitätsnäheres" Ergebnis liefern würden und ebenso gut mit den Messungen zusammen stimmen würden oder nicht, wurde dies schließlich verworfen.

Am Interessantesten für die allgemeine Forschung schien jedoch die Tatsache, dass die Messung unter künstlichen Bedingungen doch stark von der Messung unter freiem Himmel abweicht, und dass vor allem auch die Messungen unter freiem Himmel, die an zwei unterschiedlichen bedeckten Tagen im Frühling stattfanden deutlich voneinander abweichen.

Im fensternahen Bereich stimmen die Ergebnisse aller 4 Messungen gut überein. In der Raumtiefe allerdings weisen die Messungen unter freiem Himmel deutlich bessere Werte auf.

Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Leuchtdichteverteilung des bedeckten Himmels durchaus Unterschiede aufweist.

Für die Zukunft der Gebäudebewertung würde dies bedeuten, dass nicht einfach an irgendeinem Tag mit bedecktem Himmel gemessen werden kann sondern dass die für eine Messung erforderliche Leuchtdichteverteilung des Himmels definiert werden müsste, will man vergleichbare Ergebnisse und objektive Bewertungsgrundlagen erstellen.

In der Praxis könnten diese Unterschiede derzeit vielleicht deshalb nicht so sehr auffallen, weil die in der Planung angenommenen Fensterprofile und Rahmenanteile vielleicht in der Praxis zugunsten dickerer aber billigerer Profile aufgegeben werden müssen, was den TQ verschlechtert, während gleichzeitig die reale Messung im Vergleich zu Simulation generell bessere Werte liefert, die Verschlechterung in der Realisierung somit in gewissem Sinne "ausgeglichen" werden könnte.

Hier wären dringend weitere Studien und vergleichende Messungen nötig.

4.4.2. Untersuchung zum Fenster, Optimierung der Lichtausbeute/m²

Das Fenster ist im Vergleich zur opaken Außenwand ein Bauteil mit deutlich schlechterem U-Wert. Diese Tatsache erfährt eine Relativierung dadurch, dass ein Fensterbauteil nicht nur Verluste sondern auch Gewinne aufweist, die teilweise sogar die Verluste deutlich überwiegen können. Das Fenster ist sozusagen ein dynamischer Bauteil, dessen Effizienz von wesentlich mehr Faktoren abhängt als dies bei der opaken Wand der Fall ist.

4.4.2.1. Glasanteil

Ziel muss in jedem Fall die Maximierung des Glasanteiles sein. Während nämlich der Rahmen jedenfalls thermisch schlechter ist als die opake Wand (im Passivhaus) wird mit

dem Glas 1. der Zweck des Fensters erfüllt (nämlich die Belichtung des Raumes) 2. die energetische Bilanz des Fenster u.U. erheblich verbessert.

Die Maximierung des Glasanteiles hat bei jedem Fenster einen direkten Einfluss auf die Vergrößerung der in den Raum gelangenden Tageslichtmenge.

4.4.2.1.1. Einfluss der Fenstergröße auf den Glasanteil

Klar ist, dass die Größe der Rohbauöffnung einen maßgeblichen Einfluss auf das Verhältnis zwischen Rahmenanteil und Glasanteil eines Fensters hat. Wie hoch der Rahmenanteil jedoch ist, dessen sind sich Auftraggeber selten, ja selbst die Planer oft nicht wirklich bewusst. Dieses Verhältnis wird natürlich bei der Verwendung von Passivhausfenstern gegenüber normalen Wärmeschutzfenstern oft nochmals verschlechtert, da Passivhausfenster oftmals noch dickere Rahmen haben.

Für die nachfolgenden Grafiken wurde ein Passivhausfenster der Fa. Buck verwendet, welches wir in späterer Folge zumeist als Standardpassivhausfenster bezeichnen, weil es auf dem Passivhausfenstermarkt sehr übliche Abmessungen aufweist.

Verglichen werden Glas- und Rahmenanteil von Fenstern verschiedener Größe aber gleicher Proportion, beginnend mit einem Seitenverhältnis B/H von 1: 2, gefolgt von 3: 4 und 5: 6 (schon annähernd quadratisch)

Einfluss auf den Glasflächenanteil haben dabei die Fläche des Fensters selbst, (je größer die Fensterfläche desto höher ist der Glasflächenanteil), und die Proportion von Breite / Höhe (je längsrechteckiger desto schlechter).

Rahmen- u. Glasanteil Fa. Buck
Seitenverhältnis B/H=1:2

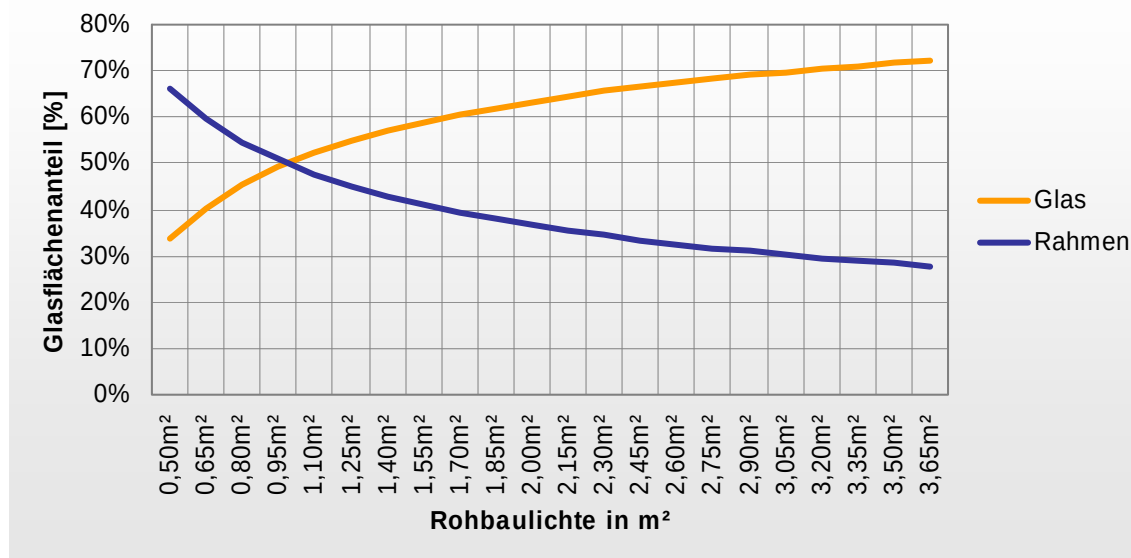


Abb. 49 Rahmen und Glasanteile bei B/H = 1:2

Deutlich ablesbar ist, das Fenster mit einer Größe unter einem M² bereits einen Rahmenanteil von über 50 % aufweisen und daher sowohl für Belichtung als auch energetisch extrem unwirtschaftlich sind. Selbst bei einer Fenstergröße von 2 m² ist der Rahmenanteil erst unter 40 % gesunken.

Rahmen- u. Glasanteil Fa. Buck Seitenverhältnis B/H=3:4

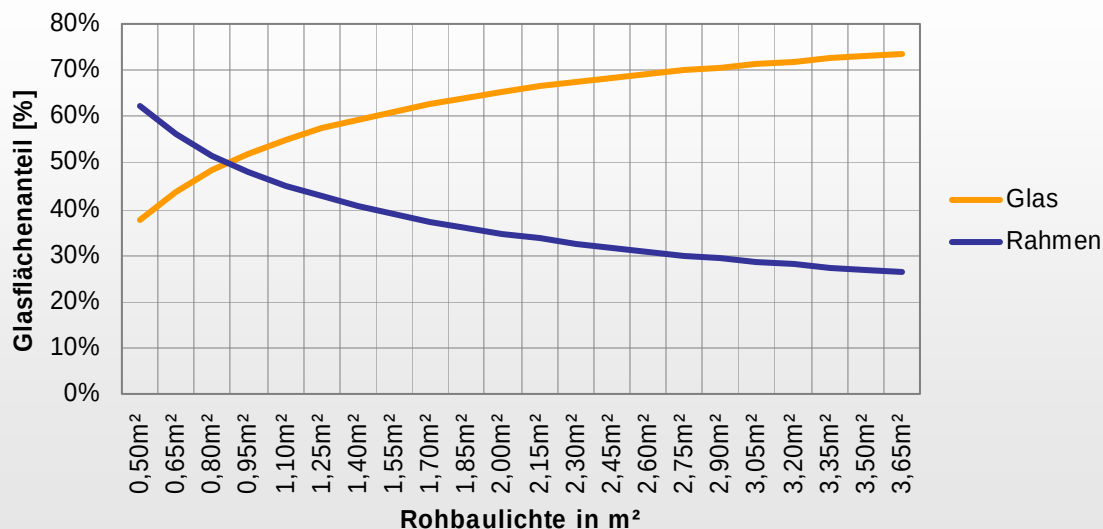


Abb. 50 Rahmen und Glasanteile bei B/H = 3:4

Rahmen- u. Glasanteil Fa. Buck Seitenverhältnis B/H=5:6

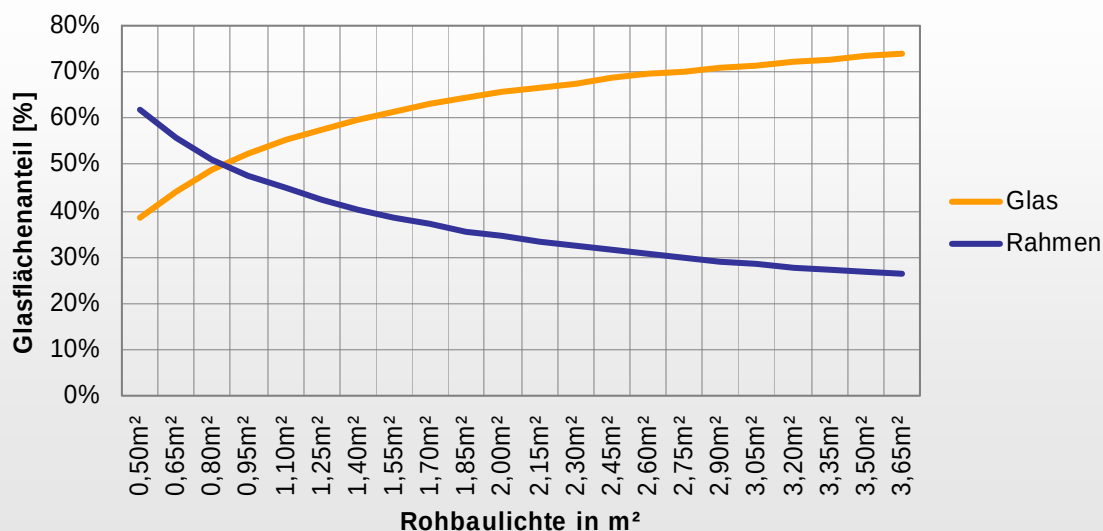


Abb. 51 Rahmen und Glasanteile bei B/H = 5:6

Etwas besser verhalten sich Formate die sich dem Quadrat annähern.

Anhand der Vergleiche lässt sich ablesen, welchen Einfluss die Proportion der Fenster auf den Rahmenanteil hat. War bei der ersten Grafik der Rahmenanteil bei einem 2M² großen Fenster bei ca. 38%, so ist er in der obenstehenden Grafik immerhin auf unter 35% bei der gleichen Fenstergröße gesunken.

In weiterer Folge werden hier noch die Glas- und Rahmenanteile eines 2. Passivhausfensters verglichen, und zwar des schlanksten Fensters, das den Verfassern bekannt ist.

Rahmen- u. Glasanteil Fa. Sigg Seitenverhältnis B/H=1:2

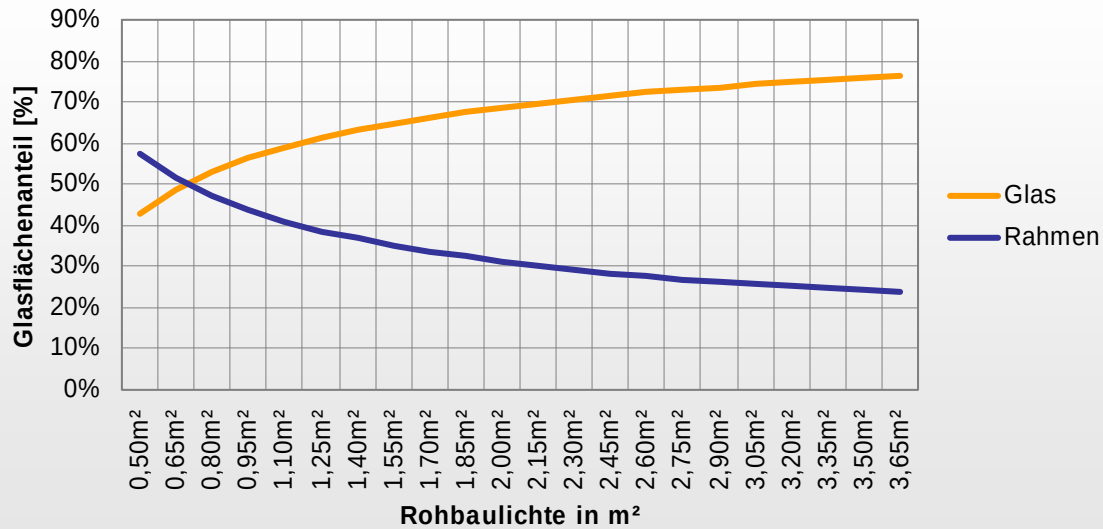


Abb. 52 Rahmen und Glasanteile schlankes Profil bei B/H = 1:2

Hier sehen die Werte schon freundlicher aus, aber ein Rahmenanteil unter 30 % ist auch hier kaum zu realisieren.

Um dies zu erreichen muss zu Fixverglasungen gegriffen werden.

Im Bauen stellt die Verwendung von Fixverglasungen nach unserer Meinung eine sehr sinnvolle Optimierung des Bauteils Fenster dar, die zwar nicht überall angewandt werden kann, sich aber jedenfalls bei größeren Verglasungen zur Kombination mit offenen Flügeln empfiehlt.

Beispiel Fixverglasung Fa. Sigg

Rahmen- u. Glasanteil - Fixverglasung Fa. Sigg Rahmenansichtsbreite 7cm Seitenverhältnis B/H=5:6

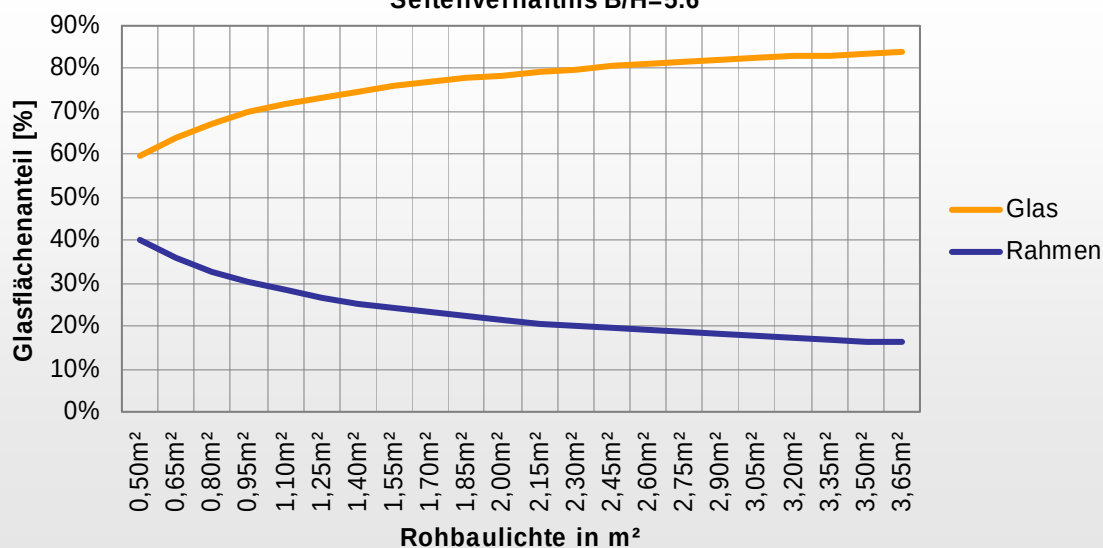


Abb. 53 Rahmen und Glasanteile Profil Fixverglasung bei B/H = 5:6

Wie man sieht sind hier endlich- bei großen Formaten Rahmenanteile unter 20% realisierbar. Auch kleiner Felder sind mit der Maßnahme Fixverglasung einigermaßen sinnvoll einsetzbar.

4.4.2.1.2. Einfluss des Fensterprofils/Fenstereinbaues auf den Glasanteil

Im speziellen im Falle der Sanierung kann die Rohbauöffnung nicht frei nach der gewünschten Glasgröße dimensioniert werden. Die Rohbauöffnung ist vorgegeben, und je schlanker der Rahmen ist, desto mehr Glas bleibt im Sanierungsfall übrig.

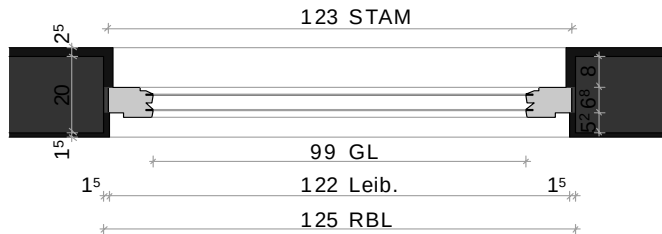


Abb. 54 Einbausituation eines Verbundfensters vor Sanierung

Als Ausgangssituation für nachfolgende Einbauvarianten diene eine 20cm starke Außenwand mit einem 1,5cm starken Innenputz und einem 2,5cm starkem Außenputz. Als bestehendes Fenster wurde ein Verbundfenster mit einem Stockaußenmaß von 1,23m/1,48 und einer Rohbaulichte von 1,25m/1,50m angenommen.

Wenn nun das Fenster erneuert und Passivhausstandard angestrebt wird, so muss eine Auswahl des Fensterprofils und der Einbauart erfolgen. Wenn keine Optimierung angestrebt wird, wird in etwa folgendes Profil und Einbauart daraus resultieren.

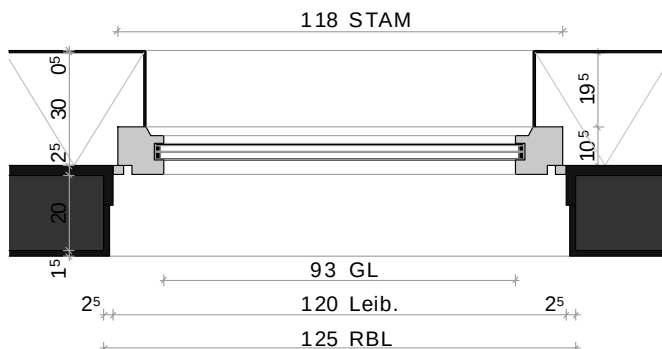


Abb. 55 Einbausituation eines Passivhausfensters (z.B. Fa. Buck)

Es wurde angenommen, dass nach Demontage des Verbundfensters der Außenputz in der Leibung belassen wird und dass der an der Stelle des ehemaligen Fensters fehlende Innenputz ergänzt wird. Das neue Fenster wird (wie das für Passivhausstandard erforderlich ist) in der dazugefügten Dämmebene placiert. Um einen späteren Tausch des Fensters zu gewährleisten wird eine Einbauluft von einem Zentimeter pro Seite eingerechnet. Dadurch ergibt sich ein Stockaußenmaß von 1,18m bei gleich bleibender Rohbaulichte. Die Glaslichte sinkt von 0,99 auf 0,93m.

Hinsichtlich der Belichtungsverhältnisse im Raum muss, wie unter Kap. 4.4.4 gezeigt wird, noch berücksichtigt werden, dass das Passivhausfenster ja einen schlechteren Lichttransmissionsgrad aufweist und selbst bei gleicher Fläche die Belichtungssituation im Raum verschlechtert.

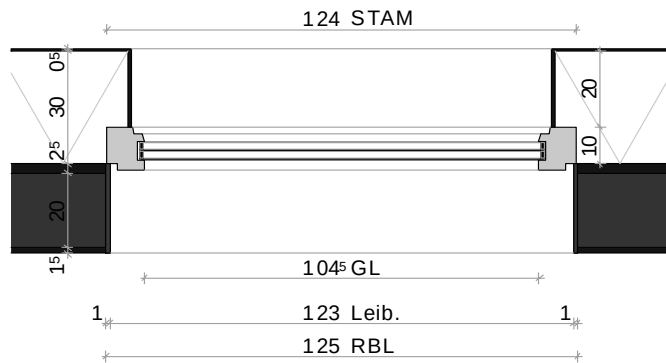


Abb. 56 optimierte Einbausituation mit schlankem Passivhausfenster (z.B. Fa. Sigg)

Um die Einbausituation zu verbessern kann man folgendermaßen verfahren:

Nach Abbruch des Verbundfensters wird der äußere und innere Leibungsverputz abgeschlagen und durch eine zu einem späteren Zeitpunkt wieder entfernbare Leibungsbeplankung- z. B. aus Sperrholz ersetzt. Daher kann mit dem Fensterstock näher an die Rohbauöffnung gerückt werden, wodurch das Stockaußenmaß bei gleich bleibender Rohbauöffnung auf 1,24m steigt. Ebenso steigt durch die Optimierung und die schmäleren Profile die Glaslichte auf 1,04m und übersteigt damit die ursprüngliche Lichte.

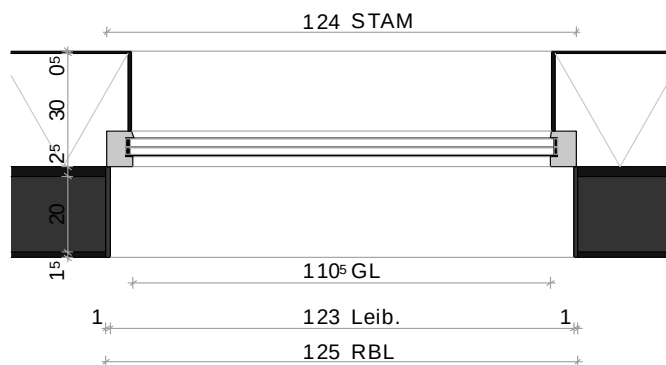


Abb. 57 Einbausituation einer Fixverglasung (z.B. Fa. Sigg) mit einer Ansichtsbreite der Profile von 7cm.

Ein weiterer Vorteil kann durch den Einsatz einer Fixverglasung erzielt werden, wie in Abb. 57 dargestellt. Bei gleicher Einbausituation wie in Abb. 56 erhöht sich durch die schmäleren Profile die Glaslichte weiter, nämlich auf 1,10m. Berücksichtigt man allerdings im Vergleich mit der Ausgangssituation Verbundfenster die gleichzeitige Verringerung des Lichttransmissionsgrades, so ist diese Maßnahme der Vergrößerung noch immer nicht ganz ausreichend, um die Verringerung der Lichtmenge durch die 3fachVerglasung zu kompensieren.

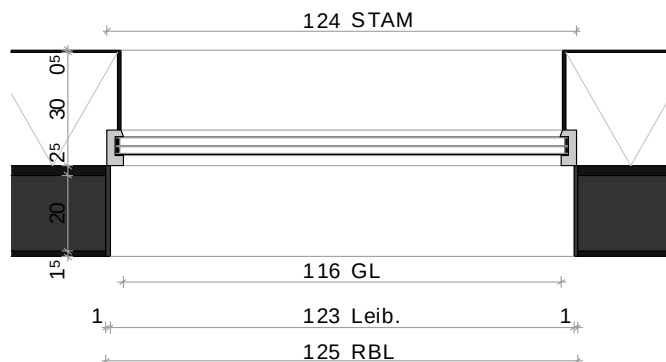


Abb. 58 Einbausituation einer Fixverglasung (z.B. Fa. Sigg) mit einer Ansichtsbreite der Profile von 4cm.

Wird der Profilanteil der Fixverglasung weiter optimiert kann die Glaslichte bis zu 1,16m, bei gleicher Einbausituation, gesteigert werden. Damit würde- unter Berücksichtigung der Lichttransmission in etwa die gleiche Lichtmenge wie vor der Sanierung im Raum ankommen.

Welche Auswirkung die verschiedenen Profilstärken bei gleicher Einbausituation haben zeigt sich in folgender Tabelle.

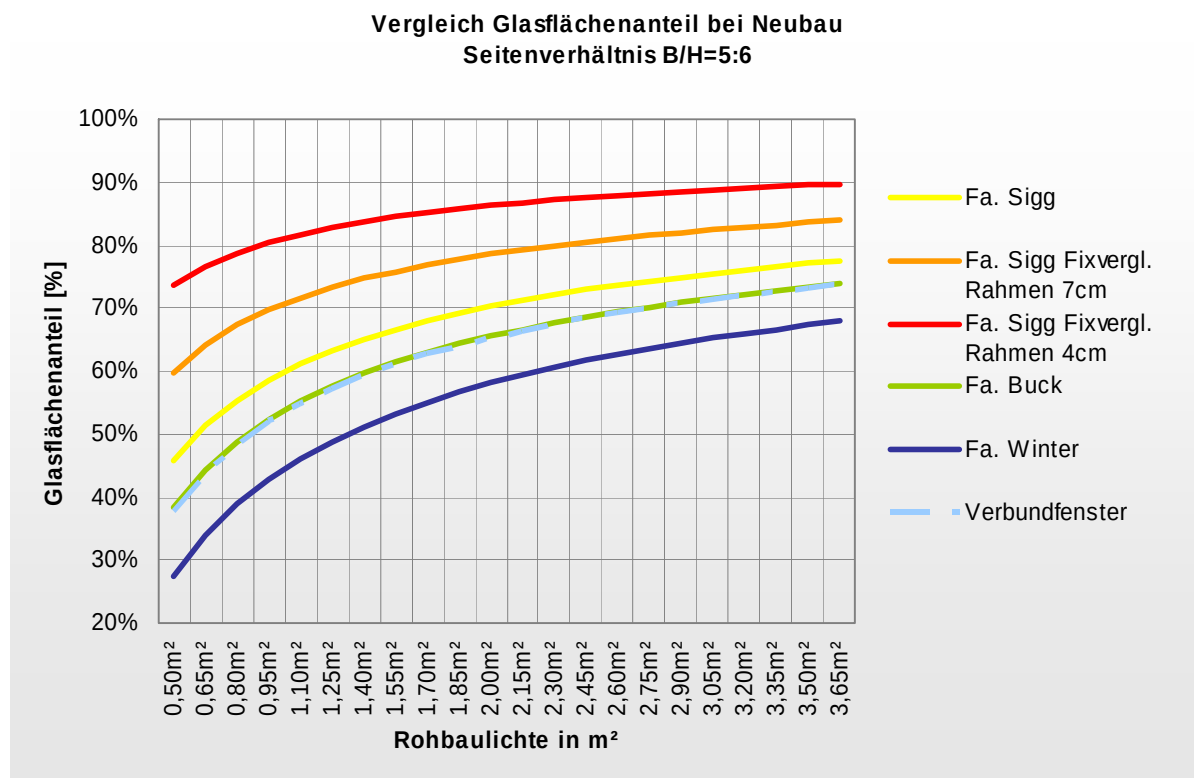


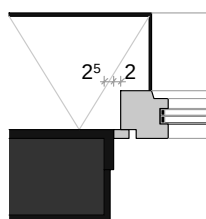
Abb. 59 Vergleich des Glasflächenanteiles bei steigender Fenstergröße

Verglichen werden bei einem Seitenverhältnis von B/H=5:6 Passivhausfenster unterschiedlicher Produzenten. Zu den von den Firmen angegebenen Ansichtsbreiten der Profile wurde je Seite noch jeweils 1cm Einbauluft hinzugerechnet.

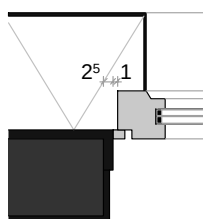
Der Einfluss der Profilstärke zeigt sich deutlich bei sehr kleinen Fensteröffnungen und nimmt mit zunehmender Größe ab.

Welchen Einfluss die Art des Einbaues auf die Glasfläche hat wurde anhand des Passivhausfensters der Fa. Buck untersucht.

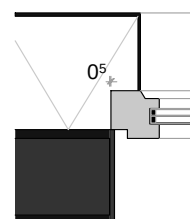
Dabei wurde bei gleich bleibender Rohbaulichte der Abstand der Profile zur Rohbauöffnung wie folgt verändert.



Einbauvariante mit 2,5cm Putz und 2,0cm Einbauluft



Einbauvariante mit 2,5cm Putz und 1,0cm Einbauluft



Einbauvariante mit 0,5cm Einbauluft durch entfernbare Beplankung

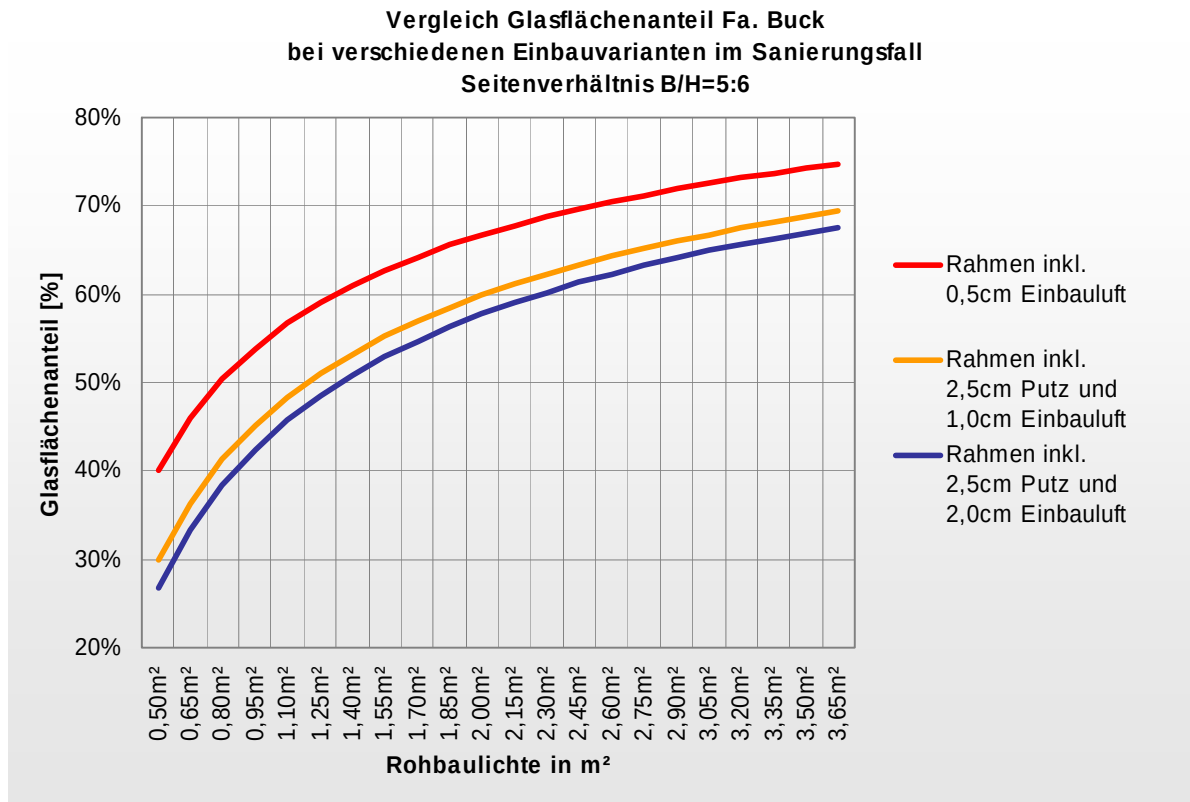


Abb. 60 Vergleich des Glasflächenanteiles bei unterschiedlichem Fenstereinbau

Im Falle einer Sanierung ist es also von Bedeutung die Einbauluft so gering wie möglich auszuführen da bei gleichen Profilen eine Differenz je nach Fenstergröße zwischen 33% und 10% entsteht.

4.4.2.2. Bewertung der Ergebnisse:

Ziel jeder Verwendung von Fenstern muss es sein, die Scheibengröße so groß wie möglich zu halten. Ziel muss es- jedenfalls in der Sanierung- weiters sein, möglichst schlanke Rahmen zu verwenden und möglichst wenig Platz durch den Einbau der Fenster zu verlieren. Beispiele dafür wurden aufgezeigt. Das Abschlagen des Leibungsverputzes und ersetzen durch eine abnehmbare, hochreflektierende Verkleidung mit minimaler "Einbauluft" des Fensters ist – wenn die Belichtungsverhältnisse vor der Sanierung als ausreichend bis gut einzustufen waren, jedenfalls zu empfehlen.

4.4.3. Messungen zum Fenster, Optimierung der Leibung

Um Konstruktionsunterschiede am Fenster selbst in ihrer Auswirkung auf die Tagesbelichtung untersuchen zu können, wurde eine Messreihe am Modell, Maßstab 1:10 durchgeführt.

Beim Modell selbst handelt es sich um einen einfachen Raum mit den Dimensionen 3 * 4 * 2,5 m (B * T * H) mit weißen Wänden.

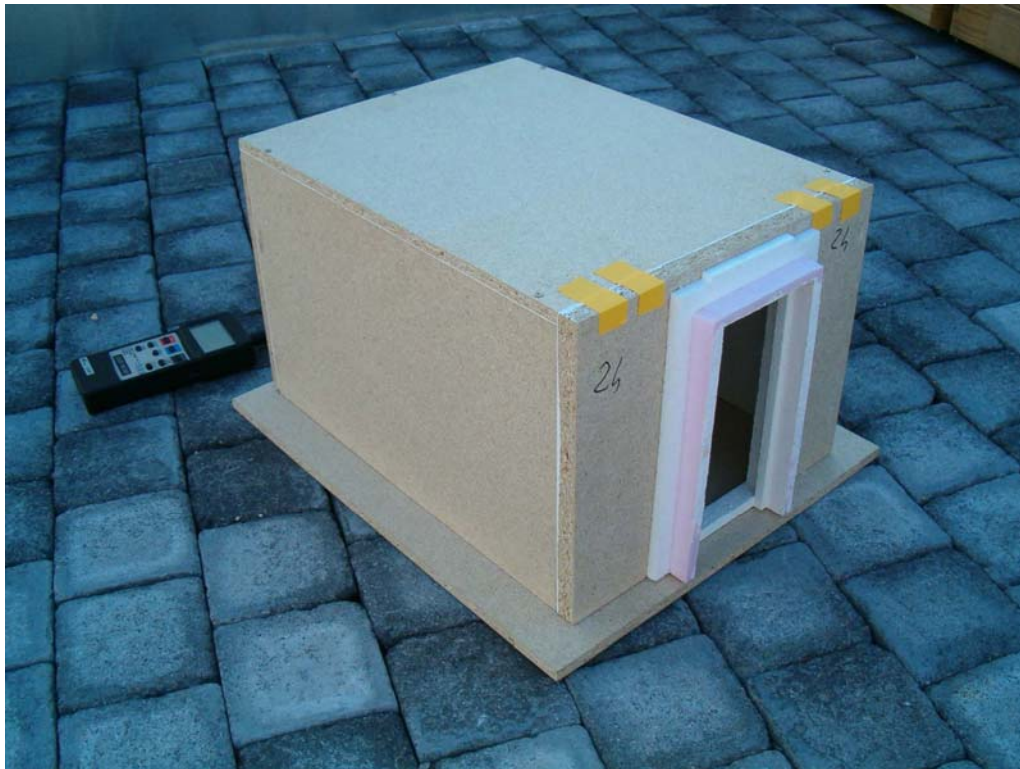


Abb. 61 das Raummodell für die Lichtmessungen

Gemessen wurde in den Ebenen 0,1 m, 0,4 m und 0,85 m mit einem Lutron LX-107 Luxmeter mit der Lichtquellenwahl 1 (= SUN).



Abb. 62 Modell und Luxmeter

Gemessen wurde in zwei Achsen, eine in Raummitte, die zweite 0,3 m vom seitlichen Rand. Dazu kam noch ein Messpunkt in 2 m Raumtiefe in 1 m Seitenabstand, um einen Vergleich mit den TQ-Kriterien herstellen zu können.

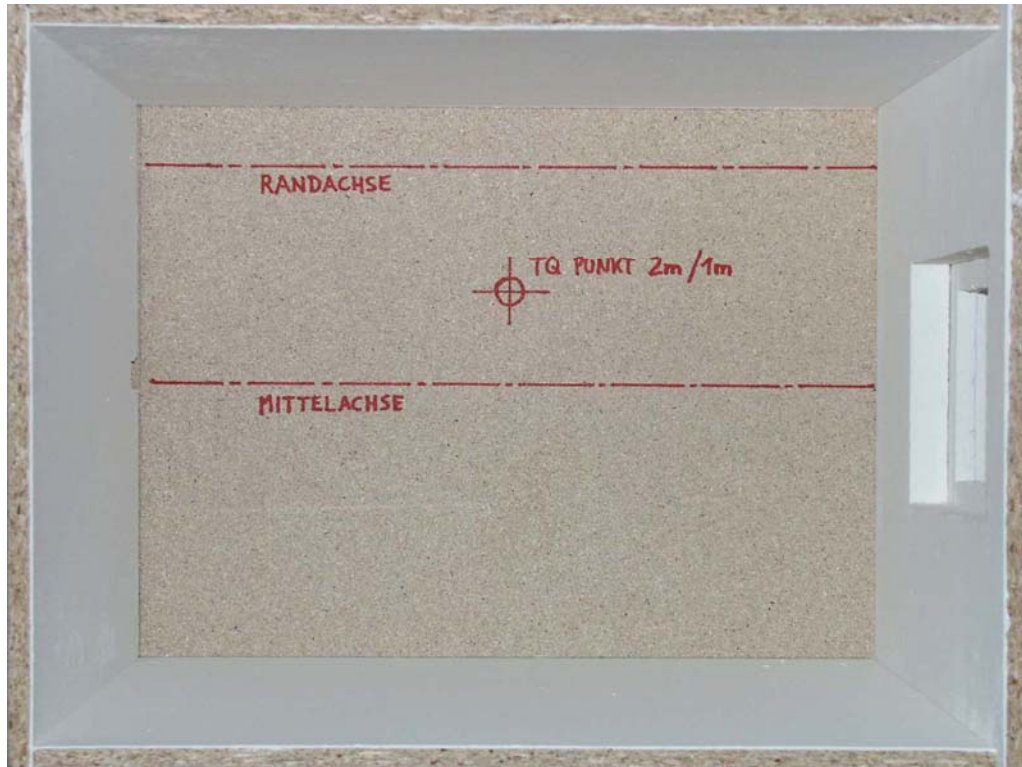
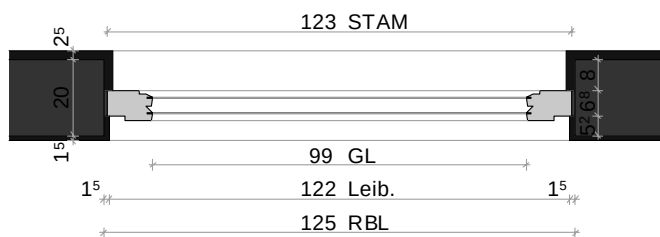


Abb. 63 Lage der Messreihen

Messsituation: Bedeckter natürlicher (nicht CIE) Himmel. Referenzmessungen für die Außenhelligkeit wurden jeweils vor und nach jeder Messreihe (9 Punkte) getätigt, um so Schwankungen der Außenbeleuchtungsstärke feststellen zu können, um gegebenenfalls die Messung zu wiederholen.

Gegenstand der Messung waren 10 leicht unterschiedliche Fensteraufbauten. (siehe pos – Zeichnungen Fenster Typ 1, Typ 2a, 3.0 und 4.b) auf den drei verschiedenen Messebenen.

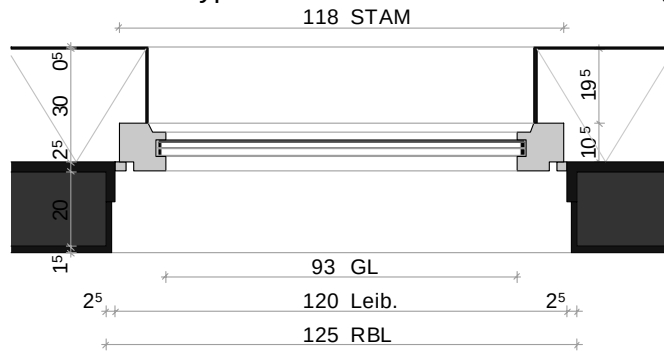
Ausgangspunkt war unser „Normverbundfenster“, Typ 1 laut Zeichnung mit den STAM 1,23 *1,48 m (B*H). Fensterposition mittig an Fassade, 0,85 m Parapethöhe und 0,15 m Sturz.



1.0 Verbundfenster

Abb. 64 Modellmessung, Fenster Typ 1

Die weiteren Typen waren in der selben Lichte eingebaut (Ausnahme Typ 2h, siehe unten).



2.a Normlösung

Abb. 65 Modellmessung, Fenster Typ 2 a

Typ 2.a laut Zeichnung.

Typ 2.c laut nachfolgender Zeichnung

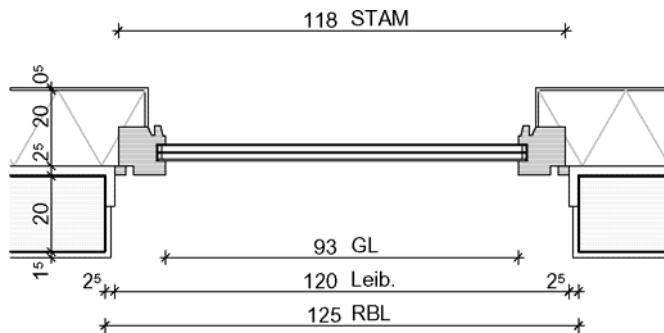


Abb. 66 Modellmessung, Fenster Typ 2 c

Typ 2.d, wie 2.a, jedoch Stock nicht überdämmt.

Typ 2.e, wie 2.a, jedoch beidseitig mit Aluminiumreflektorblech verspiegelt.

Typ 2.f, wie 2.a, jedoch mit abgeschrägter Leibung (seitlich).

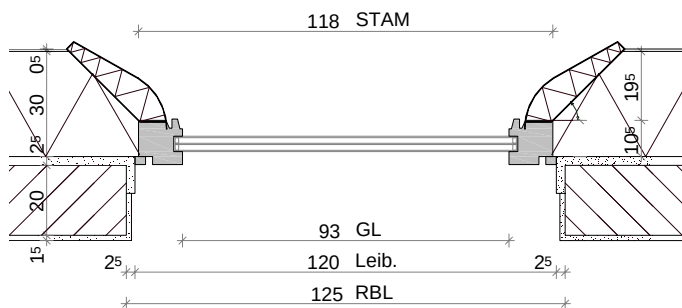
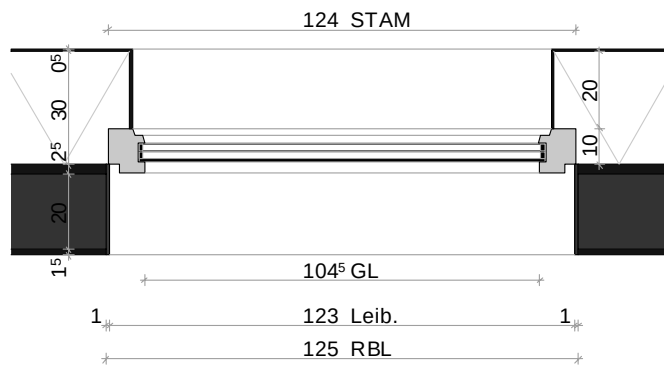


Abb. 67 Modellmessung, Fenster Typ 2 f

Typ 2.g, wie 2.a, jedoch mit abgeschrägter Leibung (oben).

Typ 2.h, wie 2.a, jedoch mit ausgebrochenem Parapet (bis zum Fußboden).

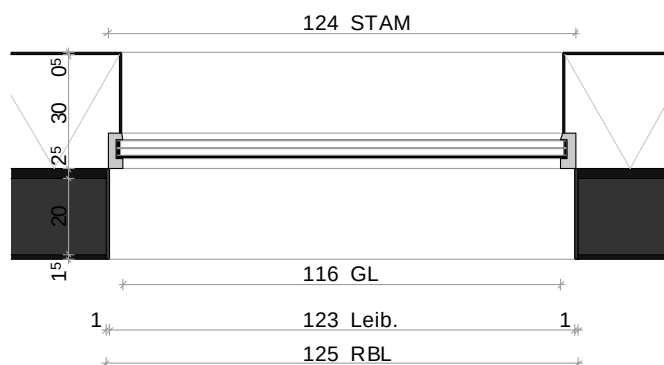


3.0 optimierte Lösung

Profil Fa. Sigg

Abb. 68 Modellmessung, Fenster Typ 3.0

Typ 3.0 laut Zeichnung.



4.b Fixverglasung

Profil Fa. Sigg, Ansichtsbreite 4cm

Abb. 69 Modellmessung, Fenster Typ 4.b

Typ 4.b laut Zeichnung

Es wurde ohne Verglasung gemessen, mit folgenden Werten auf die jeweilige Verglasungsart hochgerechnet:

Glastransmission 0,8 für Zweischeibenverbundfenster (Fenster Typ 1) und 0,69 für Dreischeiben – Passivhausverglasung (alle anderen Fenstertypen).

Verschmutzungsfaktor: 0,9.

Bei den Messungen unter wirklichen Bedingungen wurde festgestellt, dass es zum Teil erhebliche Abweichungen zu den Berechnungen geben kann. Dies resultiert aus dem Umstand, dass der wirkliche Himmel eben anders als der CIE-Normhimmel verschiedene Leuchtdichteverteilungen aufweisen kann.

Die Messungen untereinander sind sehr wohl vergleichbar, da innerhalb eines kurzen Zeitraumes bei fast gleichbleibenden Bedingungen gemessen wurde. Interessant ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass die "wirklichen" Werte immer höher als die berechneten liegen.

Um herauszufinden wie die Berechnungen von den Messungen abweichen, wurde für das Fenster Typ 2.a die Messung unter künstlichen Bedingungen im Büro für eine Leuchtdichteverteilung 3:1 (entspricht dem CIE-Normhimmel) wiederholt.

Bei diesen Messungen lagen die Werte deutlich nahe bei den durch SUPERLITE errechneten Tageslichtverläufen.

Im Folgenden sind die Ergebnisse in der Übersicht, jeweils für eine Messebene, zusammengefasst. Für die bessere Lesbarkeit der Grafiken wurden die Kurven geglättet. Die Ränder (0,5 m) des Raumes wurden abgeschnitten, da diese zumeist nicht nutzbar sind (Möblierung bzw. zu wenig Distanz zu Wänden). Für den Vergleich der verschiedenen Fenstertypen und Messebenen wurden nur die Messungen entlang der Raumachse herangezogen, da bei den Messungen am Rand die Unterschiede viel geringer, aber mit gleichen Tendenzen ausgeprägt sind.

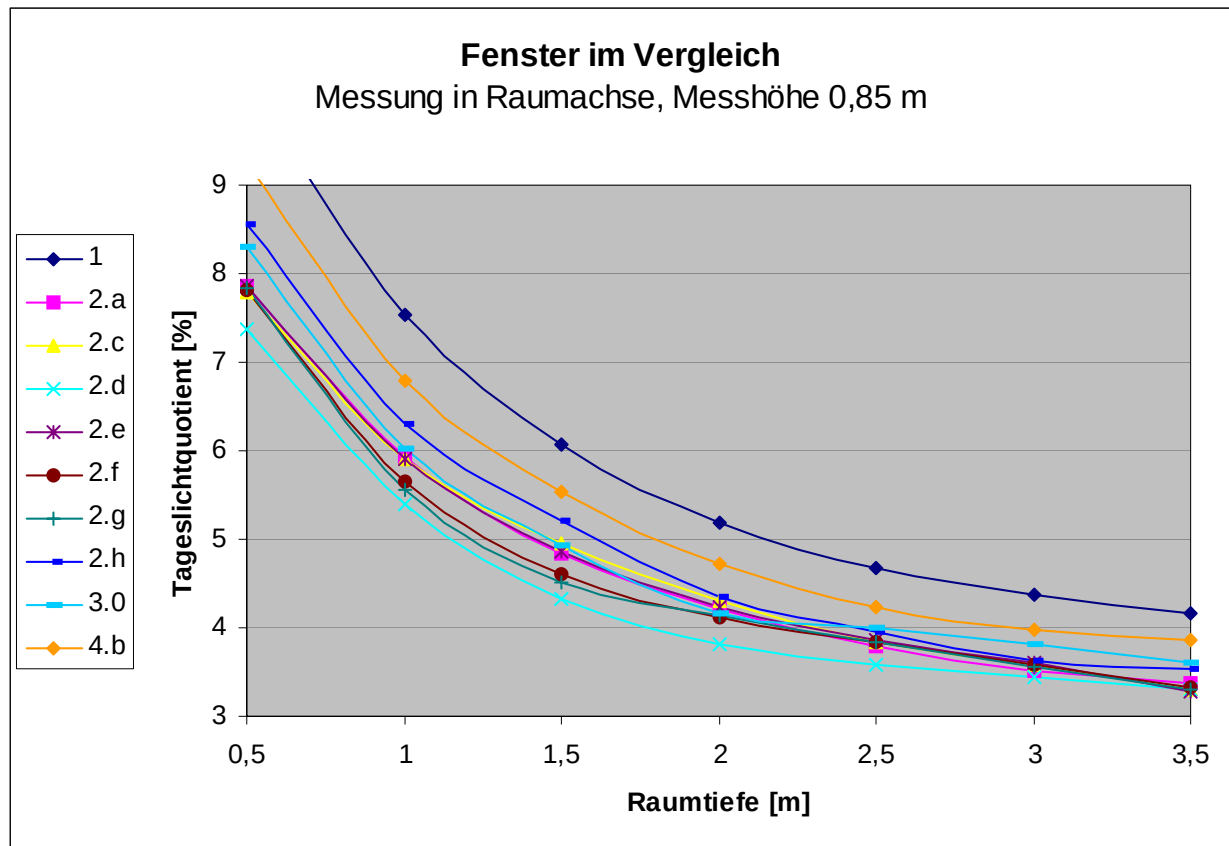


Abb. 70 die gemessenen Fenster im Vergleich, Messhöhe 0,85 m

Die Messhöhe 0,85 m entspricht der Standardmesshöhe laut TQ-Tool ebenso wie der Standardbewertungsebene für Arbeitsplatzbeleuchtung nach EN 12464-1.

Die Unterschiede zwischen den Varianten 2a, 2c, 2d und 2e sind offenbar zu klein, um in der Messung verlässlich erkennbar zu sein.

Man kann aber klar sehen, dass das alte Fenster mit nur zwei Scheiben belichtungstechnisch den Dreischiebenvarianten überlegen bleibt. Fenster 4b mit Fixverglasung könnte theoretisch annähernd die Originalwerte erreichen, dies ist aber nur in der Theorie oder bei größeren Verglasungen möglich, wo ein Teil durch eine dermaßen knapp dimensionierte Fixverglasung ersetzt werden kann.

Nächstes Fenster, nach Tageslichtmenge gereiht, ist Typ 2h mit ausgebrochenem Parapet. Das ist durch eine größere Lichtmenge in tieferen Messebenen und deren Indirektanteil über Bodenreflexionen zu erklären.

Überraschenderweise sind Varianten mit abgeschrägter Leibung oder rückgesetzter Leibung wie z.B. 2d, 2f oder 2g tendenziell schlechter, möglicherweise durch verringerte Reflexionen im Leibungsbereich.

Es scheint, als wäre eine Überdämmung des Stockes in Kombination mit einer weißen (gut reflektierenden) Leibungsfläche nach den Varianten mit Vergrößerung der Glasfläche die beste Option.

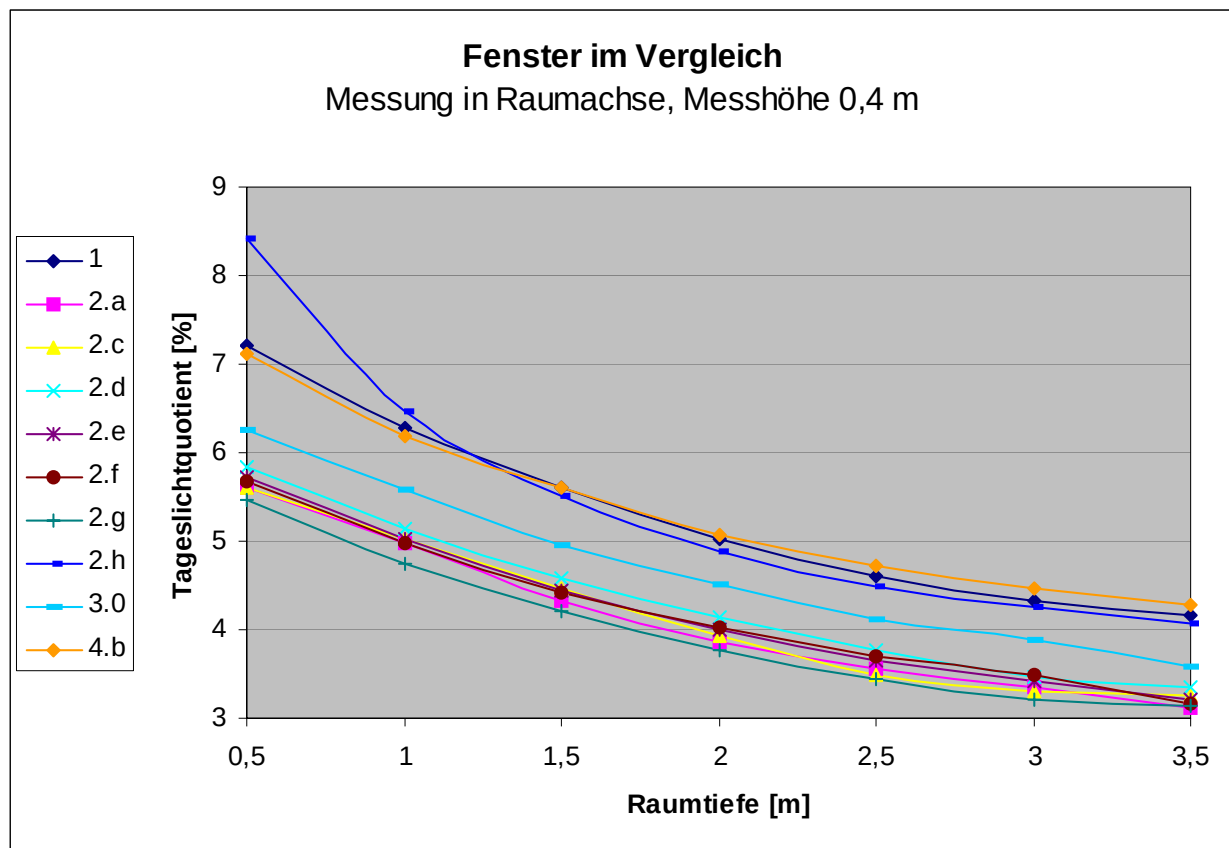


Abb. 71 die gemessenen Fenster im Vergleich, Messhöhe 0,4 m

Die Messhöhe 0,4 m ist für einen Wohnraum in den meisten Fällen relevanter, da es sich ja hierbei nicht um einen Arbeitsplatz handelt. Durch das Fenster eintretendes Licht fällt meist ungehindert auf den Boden, bzw. auf Möbel die eher im Höhenbereich von 0,4 m liegen (Stühle, Hocker, Pflanzen, Tischchen etc.).

In dieser Messebene kann man schon besser erkennen, dass jede Vergrößerung der Glaslichte eine Erhöhung des Tageslichtanteiles bewirkt (Siehe Typ 2h, 4b oder 3).

Hier schneiden auch die Varianten mit Leibungsrücksetzung (2d) und Leibungsabschrägung geringfügig besser ab. – In dieser Messebene kommt dem Direktanteil offenbar mehr Bedeutung zu.

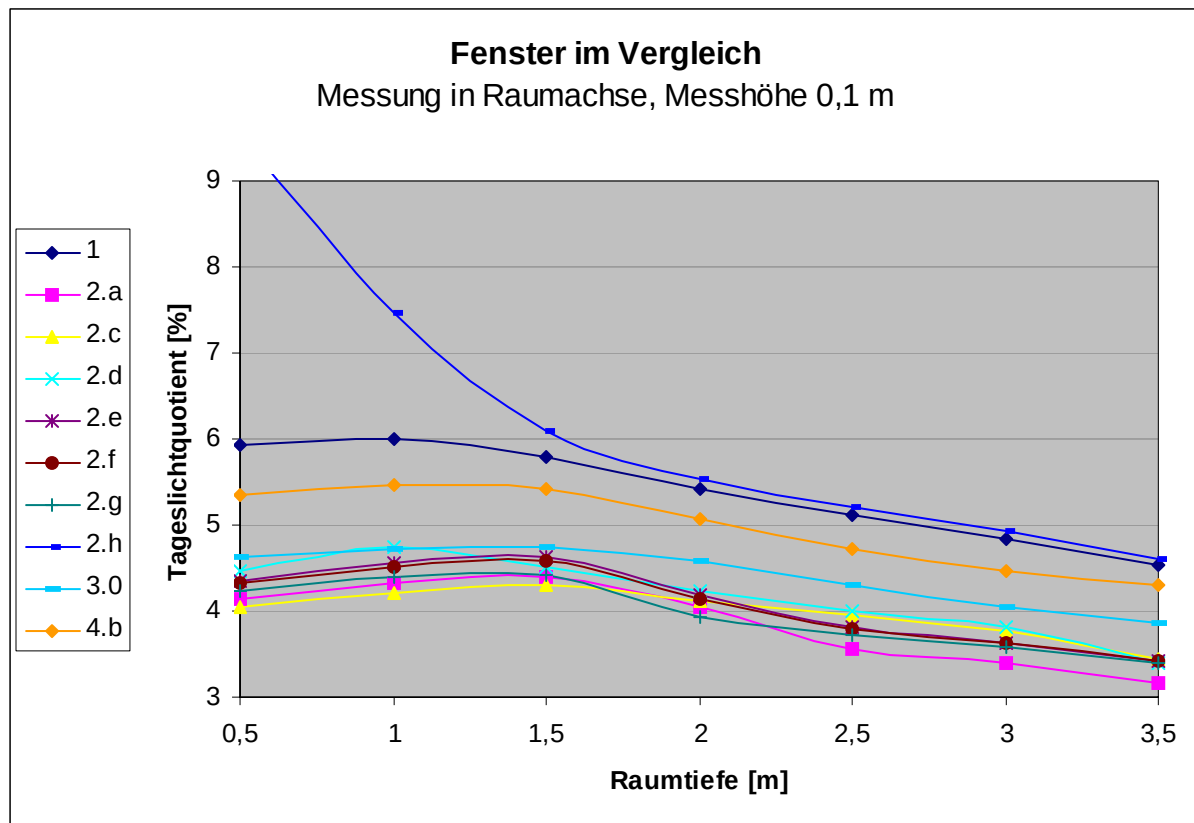


Abb. 72 die gemessenen Fenster im Vergleich, Messhöhe 0,1 m

Die Messhöhe 0,1 m repräsentiert eigentlich nur den Fußboden, und darauf fallendes Licht. (0,0 m ist aufgrund der Messzellenhöhe technisch nicht erfassbar.)

In diesem Fall können wir die Bedeutung vom Direktanteil (direkt vom Himmel auf die messebene auftreffendes Licht) deutlich erkennen.

Hier kommt deutlich die Variante mit dem ausgebrochenen Parapet (2h) in die Spitzenposition. Hier trifft viel mehr Tageslicht im Fassadenbereich auf den Fußboden, dies erzeugt generell einen helleren Raumeindruck.

Die übrigen Verläufe sind in der Reihenfolge wie bei den Messebenen zuvor. In Fassadennähe finden wir selbstverständlich niedrigere Werte, da auf Bodenniveau das Parapet verschattet.

Da man in den meisten Fällen davon ausgehen kann, dass sich Möbel im Raum befinden und dass die meisten der im vordern Raumbereich und nicht an Wänden stehenden Möbel niedriger als 0,85 m sind, schlagen wir für eine Bewertung und den Vergleich von Belichtungsverhältnissen die Ebene 0,4 m vor.

Bei den oben dargestellten Tageslichtverläufen kann man gut die Tendenzen in den verschiedenen Messebenen erkennen. Prinzipiell gilt: je tiefer die Messebene desto höher die Tageslichtquotienten – vor allem in der Raummitte. Klar kann man auch erkennen, dass bei 0,1 m eine Verschattungswirkung des Parapets in Fensternähe auftritt (Ausnahme Fenstertyp 2.h mit ausgebrochenem Parapet). Gerade noch erkennbar ist dieser Effekt bei 0,4 m Messhöhe.

Im Folgenden ein Vergleich von Standardfenstertypen (Typ 1, 2.a, 2.c, 3.0 und 4.b) auf 0,4 m gemessen.

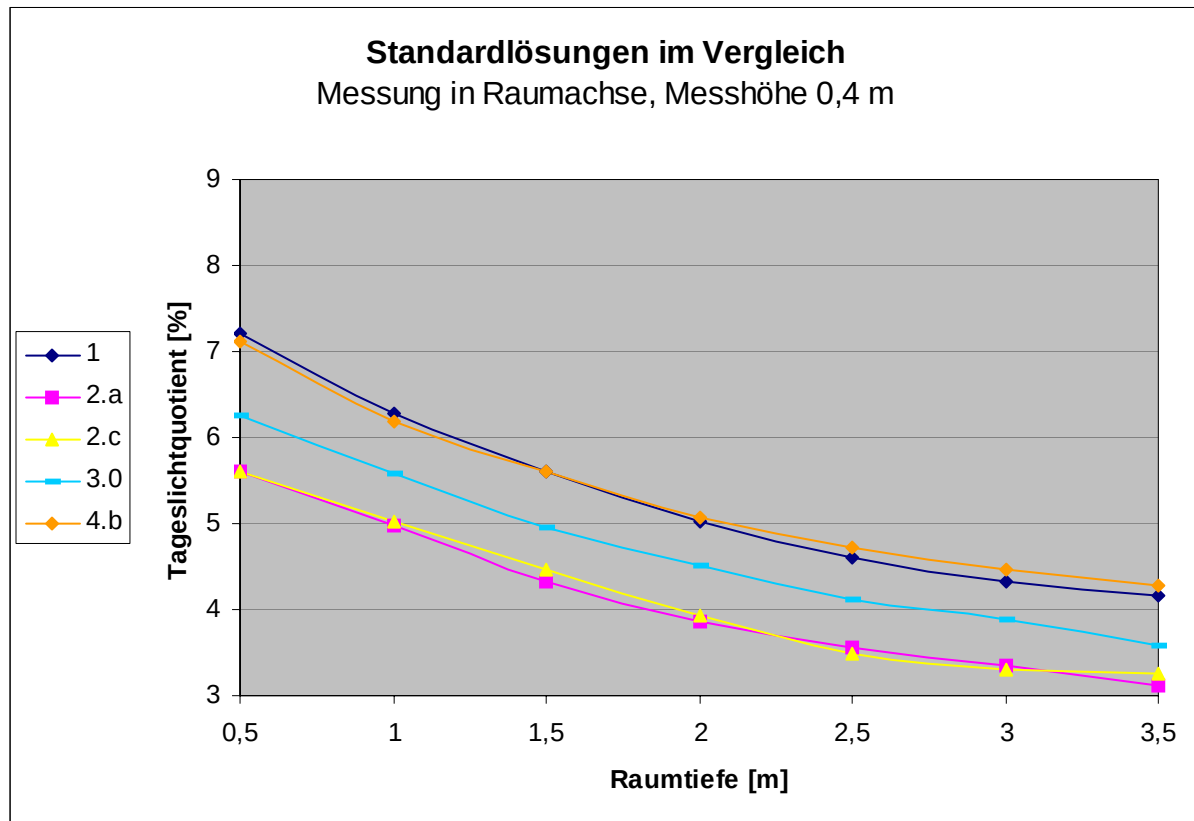


Abb. 73 die gemessenen Standardlösungen im Vergleich, Messhöhe 0,4 m

Hier kann man gut erkennen, dass das ursprüngliche Verbundfenster mit der Zweifachverglasung die Spitze einnimmt. Das ist nicht verwunderlich, da in allen anderen Varianten die Transmission der Scheibe durch die dritte Glasschicht erheblich reduziert ist. Das können die neuen Fenster in allen Varianten kaum gutmachen. Gleichwertig kommt nur Typ 4.b davon, die Fixverglasung mit kleinstem Versprossungsanteil (= 0). An zweite Stelle in diesem Ranking gelangt Fenster Typ 3.0 (optimierte Lösung Fa. Sigg), während an letzter Stelle die Normlösung mit 30 bzw. 20 cm Außendämmung zu finden ist. Ein unterschiedliches Verhalten im Hinblick auf die Tagesbelichtung ist offensichtlich kaum messbar. Geringe Abweichungen in den Kurven können auf anders verteilte Direkt- bzw. Indirektanteile des einfallenden Lichtes zurückgeführt werden.

Im Folgenden ein Vergleich der von der Standardlösung 2.a abgeleiteten Fenstervarianten:

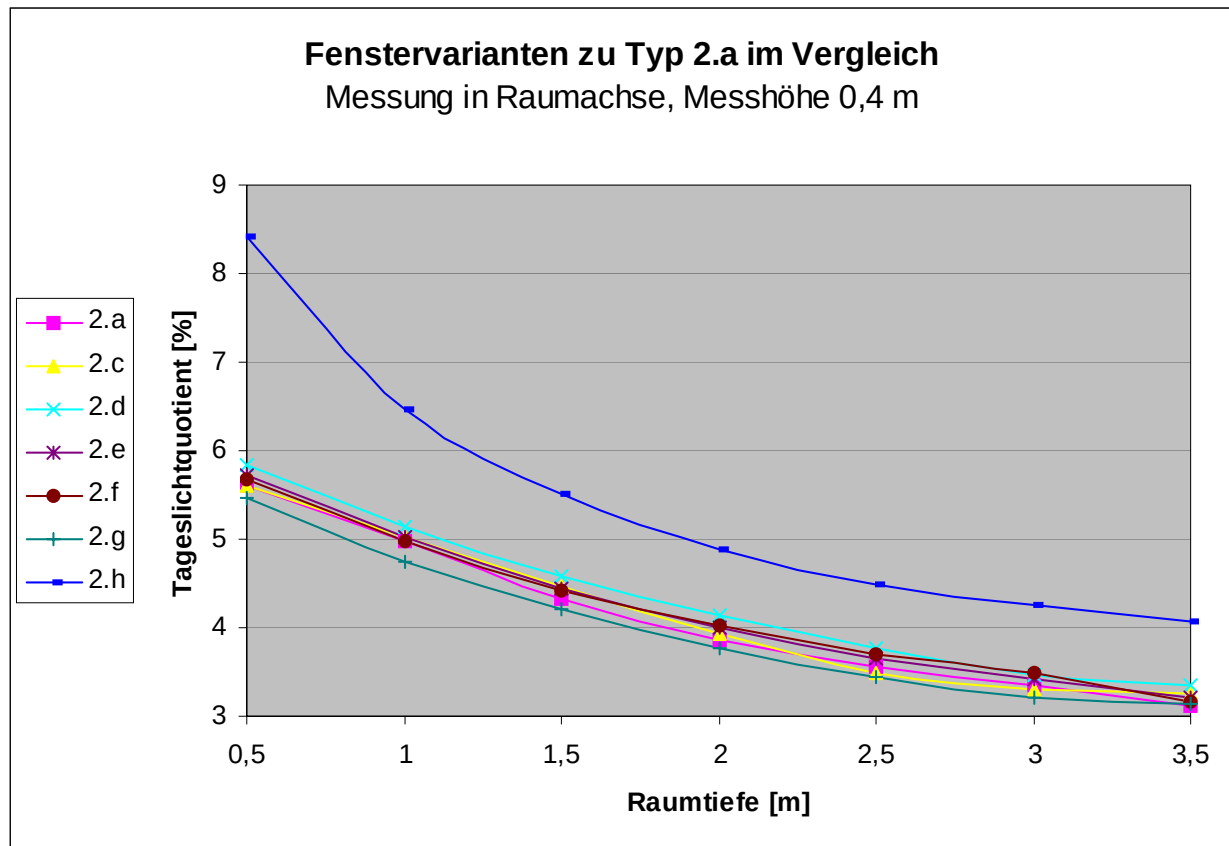


Abb. 74 die von der Standardlösung abgeleiteten Fenster im Vergleich, Messhöhe 0,4 m

Hier kann man deutlich sehen, dass die nach unten vergrößerte Fensterfläche tatsächlich mehr Tageslicht in den Raum gelangen lässt – auch in der Raumtiefe, durch Indirektanteile verursacht. Alle anderen Varianten folgen dicht gedrängt. Tendenzen sind zu erkennen, wie zum Beispiel eine leichte Verbesserung der Belichtungssituation bei 2.d durch einen nicht überdämmten Stock. Unterschiede bei den Varianten können auch auf Messtoleranzen zurückzuführen sein.

4.4.3.1. Bewertung der Leibungsvarianten

Prinzipiell ist erkennbar, dass ein höherer Glasanteil eine Steigerung des Tageslichtquotienten bewirkt, sei sie auch noch so klein. Da die verschiedenen Leibungsvarianten nur geringfügige Unterschiede in der gemessenen Tageslichtmenge aufweisen, erscheint es nicht sinnvoll, irgendwelche Lösungen mit erhöhtem technischen Aufwand umzusetzen, wie zum Beispiel eine Abschrägung der Leibung. Einfache Maßnahmen, wie etwa die weiße Färbung von Leibung und anderen Fensterbauteilen und die dadurch erzielten erhöhten Reflexionswerte führen zu kostenneutralen, leichten Verbesserungen.

4.4.4. Detaillierte Simulationen zum Raum, vergleichende Tageslichtbewertung für ein 12m² Zimmer

Den größten Einfluss auf die Tageslichtverhältnisse in einem Raum hat die Größe, Art und Lage der Befensterung.

Um dies genauer zu erläutern und mit Beispielen zu hinterlegen, wurde ein Raum mit einer Größe von 12m² ausgewählt und mehreren vergleichenden Tageslichtsimulationen mit unterschiedlichen Fenstern unterzogen.

Hier sollte sowohl auf den Sanierungsfall eingegangen werden, wo Rohbauöffnung und vor allem der Sturz normalerweise nicht veränderbar sind, als auch generell für den Neubaufall bestimmte Parameter einer näheren Betrachtung und Bewertung unterzogen werden.

4.4.4.1. Grundannahme

Für die Simulationen wurde ein Raum mit folgenden Eigenschaften angenommen:

4.4.4.1.1. Raum

Raumgeometrie Breite 3m, Länge 4m, Raumhöhe 2,5m

Wandstärken Bestand 0,25m

Sanierung / Neubau 0,5m

Fläche 12m²

Reflexionsgrad Decke u. Wandfläche 80% Bodenfläche 35%

Die Annahmen der Reflexionszahlen wurden in Absprache mit Herrn D.I. Pokorny festgelegt.

Eigenschaften der Verglasung

Lichttransmissionsgrad T_L Verglasung Verbundfenster 80%

Verglasung Passivhausfenster 69%

Werte von Fa. Uniglas entsprechend 2-Scheiben- oder 3-Scheibenverglasung.

Reduktionsfaktor durch Verschmutzung allgemein 90%

Der Reduktionsfaktor wurde deshalb mit 90% festgelegt, da die durchschnittliche Verschmutzung mit 95% nach unserer Meinung im Alltag zu gering angenommen ist.

Rahmenanteil

Da im Simulationsprogramm keine geometrische Festlegung des Rahmenanteiles vorgesehen ist wurde der prozentuelle Anteil des Rahmens an der Fensteröffnung in der jeweiligen Variante exakt berechnet und im sog. Reduktionsfaktor durch Versprossung in die Simulation aufgenommen.

4.4.4.1.2. Messpunkte

Berechnet wurde jeweils der Tageslichtquotient TQ in 2 Punkten (mit einem Abstand von 2m von der Fensterwand und 1m von der seitlichen Wand) bezogen auf drei in unterschiedlichen Höhen (+0,85m, +0,4m ±0,0m) angesetzten Bewertungsebenen und der mittlere Tageslichtquotient des ganzen Raumes Dm der jeweiligen Bewertungsebene.

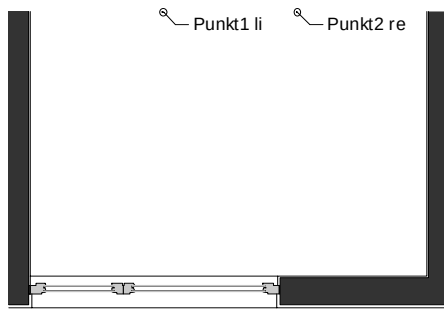
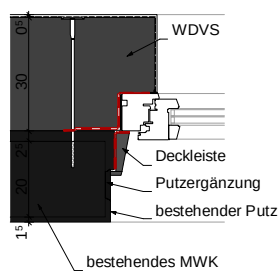


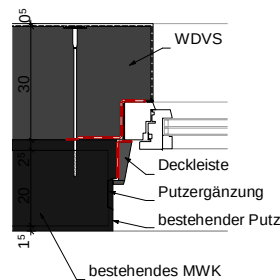
Abb. 75 Ausschnitt des Raumes mit Lage der beiden Messpunkte

4.4.4.1.3. Technische Details der Einbauvarianten

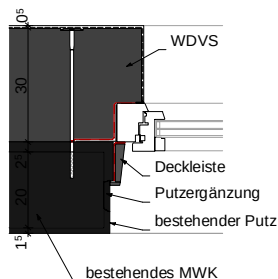
Breites Passivhausfenster mit einer Rahmenansichtsbreite von 154mm und Standardeinbau



Standardpassivhausfenster mit einer Rahmenansichtsbreite von 125mm und Standardeinbau



Standardpassivhausfenster mit einer Rahmenansichtsbreite von 125mm und verbessertem Standardeinbau



Schlankes Passivhausfenster mit einer Rahmenansichtsbreite von 91mm und optimiertem Einbau

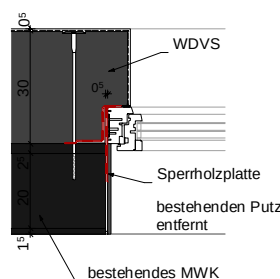


Abb. 76 Detailausbildung der einzelnen Profil und Einbauvarianten

4.4.4.2. Darstellung der Ergebnisse

alle simulierten Räume wurden in folgender Weise dargestellt:

Da der Raum immer der Gleiche ist, erübrigt sich seine Darstellung. Abgebildet wird jedes Mal die Fensterwand von außen mit Architekturlichte und Glaslichte und der Angabe der Raumkanten als strichlierte Linien, daneben eine Tabelle mit den wichtigsten Kennwerten.

Darunter befinden sich 3 Darstellungen des Raumes in sogenannter Falschfarbendarstellung: nicht realistisch abgebildet sondern in Farben von rot bis hellblau, die den Beleuchtungsstärken zugeordnet sind.

Die Grenzen zwischen den einzelnen Farben wurden folgendermaßen gewählt:

50 lux	Grenze für Mindestbeleuchtung auf Gangflächen
150 lux	Schwellwert für ausreichende Tagelichtversorgung
300 lux	guter Tageslichtwert
500 lux	auf Arbeitsplätzen geforderte Beleuchtungsstärke
über 1000 lux	sehr hell

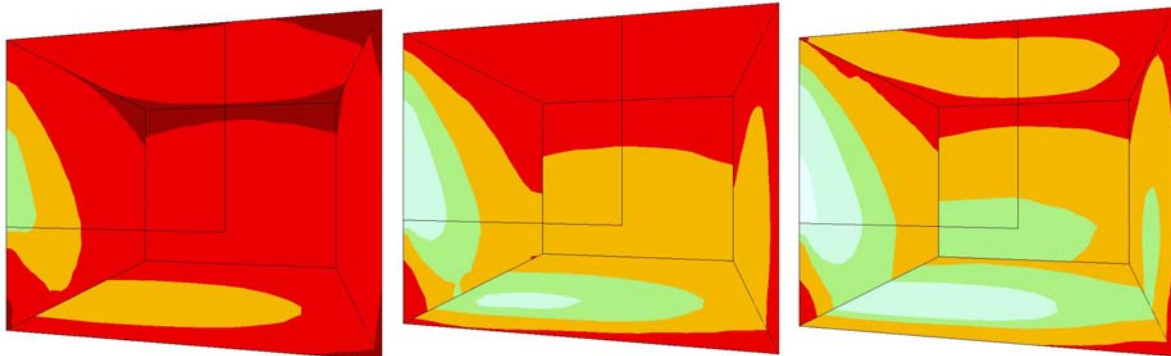
Die Darstellung ist ein perspektivisches Rendering, von der Fensterseite aus in den Raum geschaut, die beiden anderen Darstellungen stellen die Beleuchtungsstärken auf den Messebenen 0,0= Fußbodenniveau und 0,4= Höhe einer Sitzbank dar.

Wichtig zu beachten ist folgendes:

1. die Falschfarbendarstellungen geben die Lichtverhältnisse im Raum an einem bestimmten Tag des Jahres, zu einer bestimmten Uhrzeit mit bedecktem Himmel wieder. (21.3, 12:00) siehe 5.4.3.1.1
2. die Ergebnisse der Simulationen dienen hauptsächlich zum Vergleich der Varianten untereinander. Wie weit die errechneten TQs und Beleuchtungsstärken auch Messungen in der Realität entsprechen würden, darüber lässt sich keine gesicherte Aussage machen. Wie in Kap. 4.4.1 dargestellt, gibt es erhebliche Abweichungen zwischen Simulation und durchgeführten Messungen in der Realität. Sicher ist jedenfalls, dass die Messungen deutlich bessere Ergebnisse liefern als die Simulation und zwar im Bereich einer Verdopplung der Werte. Die Simulation liegt damit jedenfalls "auf der sicheren Seite".

4.4.4.2.1. Belichtungsstärke in Abhängigkeit der Jahreszeit

Wie schon im vorigen Kapitel dargestellt gibt das Falschfarbenrendering nur einen Momentzustand des Raumes wieder, und zwar die Beleuchtungsstärken im Raum am 21.3. um 12h bei bedecktem Himmel und einer Außenbeleuchtungsstärke von 14200 lx. Um einen Eindruck zu geben, wie weit sich die Beleuchtungsstärke im Laufe des Jahres bei bedecktem Himmel verändert, wurden hier auch zwei weitere Tage abgebildet.



Betrachtung am 21.12.

Betrachtung am 21.3.

Betrachtung am 21.6.

	Betrachtung am 21.12.			Betrachtung am 21.3.			Betrachtung am 21.6.		
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00	0,85	0,40	0,00	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,60	2,30	2,13	2,50	2,30	2,12	2,50	2,30	2,12
TQ Punkt1 li [%]	1,90	2,42	2,68	1,90	2,45	2,62	1,90	2,45	2,66
TQ Punkt2 re [%]	1,70	2,11	2,28	1,60	2,07	2,24	1,60	2,05	2,30
Em [lx]	176	159	147	361	326	301	484	437	403
E Punkt1 li [lx]	131	167	184	271	347	371	367	465	505
E Punkt2 re [lx]	114	146	157	233	293	318	313	390	436
Außenbeleuchtungsstärke [lx]	6890			14200			19000		

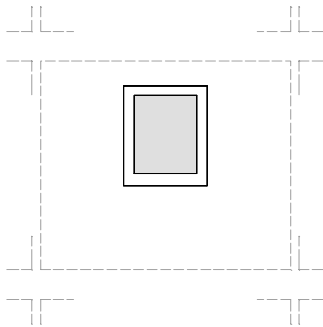
4.4.4.3. Fenster lt. BO f. Wien (minimale Fenstergröße)

4.4.4.3.1. Normalfall

In dieser Variante wird ein Isolierglasfenster mit 2fachWärmeschutzverglasung nach dem derzeitigen Stand der Technik eingesetzt mit den Abmessungen B/H=1,0m/1,2m, dass den in der Bauordnung für Wien vorgeschriebenen und in der Architekturlichte gemessenen 10% der Bodenfläche entspricht. Die Wandstärke wurde mit 30 cm angenommen (20cm Beton, 10 cm Wärmedämmung)

Es wird deutlich, dass die vorgeschriebene Mindestfenstergröße sogar für eine ausreichende Tageslichtversorgung zu gering ist. Durch die geringe resultierende Verglasungsfläche nimmt bei dieser Variante der mittlere Tageslichtquotient am Boden sogar wieder ab.

Standardfenster BO f. Wien

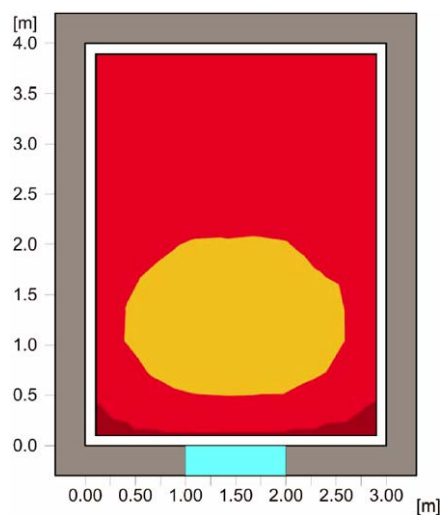
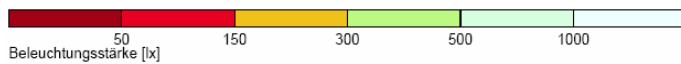
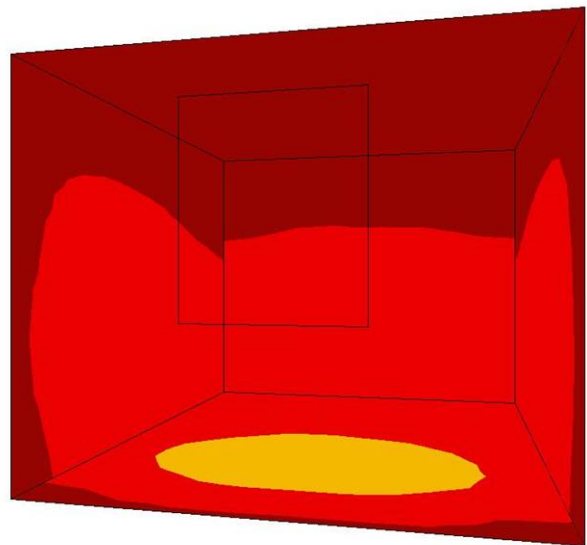


Glasfläche 0,7m²
 Reduktionsfaktor 58%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,03	0,94	0,87
TQ Punkt1 li [%]	0,72	0,95	1,09
TQ Punkt2 re [%]	0,72	0,97	1,09

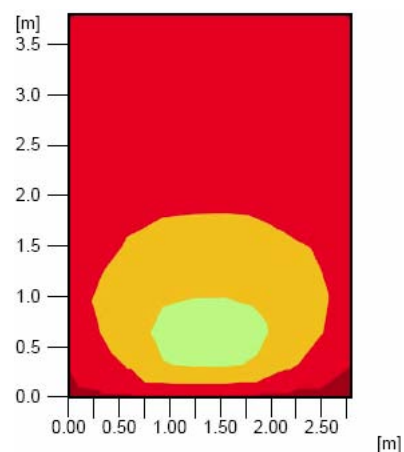
Falschfarbendarstellung

Variante Isolierglasfenster BO f. Wien



Grundriss Bewertungsebene +0,0m

Raumansicht von Außen

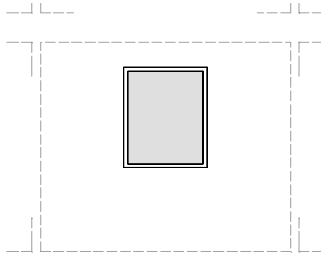


Grundriss Bewertungsebene +0,4m

4.4.4.3.2. Passivhausfenster mit Stocküberdämmung

Statt des normalen Fensters wird nun ein Standardpassivhausfenster mit Stocküberdämmung eingesetzt. Da in der Bauordnung für Wien die ausreichende Belichtung eines Raumes nach der Architekturlichte (Maß der fertigen Wandöffnung von außen) berechnet wird, muss hier eine größere Rohbauöffnung vorgesehen werden. Diese kompensiert zum Teil den schlechteren Lichttransmissionswert T_L durch eine 3-Scheibenverglasung und die größere Wandstärke durch die höhere Wärmedämmung. Die Gesamtwandstärke beträgt 50cm.

Standardpassivhausfenster BO f. Wien



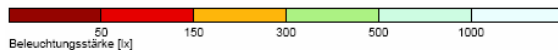
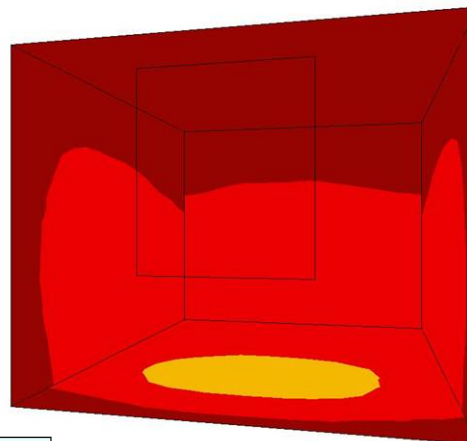
Glasfläche 1,00m²
Reduktionsfaktor 64%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,01	0,92	0,84
TQ Punkt1 li [%]	0,73	0,96	1,08
TQ Punkt2 re [%]	0,72	0,95	1,05

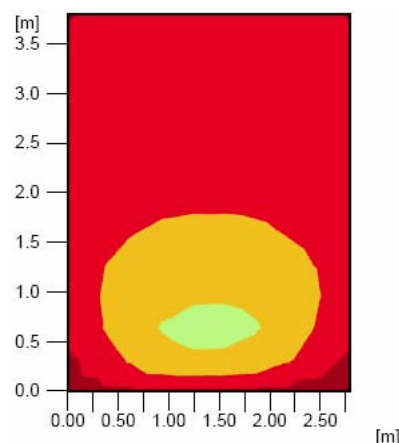
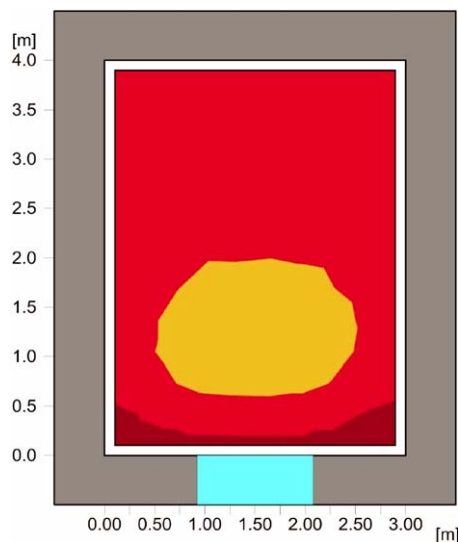
Bewertet man die Qualität der Tageslichtversorgung mit Punkten lt. Total quality, Kap. 4.1.3, können bei beiden Fenstern nach BO Wien nur jeweils -1 Punkt vergeben werden. Die beiden Fenster erreichen dabei nicht einmal die Forderung nach der Mindestqualität.

Falschfarbendarstellung

Var. Standardpassivhausfenster BO f. Wien.



Raumansicht von Außen



4.4.4.4. Varianten des Fenstertausches bei Sanierung zum Passivhaus, unveränderte Rohbauöffnung, Auswirkungen

Werden im Zuge einer Gebäudesanierung die Fenster getauscht haben unterschiedliche Faktoren Einfluss auf die Qualität der Belichtung. Einerseits vergrößert sich die Wandstärke auf Grund der angebrachten Dämmung und andererseits bestimmen die Einbaumethode des Fensters und die Ansichtsbreiten der Profile wie groß die resultierende Verglasungsfläche ist. Durch die durch das bestehende Fenster festgelegte Öffnung im Mauerwerk hat man nicht die Möglichkeit mit Hilfe eine Vergrößerung der Öffnung die schlechteren Werte unterschiedlicher Fensterbauarten zu kompensieren.

Verglichen werden daher in diesem Teil die Auswirkungen von Fensterprofilen, Einbauarten und Fensterarten.

4.4.4.4.1. Verbundfenster Bestand, Größe 25% der Nutzfläche

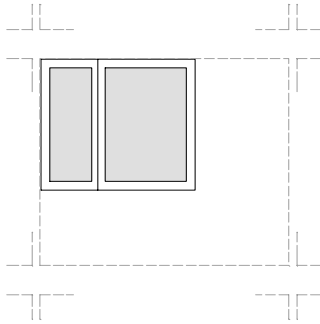
Als Ausgangslage für den Sanierungsfall dient ein Verbundfenster mit zwei öffnenbaren Flügeln und den Abmessungen B/H=1,86m/1,58m. Fenster dieser Art wurden in den 70iger Jahren häufig verwendet, die Rohbauöffnung hat 25% der Nutzfläche des Raumes.

Dieses Verhältnis von Fensterfläche zu Nutzfläche ist in unserer Architektenpraxis bisher ein Maß gewesen, das wir uns bei der Belichtung eines Raumes als Mindestforderung setzten.

Wir wollten hier prüfen, wie weit sich die Belichtungsqualität im Passivhausfall verschlechtert. Die Wandstärke beträgt 0,25m. Bei Betrachtung des mittleren Tageslichtquotienten auf den unterschiedlichen Bewertungsebenen wird die Tendenz deutlich, dass dieser Richtung Boden hin abnimmt.

Der Tageslichtquotient TQ im Punkt1, auf einer Höhe von 0,85m betrachtet, beträgt 2,5%.

Verbundfenster beide Flügel öffnenbar

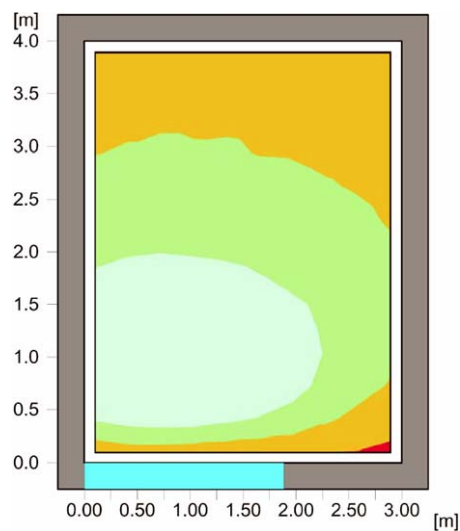
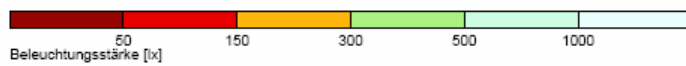
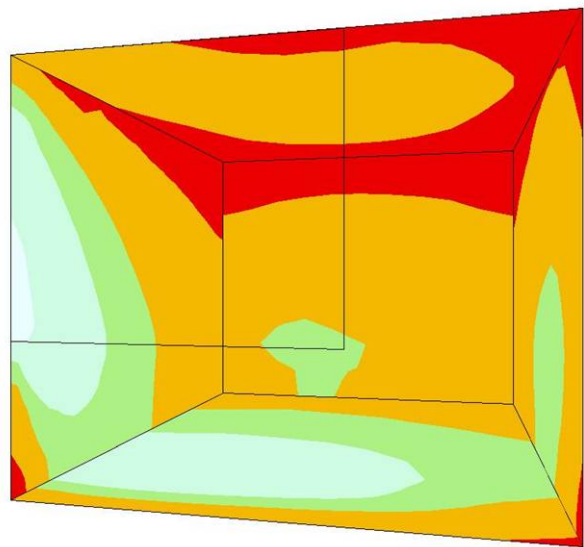


Glasfläche 2,03m²
 Reduktionsfaktor 67%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	3,50	3,16	2,96
TQ Punkt1 li [%]	2,50	3,25	3,45
TQ Punkt2 re [%]	2,20	2,73	2,98

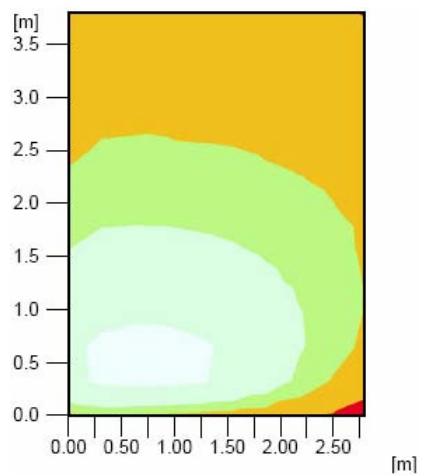
Falschfarbendarstellung

Variante Verbundfenster



Grundriss Bewertungsebene +0,0m

Raumansicht von Außen

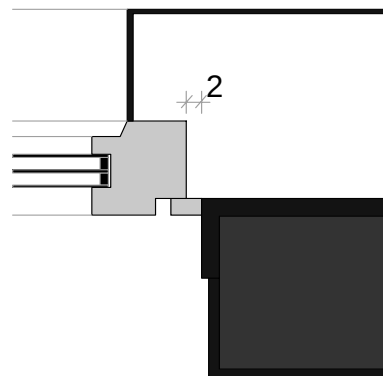


Grundriss Bewertungsebene +0,4m

4.4.4.2. Standardpassivhausfenster, Standardeinbau

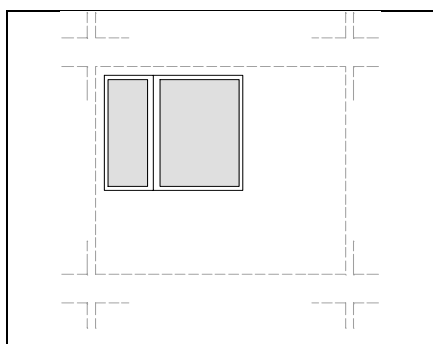
Als erste Variante wird ein Standard Passivhausfenster mit zwei öffenbaren Flügeln eingesetzt, bei dem folgende Annahmen getroffen wurden:

Eine Profilansichtsbreite von 12,5cm, eine Wandstärke nach Dämmung von 0,5m, die Erhaltung des bestehenden Außenputzes in der Laibung (wie dies üblich ist) mit Berücksichtigung einer Einbaudistanz von 2cm, dies ist häufig der Fall, wenn viele gleichartige Fenster kostengünstig getauscht werden. Bei der Naturmaßnahme wird dann zumeist ein Standardmaß für alle Fenster definiert, welches sich dann nach dem kleinsten Naturmaß richten muss.



Im Vergleich mit dem Verbundfenster zeigt sich, dass der auf jeder Bewertungsebene betrachtete mittlere Tageslichtquotient kleiner ist. Das ist zurückzuführen auf die um 0,25m höhere Wandstärke, die von 2,03m² auf 1,84m² reduzierte Glasfläche und den von 80% auf 69% reduzierten Lichttransmissionswert T_L des Glases.

Standard Passivhausfenster beide Flügel öffenbar

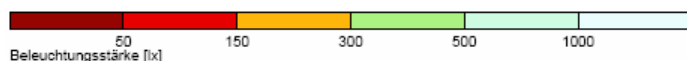
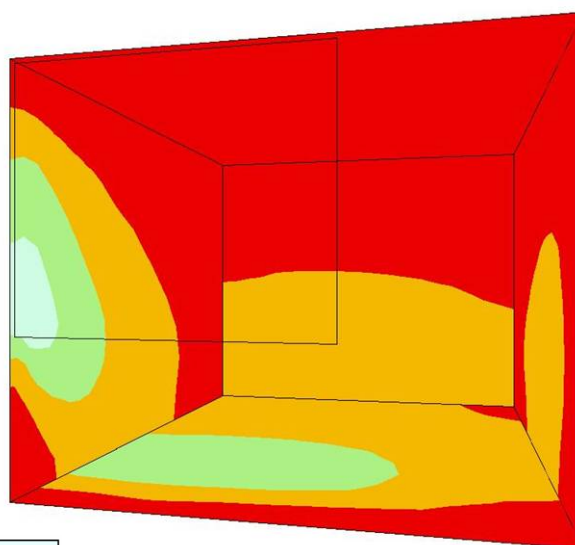


Glasfläche 1,84m²
Reduktionsfaktor 66%

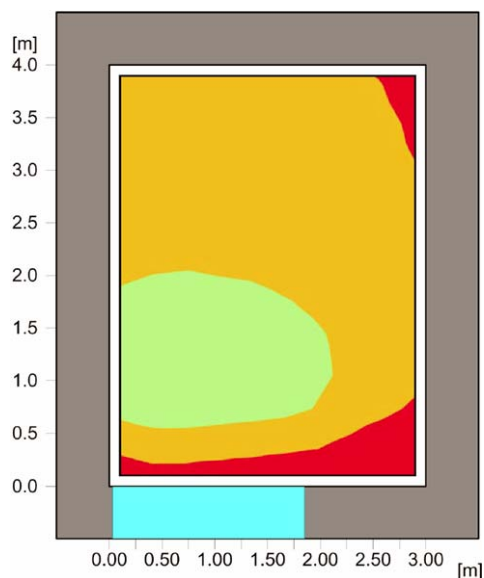
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,01	1,81	1,66
TQ Punkt1 li [%]	1,59	1,94	2,11
TQ Punkt2 re [%]	1,34	1,66	1,83

Falschfarbendarstellung

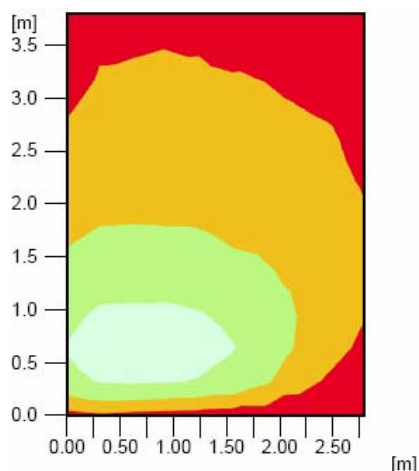
Variante Standard Passivhausfenster beide Flügel öffenbar



Raumansicht von Außen



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



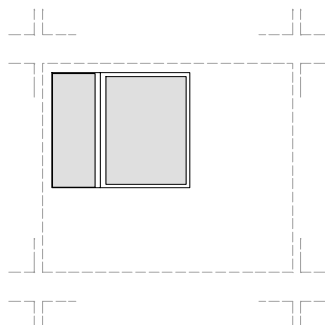
Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Es zeigt sich somit, dass die Belichtungsverhältnisse im Raum verglichen mit der Situation vor der Sanierung deutlich schlechter werden.

4.4.4.4.3. Standardpassivhausfenster, mit Fixteil, Standardeinbau

Als weitere Variante wird ein Standard Passivhausfenster mit einem fix verglasten und einem öffenbaren Flügel eingesetzt, bei dem ansonsten die gleichen Annahmen wie beim oben angeführten Fenster getroffen wurden. Durch die Fixverglasung steigert sich die Glasfläche um ca. 6% von 1,84m² auf 1,95m². Der Tageslichtquotient wird zwar etwas besser, die Steigerung ist allerdings als gering zu bezeichnen.

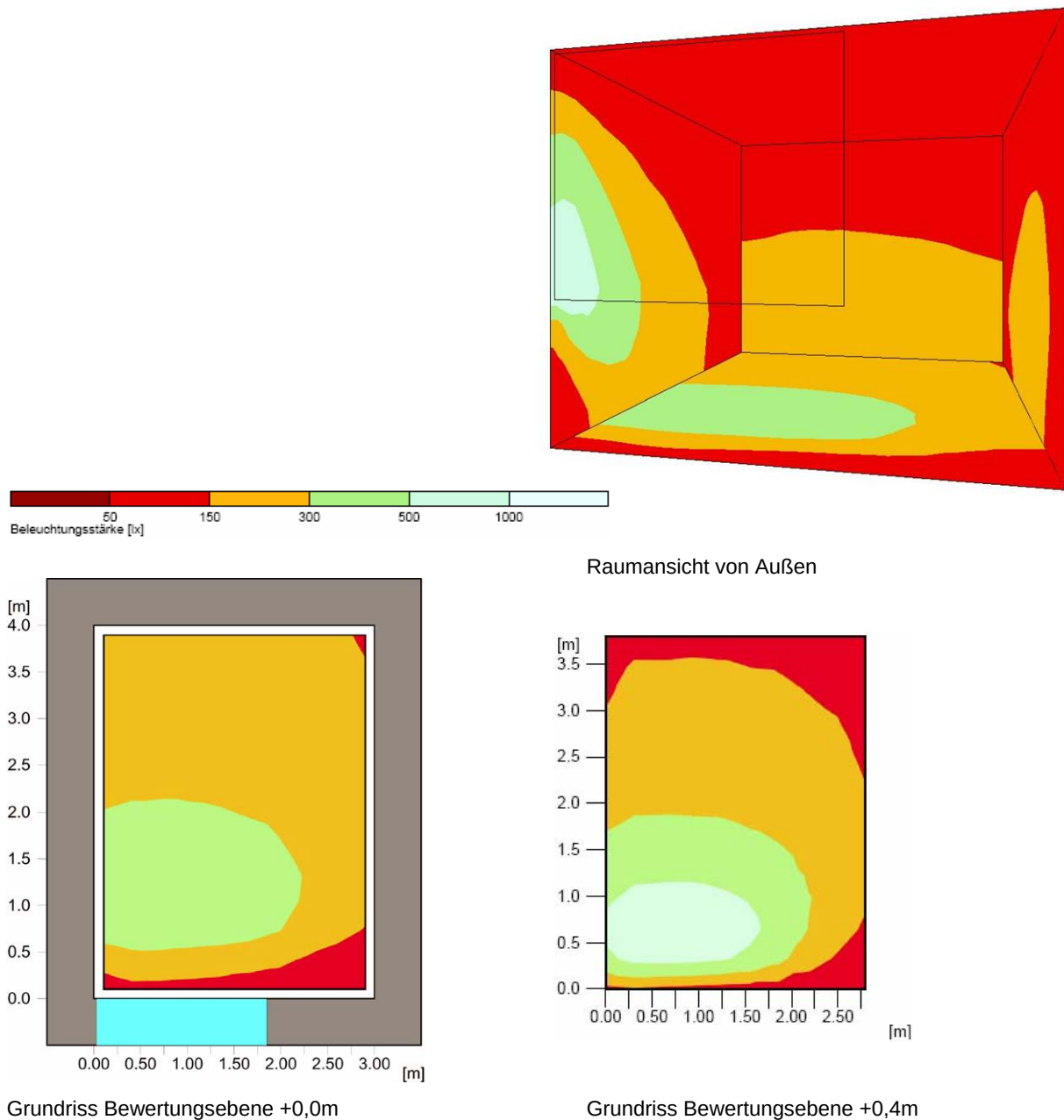
Standard Passivhausfenster 1 Flügel fix / 1 Flügel öffenbar

Falschfarbendarstellung
öffenbar

Glasfläche 1,95m²
Reduktionsfaktor 70%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,13	1,92	1,77
TQ Punkt1 li [%]	1,68	2,05	2,23
TQ Punkt2 re [%]	1,40	1,78	1,96

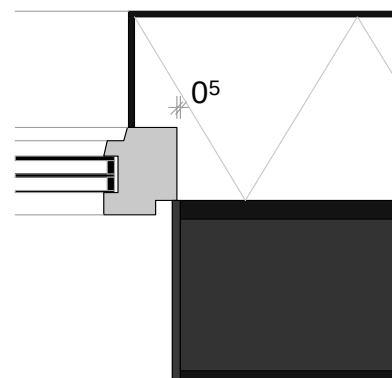
Variante Standard Passivhausfenster 1 Flügel fix / 1 Flügel



4.4.4.4. Schlankes Passivhausfenster, optimierter Einbau, mit Fixteil

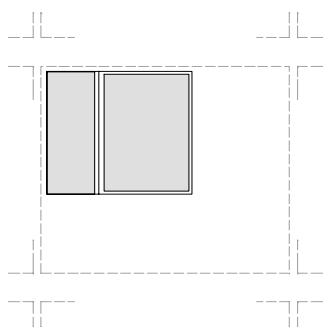
Als letzte Variante in diesem Vergleich wurde ein hinsichtlich seiner Profile optimiertes Passivhausfenster mit einem fix verglastem und einem öffenbaren Flügel eingesetzt, bei dem folgende Annahmen getroffen wurden:

Eine Profilansichtsbreite von 10cm, eine Wandstärke nach Dämmung von 0,5m und das Abschlagen des bestehenden Putzes in der Laibung mit Einbau einer demontierbaren Beplankung wodurch für einen eventuellen nochmaligen Fenstertausch nur eine Einbaudistanz von 0,5cm berücksichtigt werden muss.



Durch den optimierten Einbau und die kleineren Profile konnte die Glasfläche auf 2,31m² gesteigert werden. Das entspricht einer Vergrößerung von ca. 18,5%. Ebenfalls konnte der Tageslichtquotient gesteigert werden, dadurch verbessert sich die Tageslichtversorgung gegenüber den beiden vorigen Varianten, der Zustand vor der Sanierung kann aber lichttechnisch auch mit dieser Variante nicht hergestellt werden. Bei dieser Variante wird zwar mit einem Tageslichtquotient von 1,9% im Punkt 1 auf einer Höhe von 0,85m betrachtet beinahe eine gute Qualität erreicht jedoch ist sie ebenfalls mit 0 Punkten zu bewerten.

Optimiertes Passivhausfenster 1 Flügel fix / 1 Flügel öffnenbar

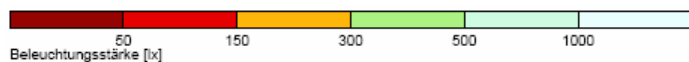
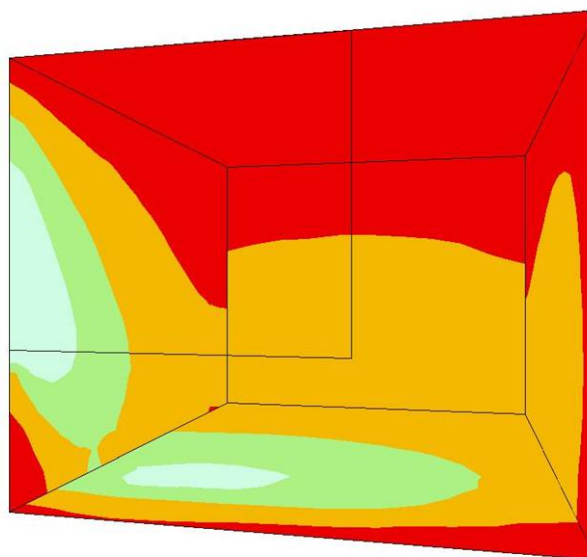


Glasfläche 2,31m²
Reduktionsfaktor 76%

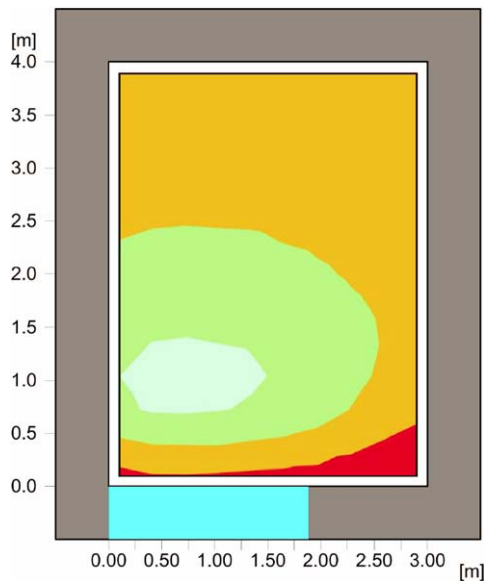
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,50	2,30	2,12
TQ Punkt1 li [%]	1,90	2,45	2,62
TQ Punkt2 re [%]	1,60	2,07	2,24

Falschfarbendarstellung
öffnbar

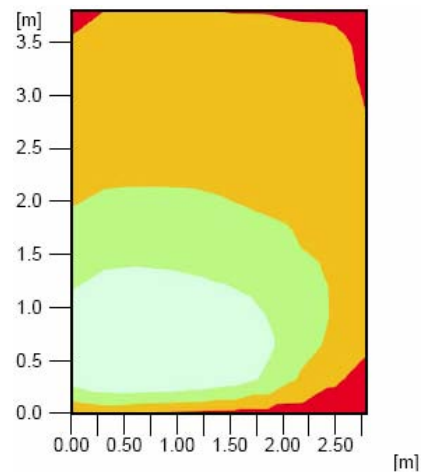
Variante Optimiertes Passivhausfenster 1 Flügel fix / 1 Flügel



Raumansicht von Außen



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

4.4.4.4.5. Ergebnis

Als Gesamtergebnis dieser drei Varianten wird deutlich, dass im Zuge einer Sanierung zum Passivhaus der Fenstertausch zu einer erheblich schlechteren Qualität der Tageslichtversorgung führt. Diese Verschlechterung ist hauptsächlich auf den schlechteren Lichttransmissionswert T_L , gegebenenfalls auf die Verkleinerung der Glaslichte und z.Teil vielleicht auf die dickere Dämmstärke zurückzuführen. Es lässt sich allerdings auch ablesen, dass durch sorgfältige Detailausbildung und die Wahl schlanker Fensterprofile die Verschlechterung in Grenzen gehalten werden kann. Während bei einem Passivhausfenstertausch ohne weitere Optimierung die Tageslichtverhältnisse um knapp 40 % schlechter werden, kann diese Verschlechterung bei sorgfältigster Detailausbildung und ausschöpfen aller Möglichkeiten auf 25% reduziert werden.

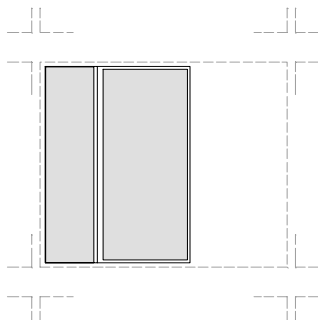
Dies ist allerdings immer noch ein völlig unzureichender Wert, zumal die Befensterung von Gebäuden aus den 50iger bis 80iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts zumeist ausreichend aber nicht großzügig erfolgte.

Dies bedeutet, dass im Sanierungsfall zum Passivhaus die zukünftigen Belichtungsverhältnisse sorgfältig zu prüfen sind und dass die Planer die Wirkung der für sie noch nicht so vertrauten 3fachVerglasung nicht unterschätzen dürfen.

4.4.4.5. Fenstertausch bei Sanierung zum Passivhaus mit Fenstervergrößerung

Da sich in den Varianten in Kap. 4.4.4.4 die Belichtungsqualität vor der Sanierung nachher nicht wieder herstellen lässt, wird hier noch die letzte Maßnahme betrachtet, die man in Betracht ziehen könnte. Als Grundlage diene das optimierte Passivhausfenster wie schon im Punkt 4.4.4.4 beschrieben mit einem fix verglastem und einem öffenbaren Flügel. Bei dieser Variante wird jedoch das Fenster bis zum Fußboden nach unten verlängert, wodurch sich eine Vergrößerung der Glasfläche von 2,31m² auf 3,75m² ergibt. Dies ist deshalb möglich, weil es im Passivhaus keine Heizkörper mehr unter den Fenstern geben muss und daher auch kein Parapet mehr erforderlich ist. Das Ausbrechen des Parapetes ist zwar ein technischer Aufwand, es sind damit jedoch keine statischen Veränderungen gegeben. Der TQ im Punkt1 erreicht auf den Bezugsebenen 0,85 und 0,4 M fast die Werte des alten Verbundfensters, am Boden übertrifft dieses Fenster das alte Fenster. Darüber hinaus erreicht man mit dem sog. "französischen Fenster" natürlich eine hohe Beleuchtungsstärke am Boden im Fensternahen Bereich und dadurch auch entsprechend hohe Reflexionen auf der Decke.

Variante französisches Fenster

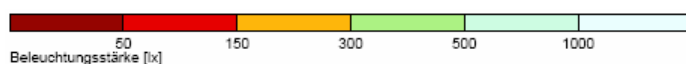
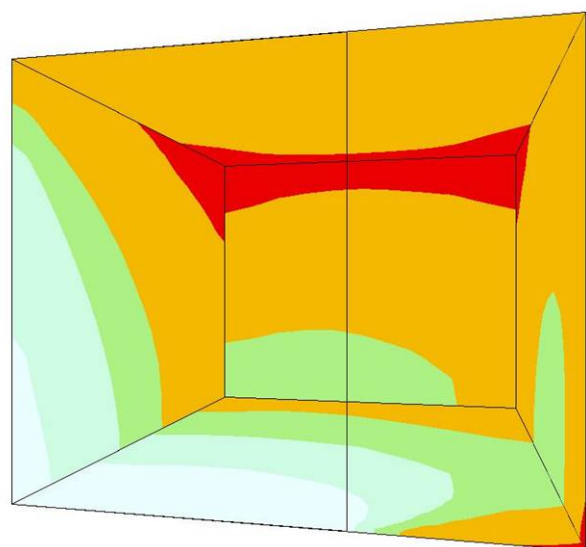


Glasfläche 3,75m²
Reduktionsfaktor 79%

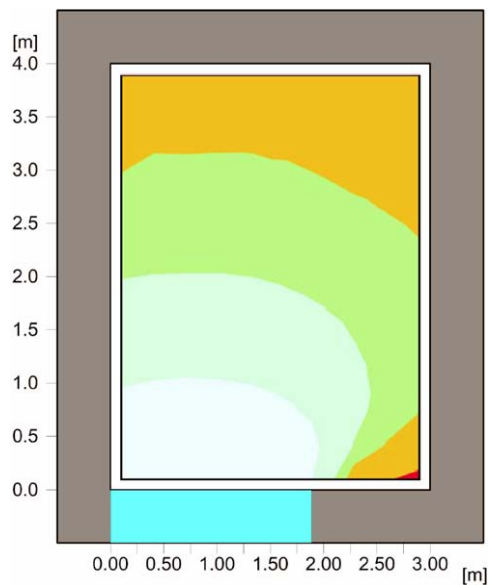
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	3,00	3,50	4,10
TQ Punkt1 li [%]	2,30	2,90	3,60
TQ Punkt2 re [%]	2,00	2,60	3,10

Falschfarbendarstellung

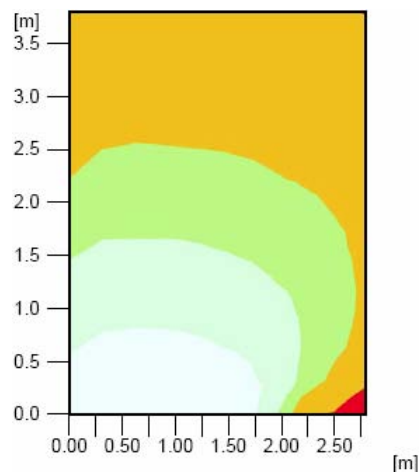
Variante französisches Fenster



Raumansicht von Außen



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



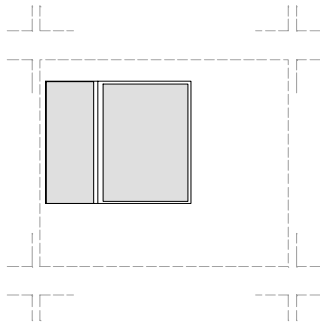
Grundriss Bewertungsebene +0,4m

4.4.4.6. Neubaufall: gleiche Größe, unterschiedliche Lage und Proportion

Verglichen werden die Auswirkungen von unterschiedlichen Einbausituationen. Als Grundlage diente das optimierte Passivhausfenster wie schon im Punkt 4.4.4.4 beschrieben mit einem fix verglastem und einem öffnbaren Flügel. Die Öffnungsgröße wird bei allen Varianten mit $2,61\text{m}^2$, in der Architekturlichte betrachtet, gleich gelassen.

Bei der ersten Variante wurde die Parapethöhe um 20cm reduziert, was zu einer Reduktion des TQ im Punkt1 von 1,90% auf 1,60% führte.

Variante Parapethöhe 20cm tiefer

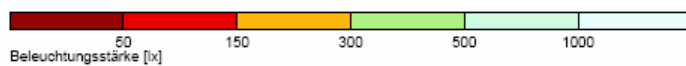
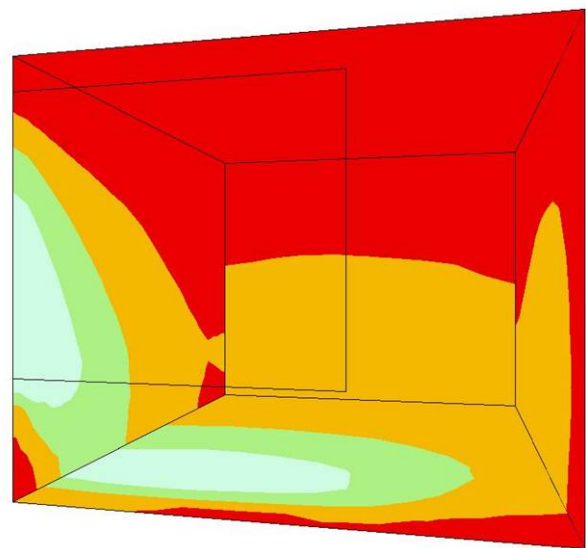


Glasfläche 2,31m²
Reduktionsfaktor 76%

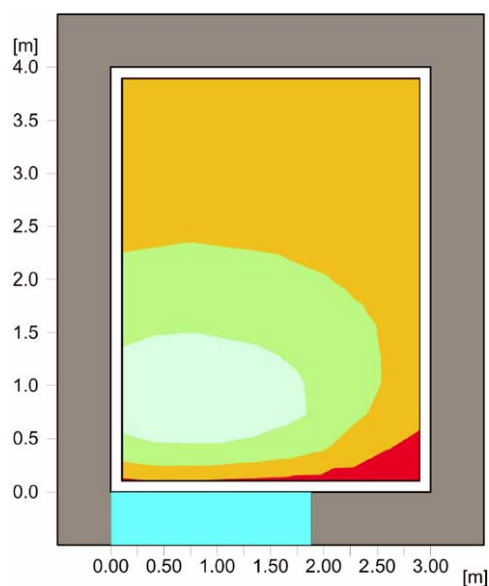
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,20	2,34	2,22
TQ Punkt1 li [%]	1,60	2,14	2,51
TQ Punkt2 re [%]	1,40	1,83	2,18

Falschfarbendarstellung

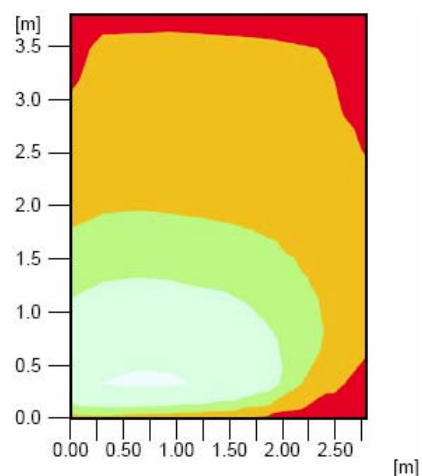
Variante Parapethöhe 20cm tiefer



Raumansicht von Außen



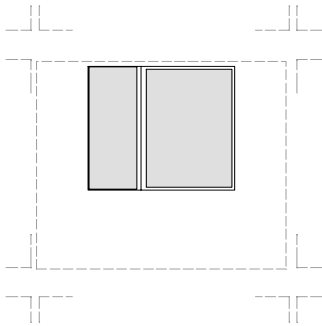
Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Bei dieser Variante wurde das Fenster anstatt der Randlage in die Mitte der Außenwand gesetzt. Diese Maßnahme hat keinen Einfluss auf den TQ im Punkt1.

Variante Fenster mittig eingesetzt

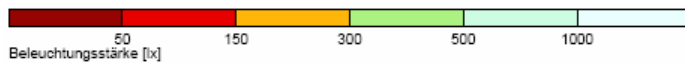
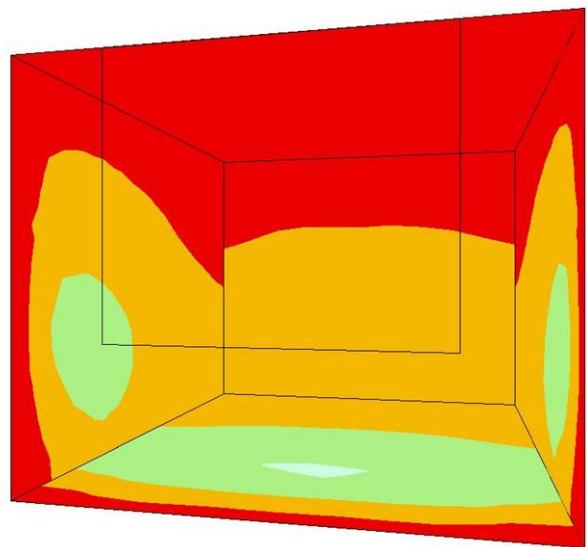


Glasfläche 2,31m²
Reduktionsfaktor 76%

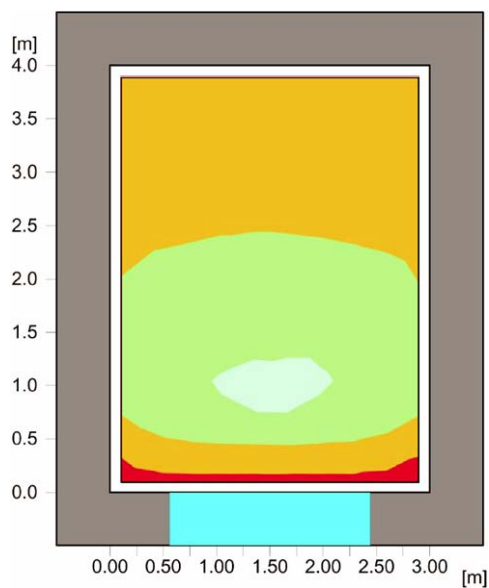
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,70	2,41	2,21
TQ Punkt1 li [%]	1,90	2,37	2,58
TQ Punkt2 re [%]	1,90	2,43	2,59

Falschfarbendarstellung

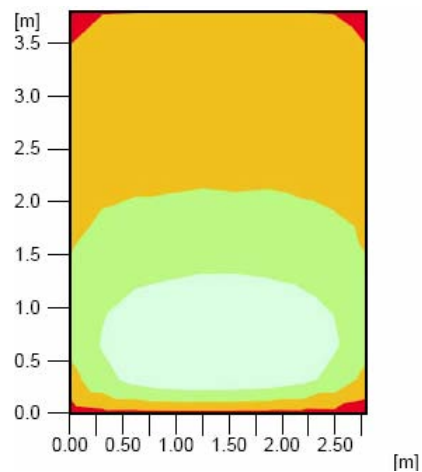
Variante Fenster mittig eingesetzt



Raumansicht von Außen



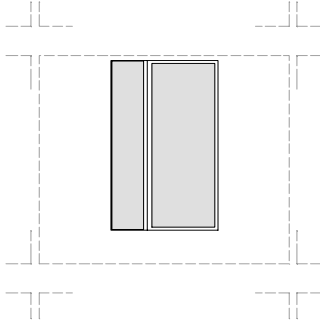
Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Bei dieser Variante wurde anstatt eines Fensters eine Terrassentür eingesetzt. Hier wirkt sich die Lage und Form noch deutlicher aus, wodurch der TQ im Punkt1 von 1,90% auf 1,50% sinkt. Dieses Ergebnis wird auch dadurch beeinflusst, dass das geänderte Fensterformat einen etwas höheren Rahmenanteil nach sich zieht. Die vorgegebene Feldgröße ist für diese Proportion ungünstig.

Variante Fenster als Terrassentür

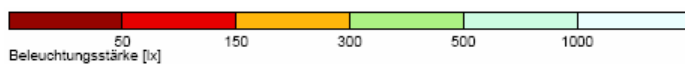
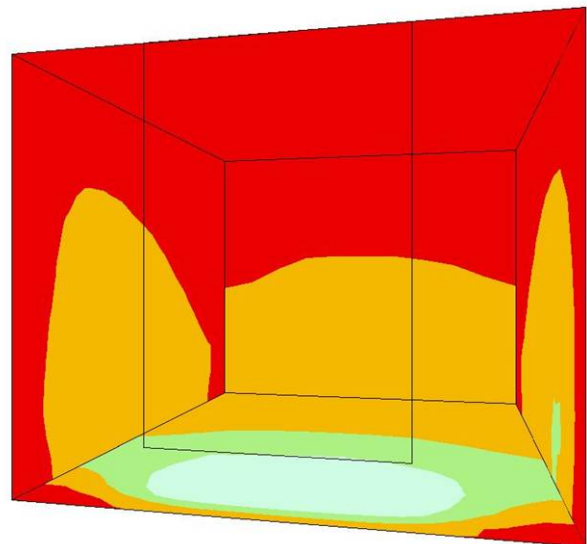


Glasfläche 2,25m²
Reduktionsfaktor 74%

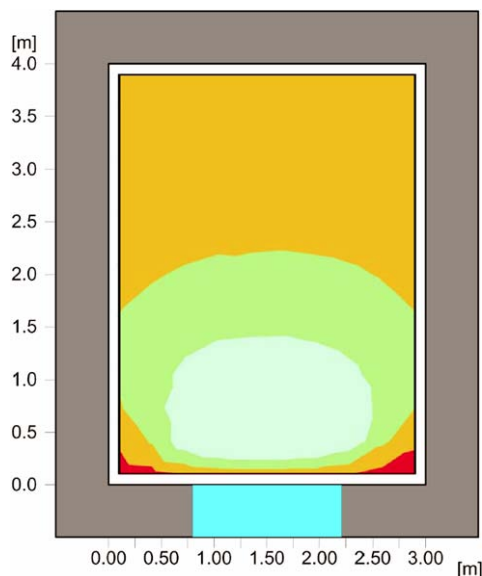
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,00	2,40	2,43
TQ Punkt1 li [%]	1,50	1,90	2,31
TQ Punkt2 re [%]	1,50	2,00	2,37

Falschfarbendarstellung

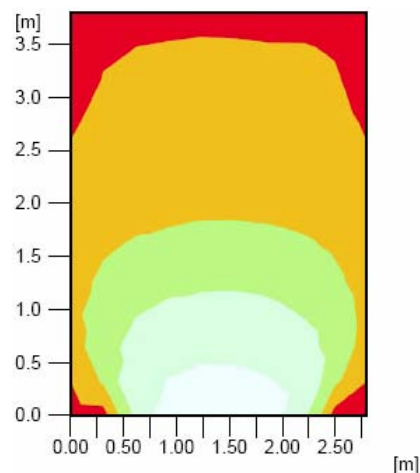
Variante Fenster als Terrassentür



Raumansicht von Außen



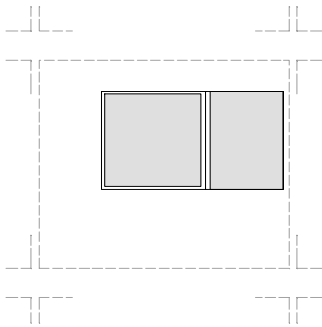
Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Bei der letzten Variante wurde das Fenster in seinen Proportionen etwas niedriger aber dafür breiter, an der anderen Wandseite eingesetzt. Als Ergebnis zeigt sich ein ähnlicher TQ wie bei der Variante mit 20cm tieferer Parapethöhe, allerdings ist hier der Punkt2 maßgeblich.

Variante veränderte Proportion

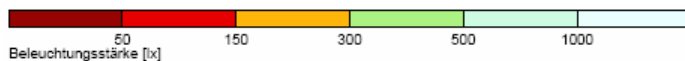
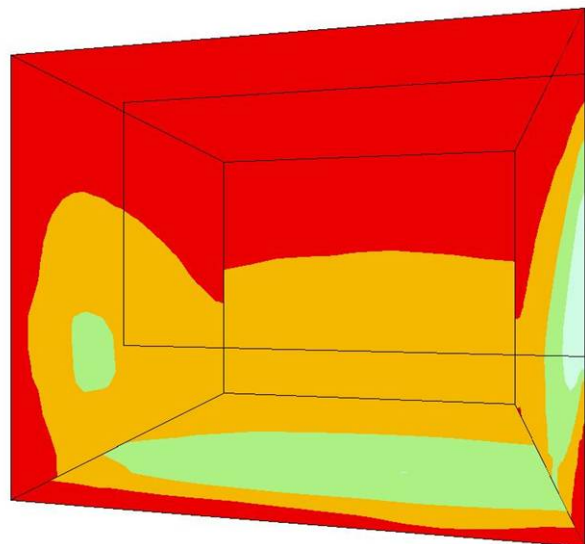


Glasfläche 2,32m²
Reduktionsfaktor 77%

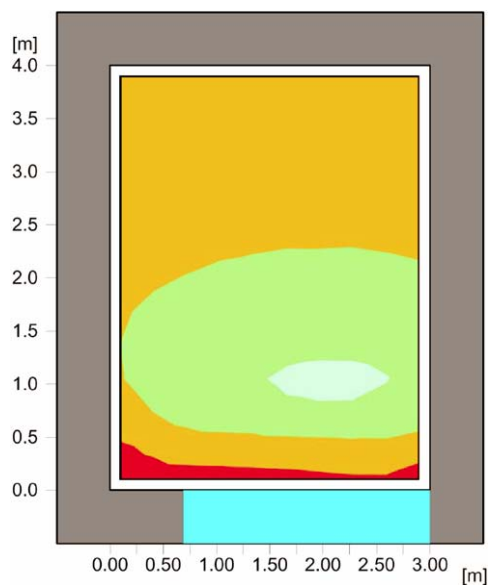
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,50	2,27	2,08
TQ Punkt1 li [%]	1,50	2,04	2,29
TQ Punkt2 re [%]	1,60	2,19	2,51

Falschfarbendarstellung

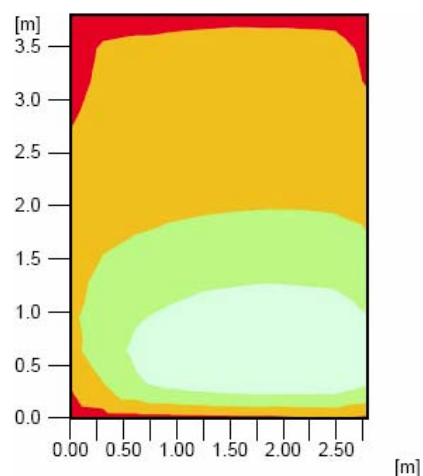
Variante veränderte Proportion



Raumansicht von Außen



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

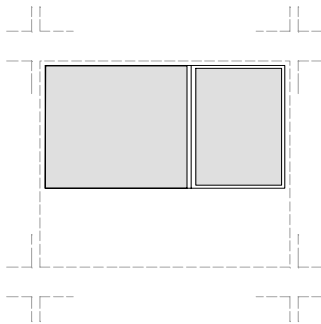
Als Gesamtergebnis dieser Teilstudie zeigt sich der Einfluss der Fensterproportion und Höhenlage des Fensters. Am besten schneidet erwartungsgemäß das mittige, annähernd quadratische Fenster ohne Sturz ab. In der Raumwirkung allerdings könnten noch andere Tatsachen optische Wirkung haben: Wenn das Fenster an eine Seitenwand gerückt wird, entsteht eine deutlich hellere Wandfläche als auf der anderen Seite. Gleichzeitig wird der Blendungseffekt, den es bei einer einseitigen Belichtung wegen des großen Helligkeitsunterschiedes zwischen dem Fenster und der Wand in der es sich befindet immer gibt, etwas gemindert. Außerdem wird die Lichtwirkung im Raum etwas dramatisiert, Helligkeitsunterschiede etwas verstärkt.

Als Architekten bevorzugen wir diese Wirkung gegenüber der ruhigeren aber auch gleichförmigeren symmetrischen Anordnung.

4.4.4.7. Neubaufall: große Fenster

Bei dieser Variante wurde das Fenster bis zur anderen Wand verlängert wodurch sich eine Vergrößerung der Glasfläche auf 3,94m² ergibt. Der TQ im Punkt1 steigt dadurch auf 3,10%. Bei der Betrachtung des mittleren Tageslichtquotienten Dm auf der Bezugsebene ±0,00m gemessen zeigt sich eine Steigerung auf 3,76%.

Variante Fensterband

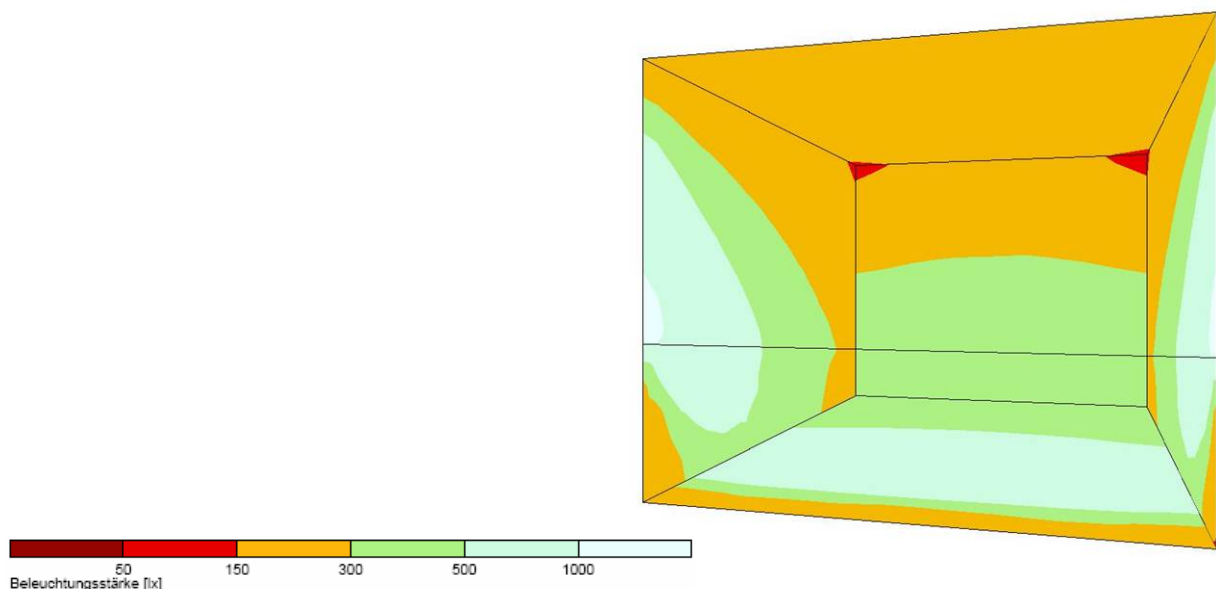


Glasfläche 3,94m²
Reduktionsfaktor 82%

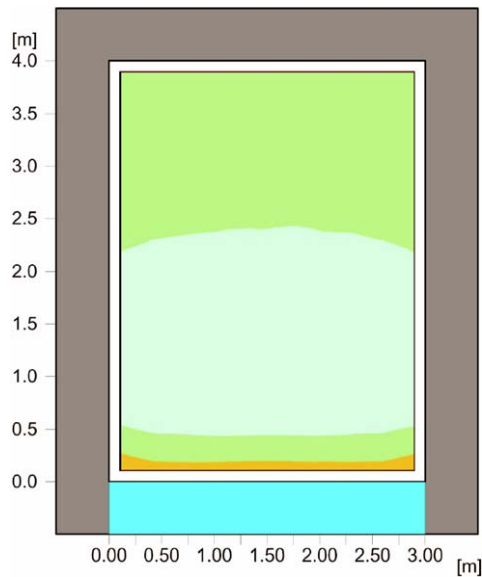
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	4,50	4,08	3,76
TQ Punkt1 li [%]	3,10	3,85	4,24
TQ Punkt2 re [%]	3,10	3,88	4,27

Falschfarbendarstellung

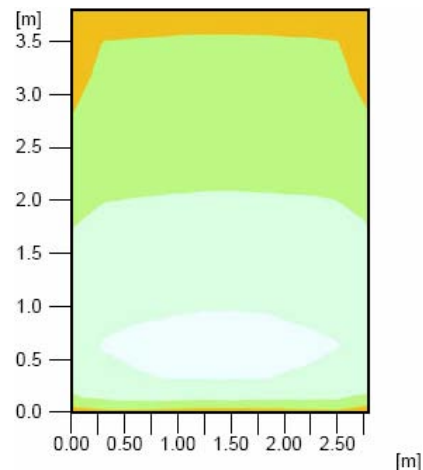
Variante Fensterband



Raumansicht von Außen



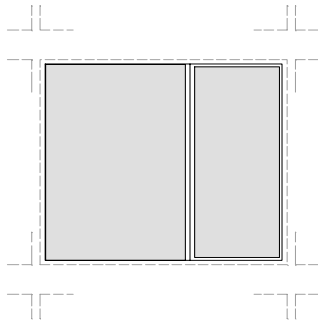
Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Bei der letzten Variante wurde die komplette Wandfläche verglast wodurch sich eine Vergrößerung der Glasfläche auf $6,38\text{m}^2$ ergibt. Der TQ im Punkt1 steigt dadurch auf 3,7%. Bei der Betrachtung des mittleren Tageslichtquotienten Dm auf der Bezugsebene $\pm 0,00\text{m}$ gemessen zeigt sich eine Steigerung auf 7,3%.

Variante Wandfläche voll verglast

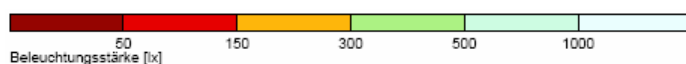
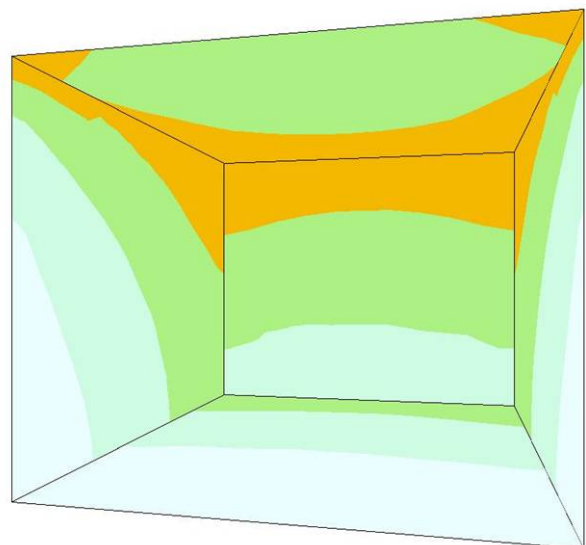


Glasfläche $6,38\text{m}^2$
Reduktionsfaktor 85%

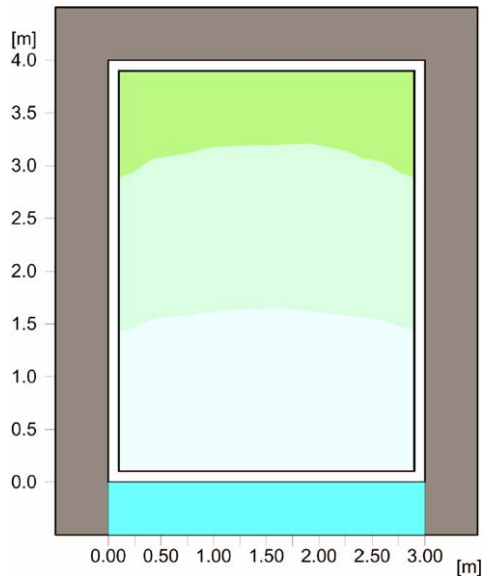
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	5,20	6,20	7,30
TQ Punkt1 li [%]	3,70	4,70	5,70
TQ Punkt2 re [%]	3,60	4,70	5,70

Falschfarbendarstellung

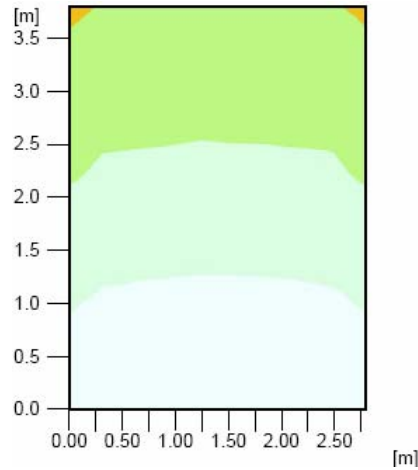
Variante Wandfläche voll verglast



Raumansicht von Außen



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Als Gesamtergebnis wird der Einfluss der Fenstergröße deutlich. Je Größer das Fenster desto höher die Qualität der Tageslichtversorgung. Diese letzten ganz großen Öffnungen bringen natürlich andere Schwierigkeiten mit sich. Sommerliche Überwärmung und für ein Passivhaus relativ hoher Wärmeverlust im Winter sind schwer zu bewältigen. Dabei ist zu beachten, dass die mit Relux simulierten Werte ja deutlich unter den gemessenen zurückbleiben. Das bedeutet, dass mit TQ s zwischen 7% und 11% in zwei Meter Entfernung vom Fenster zu rechnen ist.

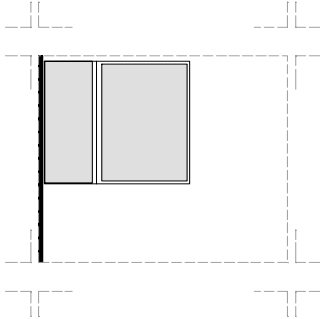
4.4.4.8. Farbe an der Wand/ reduzierte Reflexionszahlen

Verglichen werden die Auswirkungen von reduzierten Reflexionszahlen unterschiedlicher Bauteilflächen. Als Grundlage diente das optimierte Passivhausfenster wie schon im Punkt 4.4.4.4 beschrieben mit einem fix verglastem und einem offenen Flügel.

Als erste Variante wurde der Reflexionsgrad der Wand direkt neben dem Fenster von 80% auf 19,5% reduziert, was sich durch sehr dunkle Möbel oder eine dunkle Farbe ergeben könnte.

Die Auswirkung auf den Tageslichtquotient, im Punkt1 direkt neben der betroffenen Wand betrachtet ist nicht unerheblich. So entsteht eine Reduktion um 20 %

Wand 4 Reflexionsgrad 19,5%

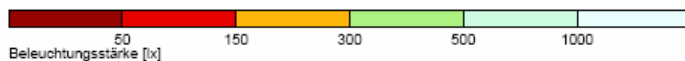
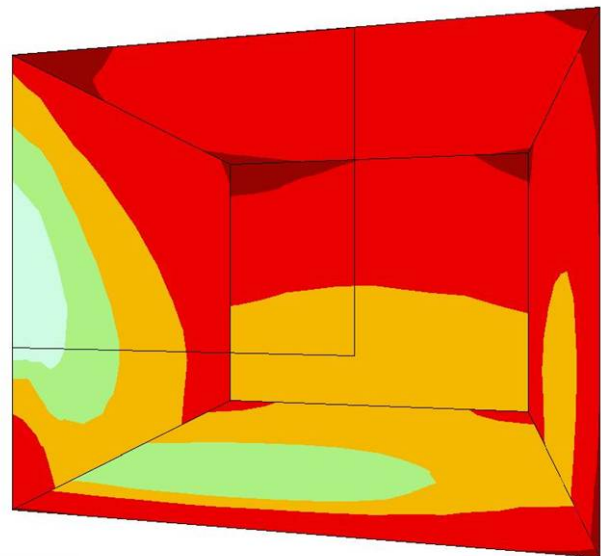


Glasfläche 2,31m²
Reduktionsfaktor 76%

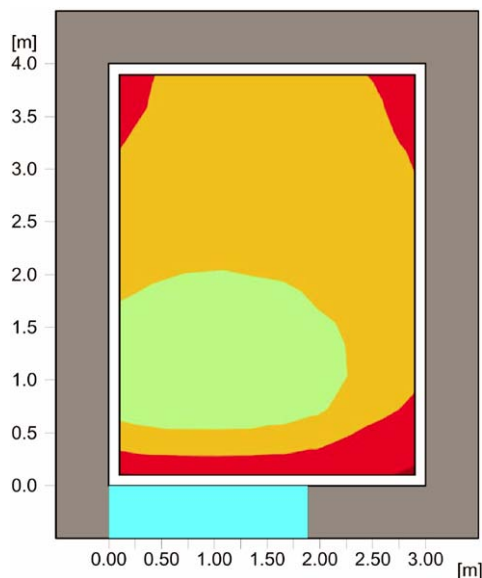
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,10	1,88	1,68
TQ Punkt1 li [%]	1,50	1,96	2,18
TQ Punkt2 re [%]	1,30	1,74	1,88

Falschfarbendarstellung

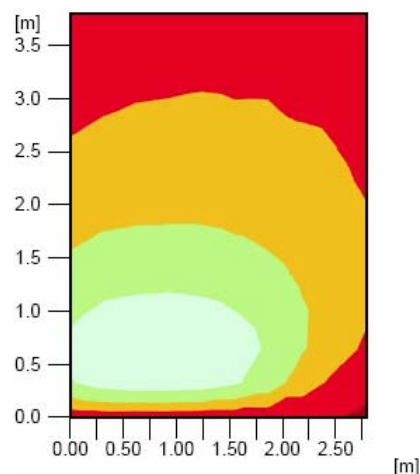
Variante Wand4 Reflexionsgrad 19,5%



Raumansicht von Außen



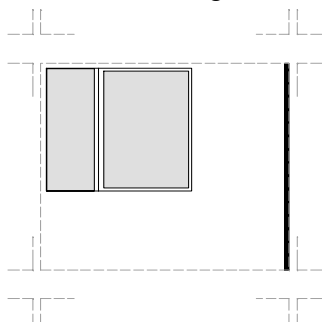
Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Bei der nächsten Variante wurde der Reflexionsgrad der Wand, die gegenüber der oben beschrieben liegt, reduziert. Dadurch ist der Tageslichtquotient im Punkt1 wieder etwas besser. Die generelle Dynamik im Raum wird jedoch naturgemäß verstärkt, wie sich auch an den größeren Differenzen der Werte zwischen links und rechts ablesen lässt.

Wand 2 Reflexionsgrad 19,5%

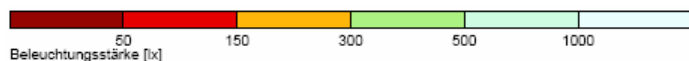
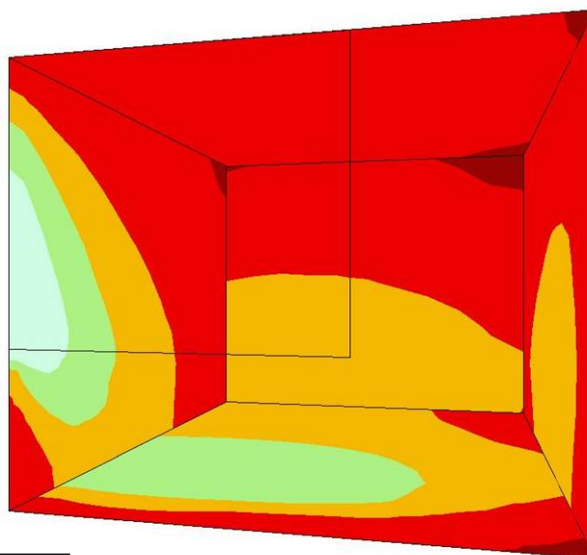


Glasfläche 2,31m²
Reduktionsfaktor 76%

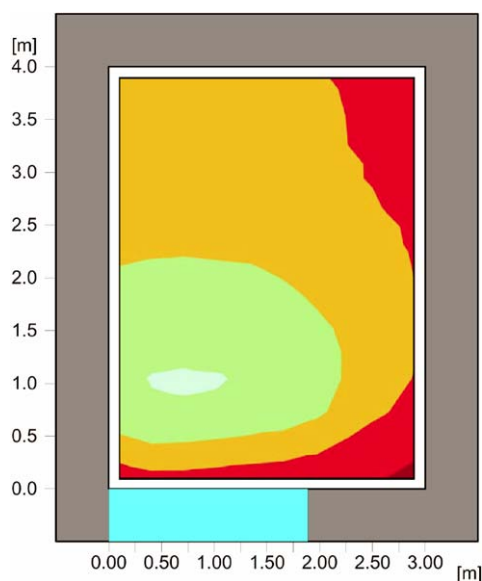
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,20	1,99	1,78
TQ Punkt1 li [%]	1,60	2,17	2,32
TQ Punkt2 re [%]	1,30	1,70	1,85

Falschfarbendarstellung

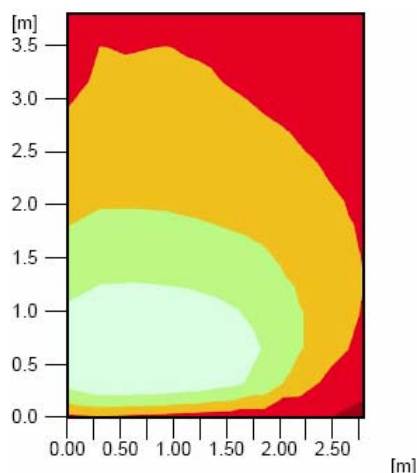
Variante Wand2 Reflexionsgrad 19,5%



Raumansicht von Außen

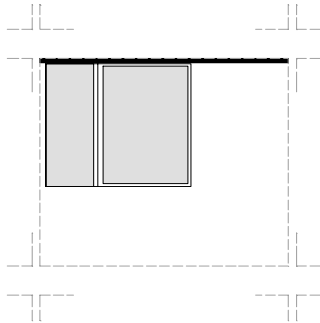


Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Bei dieser Variante wurde der Reflexionsgrad der Deckenfläche von 80% auf 19,5% reduziert wodurch sich der Tageslichtquotient im Punkt1, auf einer Höhe von 0,85m betrachtet, im Vergleich zur Ausgangslage um 20% verschlechtert. Von Seite der Beleuchtungsstärke ergeben sich ähnliche Werte wie in den beiden vorangegangenen Varianten. Der Raumeindruck mit der dunklen Decke mag allerdings etwas befremdlich sein. Decke Reflexionsgrad 19,5%

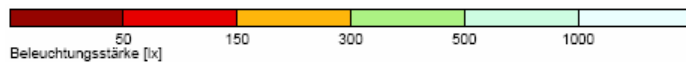
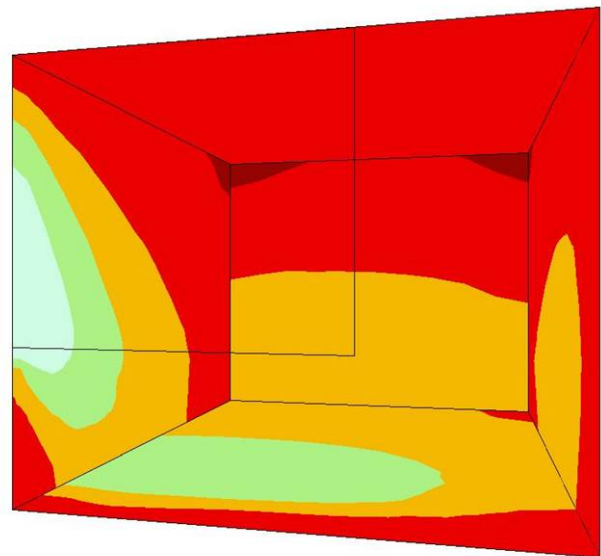


Glasfläche 2,31m²
Reduktionsfaktor 76%

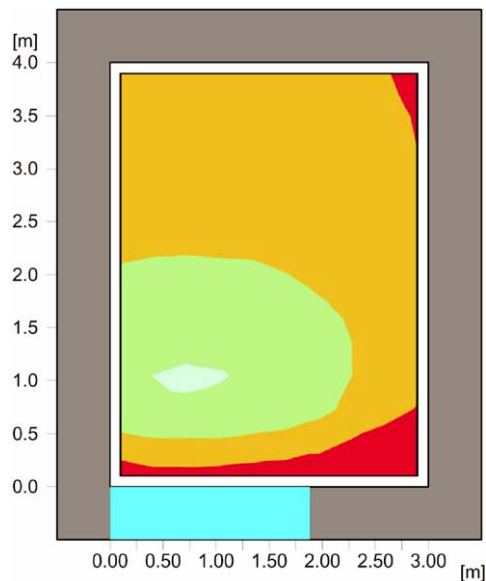
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,20	2,00	1,84
TQ Punkt1 li [%]	1,50	2,10	2,31
TQ Punkt2 re [%]	1,30	1,72	1,93

Falschfarbendarstellung

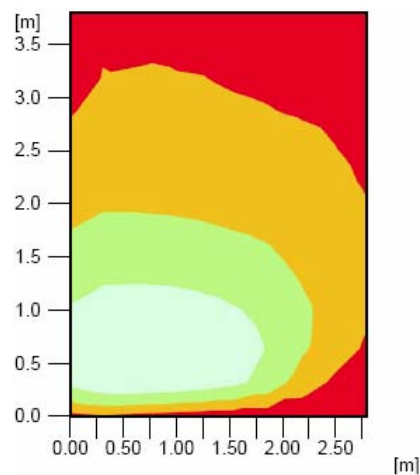
Variante Decke Reflexionsgrad 19,5%



Raumansicht von Außen



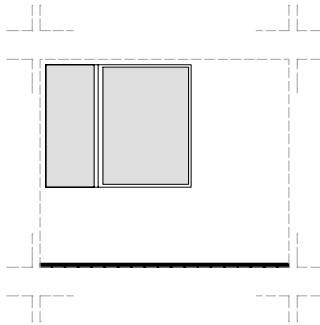
Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Bei der letzten Variante wurde der Reflexionsgrad des Fußbodens von 35% auf 19,5% reduziert. Durch diese geringere Reduktion sind die Auswirkungen auf den Tageslichtquotienten ebenfalls geringer wodurch sich der Wert im Punkt1 nur um 10% verschlechtert.

Boden Reflexionsgrad 19,5%

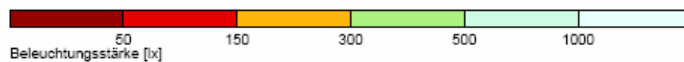
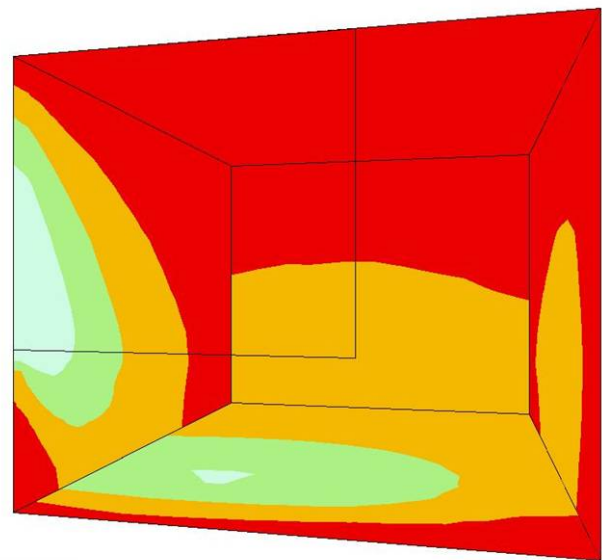


Glasfläche 2,31m²
Reduktionsfaktor 76%

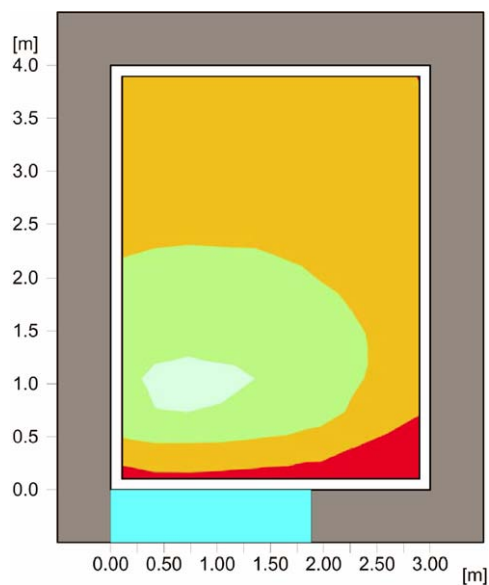
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,40	2,15	1,96
TQ Punkt1 li [%]	1,80	2,29	2,46
TQ Punkt2 re [%]	1,50	1,91	2,09

Falschfarbendarstellung

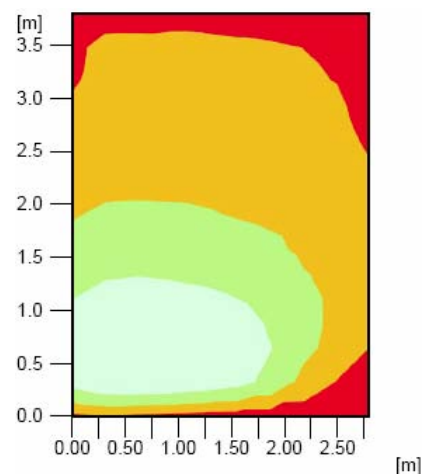
Variante Boden Reflexionsgrad 19,5%



Raumansicht von Außen



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Als Gesamtergebnis wird der Einfluss des Reflexionsgrades der Bauteiloberflächen deutlich. Generell sind die Ergebnisse recht ähnlich, eine weiße Wandfläche durch eine dunkle zu ersetzen resultiert in einer Verschlechterung der Belichtungsverhältnisse um 15-20 %. Im Vergleich zum Aufwand der Maßnahme scheint die Wirkung groß zu sein. Wenn schlechte Verhältnisse vorhanden sind, kann durch farbige Oberflächen und dunkle Möbel noch viel zusätzlich verloren werden.

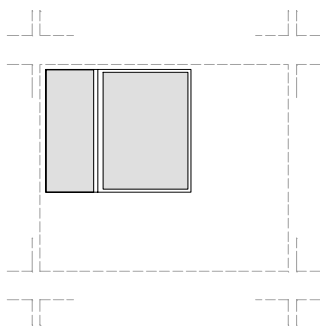
Oder anders ausgedrückt: die Belichtungsqualität sollte immer so großzügig dimensioniert sein, dass farbige Wände und Möbel möglich sind.

4.4.4.9. Auswirkungen der Wandstärke

Wird im Zuge eines Neubaus die Außenwand in Leichtbauweise errichtet, genügt eine Wandstärke von 0,3m um alle Anforderungen zu erfüllen. Vorteil ist die Reduktion der Wandstärke um 0,2m im Vergleich zur Massivbauweise.

Gezeigt werden soll die Auswirkung der Wandstärke auf die Qualität der Tageslichtversorgung. Als Grundlage diene das optimierte Passivhausfenster wie schon im Punkt 4.4.4.4.4 beschrieben mit einem fix verglastem und einem öffnenbaren Flügel.

Optimiertes Passivhausfenster 1 Flügel fix / 1 Flügel öffnenbar; Wandstärke 0,3m



Glasfläche 2,31m²
Reduktionsfaktor 76%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	3,30	2,93	2,75
TQ Punkt1 li [%]	2,40	3,00	3,25
TQ Punkt2 re [%]	2,10	2,61	2,83

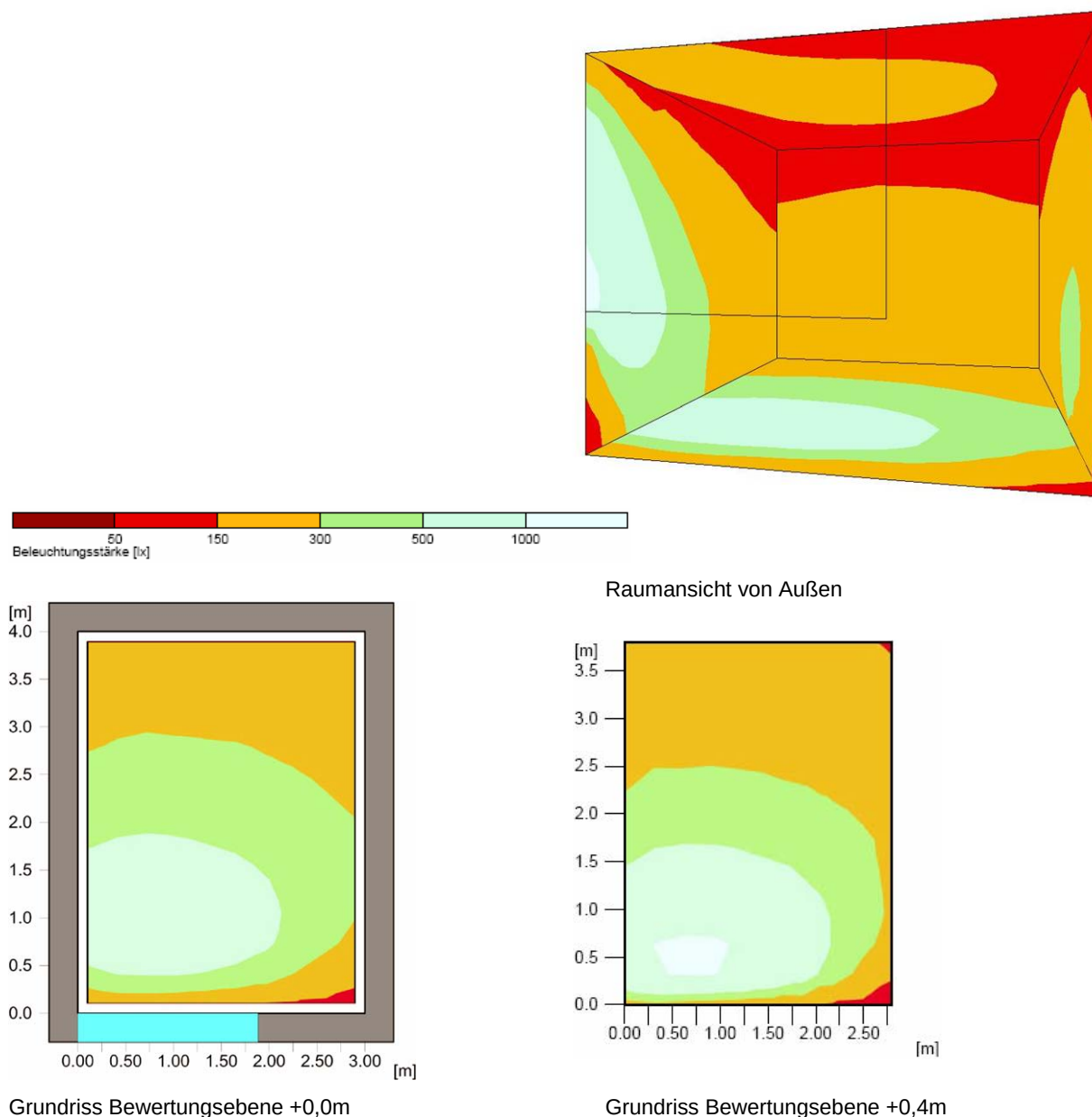
Vergleicht man nun das Ergebnis mit dem optimierten Passivhausfenster aus Punkt 4.4.4.4.4, wird der Einfluss der Wandstärke deutlich. So steigt der Tageslichtquotient im Punkt1 von 1,90% auf 2,40%. Um ein vergleichbares Ergebnis zu erzielen müsste die Verglasungsgröße auf über 3,75m² erhöht werden.

Wir sind allerdings bei den Tageslichtmessungen zu anderen Ergebnissen gelangt.

Es wird daher vermutet, dass das Programm relux die Reflexion der Leibungsfläche nicht mitberücksichtigt, was dem Effekt einer schwarzen Leibung gleich käme.

In den Messungen hat sich herausgestellt, dass gegen die Erwartungen eine weiße Leibung, auch wenn sie sehr dick ist, nicht die erwarteten schlechten Ergebnisse bringt. Es ist scheinbar in der Realität so, dass durch die diffuse Reflexion der weißen Leibung nach innen ein großer Teil des Verlustes an direktem seitlichem Lichteinfall wettgemacht werden kann.

Falschfarbendarstellung Variante optimiertes Passivhausfenster 1 Flügel fix / 1 Flügel öffnenbar, bei einer Wandstärke von 0,3m.

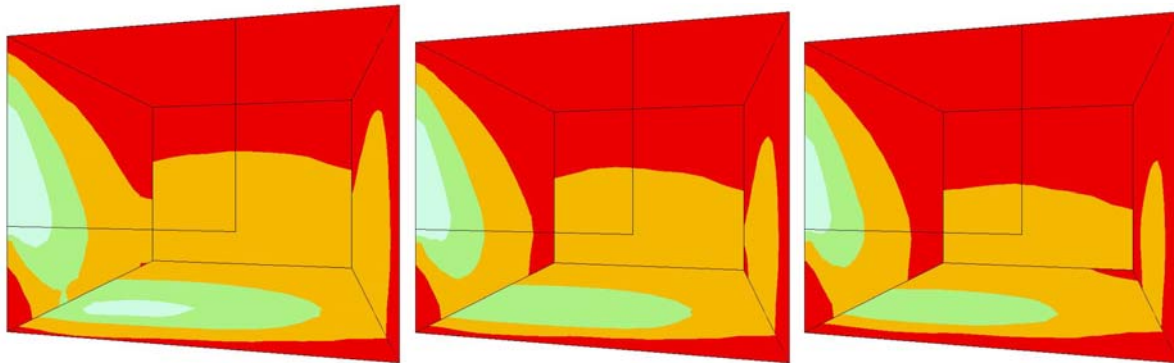


Ausmaß der Tageslichtverminderung durch Passivhauswärmedämmung und 3fachVerglasung

4.4.4.10. Auswirkungen des Verschmutzungsgrades des Glases

Anhand des schlanken Passivhausfensters aus Kap. 4.4.4.4.4 wurde simuliert welchen Einfluss der Verschmutzungsgrad des Glases auf die Qualität der Belichtung hat. Verglichen werden die Schwächungsfaktoren durch Verschmutzung von 0,9, 0,8 und 0,7 wobei der Faktor 0,9 den in allen anderen Varianten angenommenen Wert entspricht.

	Faktor Verschmutzung 0,9			Faktor Verschmutzung 0,8			Faktor Verschmutzung 0,7		
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00	0,85	0,40	0,00	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,50	2,30	2,12	2,30	2,04	1,88	1,97	1,78	1,65
TQ Punkt1 li [%]	1,90	2,45	2,62	1,70	2,17	2,35	1,50	1,90	2,06
TQ Punkt2 re [%]	1,60	2,07	2,24	1,50	1,85	2,04	1,29	1,62	1,77



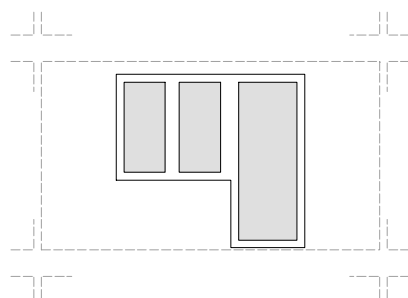
Als Ergebnis zeigt sich ein nicht unwesentlicher Einfluss. Betrachtet man den mittleren Tageslichtquotienten auf der Bewertungsebene $\pm 0,00\text{m}$ zeigt sich eine Abschwächung von 2,12% auf 1,88% beim Faktor 0,8 und auf 1,65% beim Faktor 0,7.

4.4.4.11. Lösungen für Wohnräume mit unzureichender Tageslichtversorgung

In älteren Gebäuden gibt es oft Wohnräume mit Fenster/Türkombinationen in der unten abgebildeten Weise. Wenn der Raum groß ist, und das Element klein, kann die Belichtungssituation manchmal schon vor der Sanierung unzureichend sein. Durch die Sanierung und das Einsetzen von Passivhausfenstern wird dann nochmals eine Verschlechterung herbeigeführt.

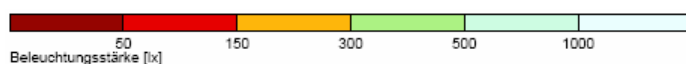
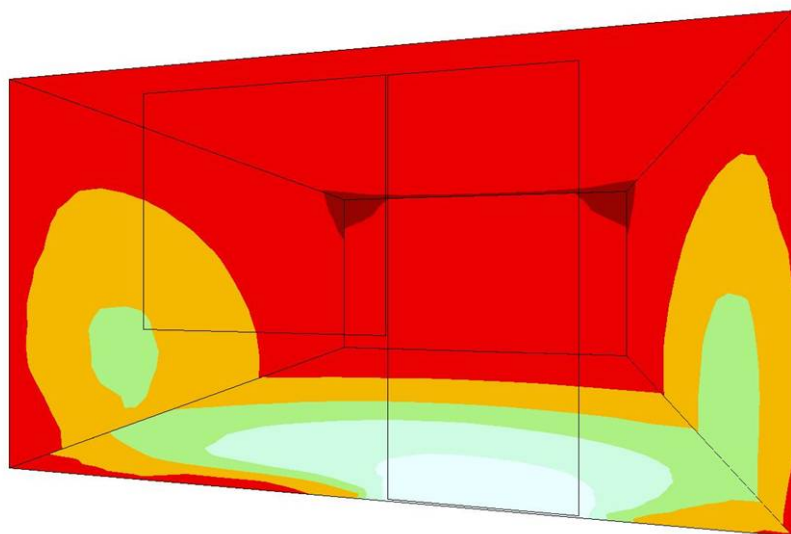
Wenn in den untenstehenden Grafiken der TQ betrachtet wird, muss dabei berücksichtigt werden, dass er in 2m Entfernung vom Fenster berechnet ist. Der Raum ist allerdings 7 M tief. Relevanter als der TQ scheint uns in diesem Fall der mittlere Tageslichtquotient des Raumes Dm zu sein.

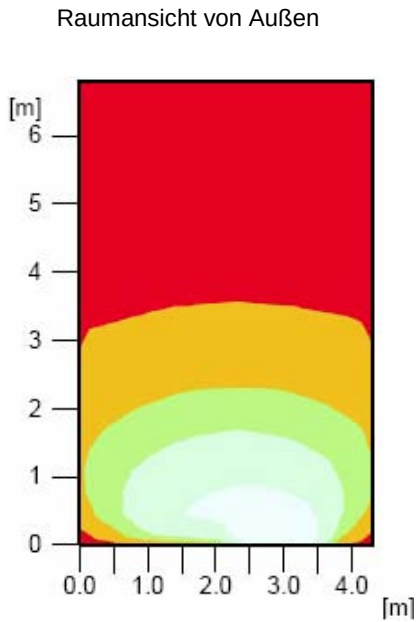
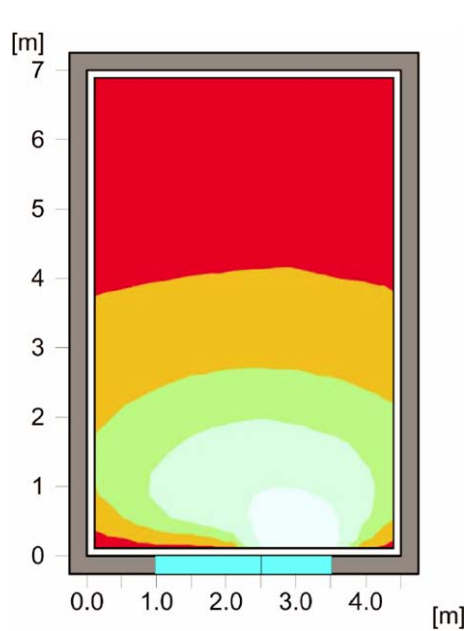
Verbundfenster 2 Flügel öffnenbar / 1 Terrassenflügel, Wandstärke 0,25m



Glasfläche 2,92m²
Reduktionsfaktor 64%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,80	2,00	2,10
TQ Punkt1 li [%]	2,00	2,70	3,00
TQ Punkt2 re [%]	2,20	3,00	3,50



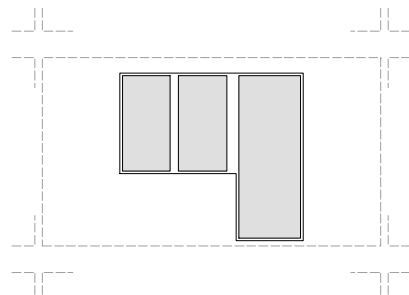


Grundriss Bewertungsebene +0,0m

Grundriss Bewertungsebene +0,4m

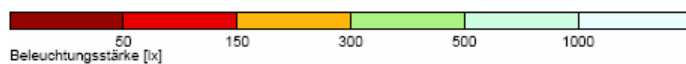
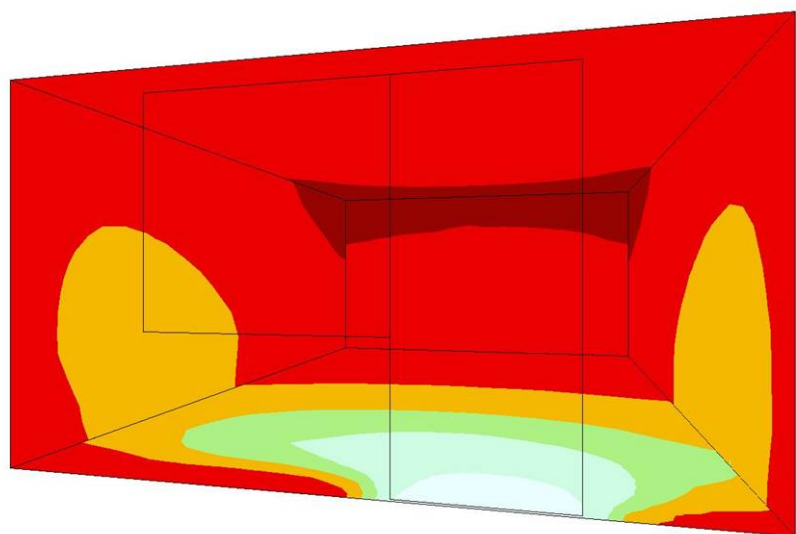
Als nächstes nun die Einfügung von Passivhausfenstern, schon in optimierter Variante

Optimiertes Passivhausfenster 2 Flügel öffnenbar / 1 Terrassenflügel, Wandstärke 0,5m

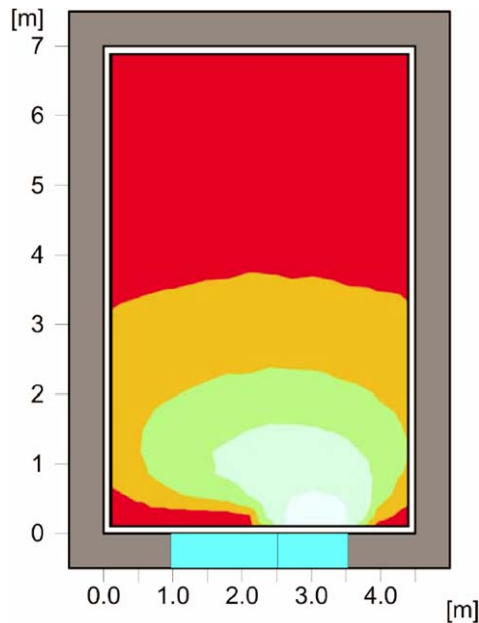


Glasfläche 3,4m²
Reduktionsfaktor 74%

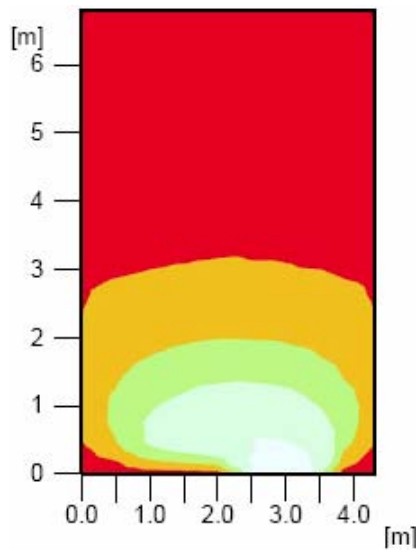
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,40	1,50	1,60
TQ Punkt1 li [%]	1,70	2,20	2,40
TQ Punkt2 re [%]	1,70	2,40	2,80



Raumansicht von Außen



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

In der Sanierung kann meistens die Breite und der Sturz eines Fensters nicht verändert werden.

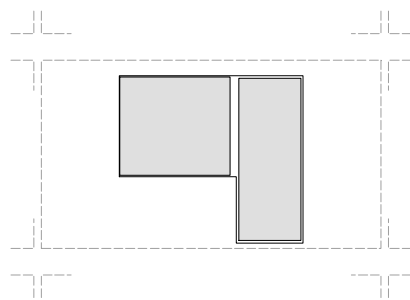
Wenn ein Wohnraum also nach heutigen Anforderungen mit einer (zu) kleinen Fensteröffnung ausgestattet ist, muss bei der maximal erzielbaren Glasfläche und dem maximalen Einstrahlwinkel angesetzt werden.

Dies ist erzielbar

1. durch möglichst große Glasflächen und möglichst geringen Rahmenanteil
2. durch Ausbrechen des Parapetes – möglich durch Verzicht auf Radiatoren-
3. durch Vergrößerung der Glasfläche über die Rohbauöffnung hinaus.

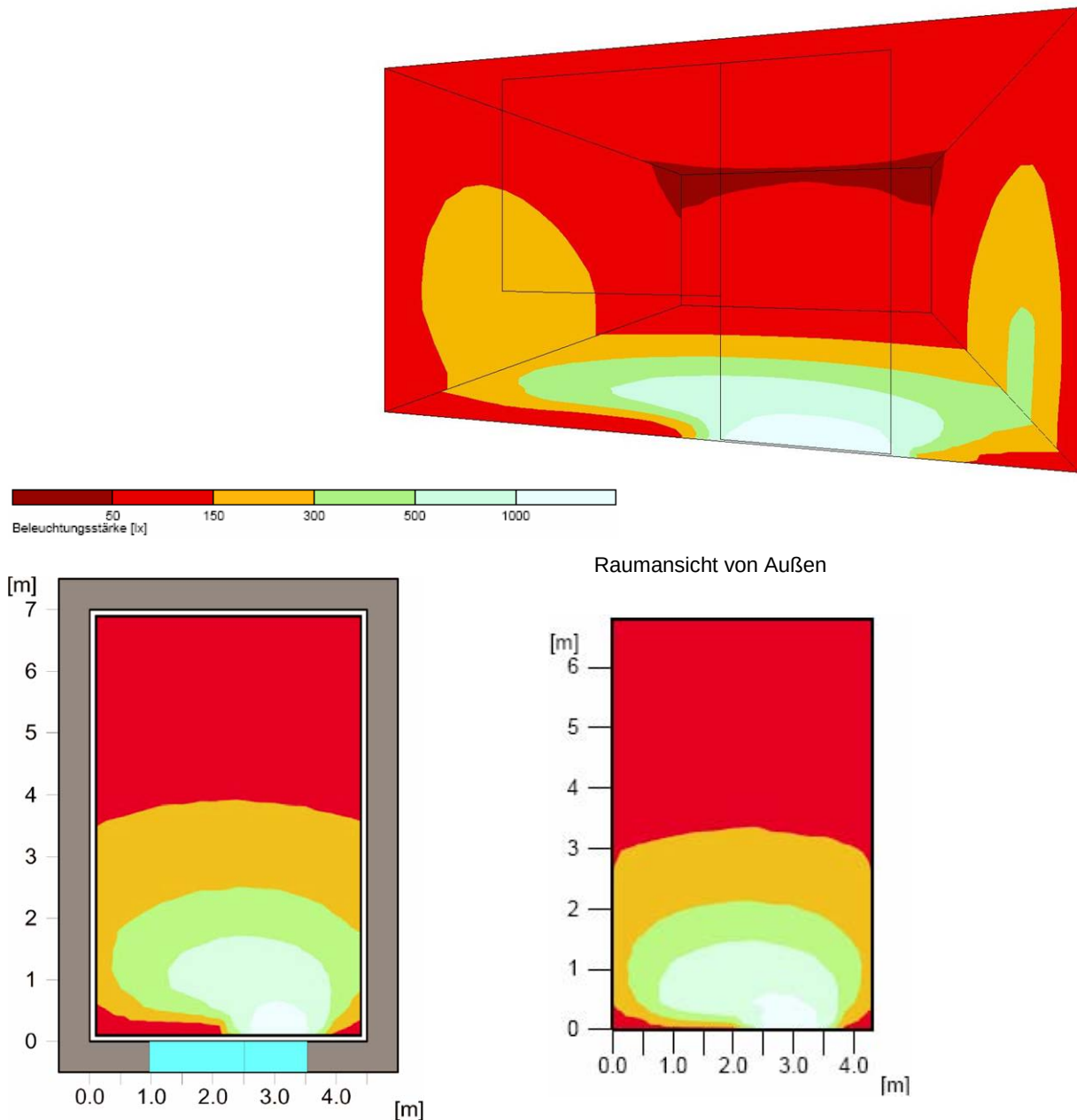
Mit der Reduktion um eine Teilung kann mehr Glas herausgeholt werden:

Optimiertes Passivhausfenster 1 Flügel fix / 1 Terrassenflügel, Wandstärke 0,5m



Glasfläche 3,68m²
Reduktionsfaktor 80%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,50	1,70	1,70
TQ Punkt1 li [%]	1,90	2,50	2,70
TQ Punkt2 re [%]	1,80	2,60	3,00

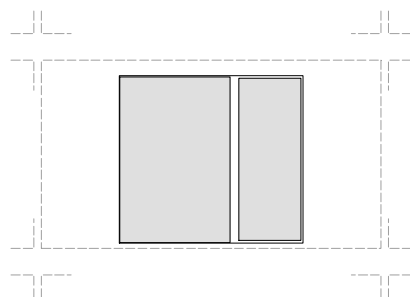


Grundriss Bewertungsebene +0,0m

Grundriss Bewertungsebene +0,4m

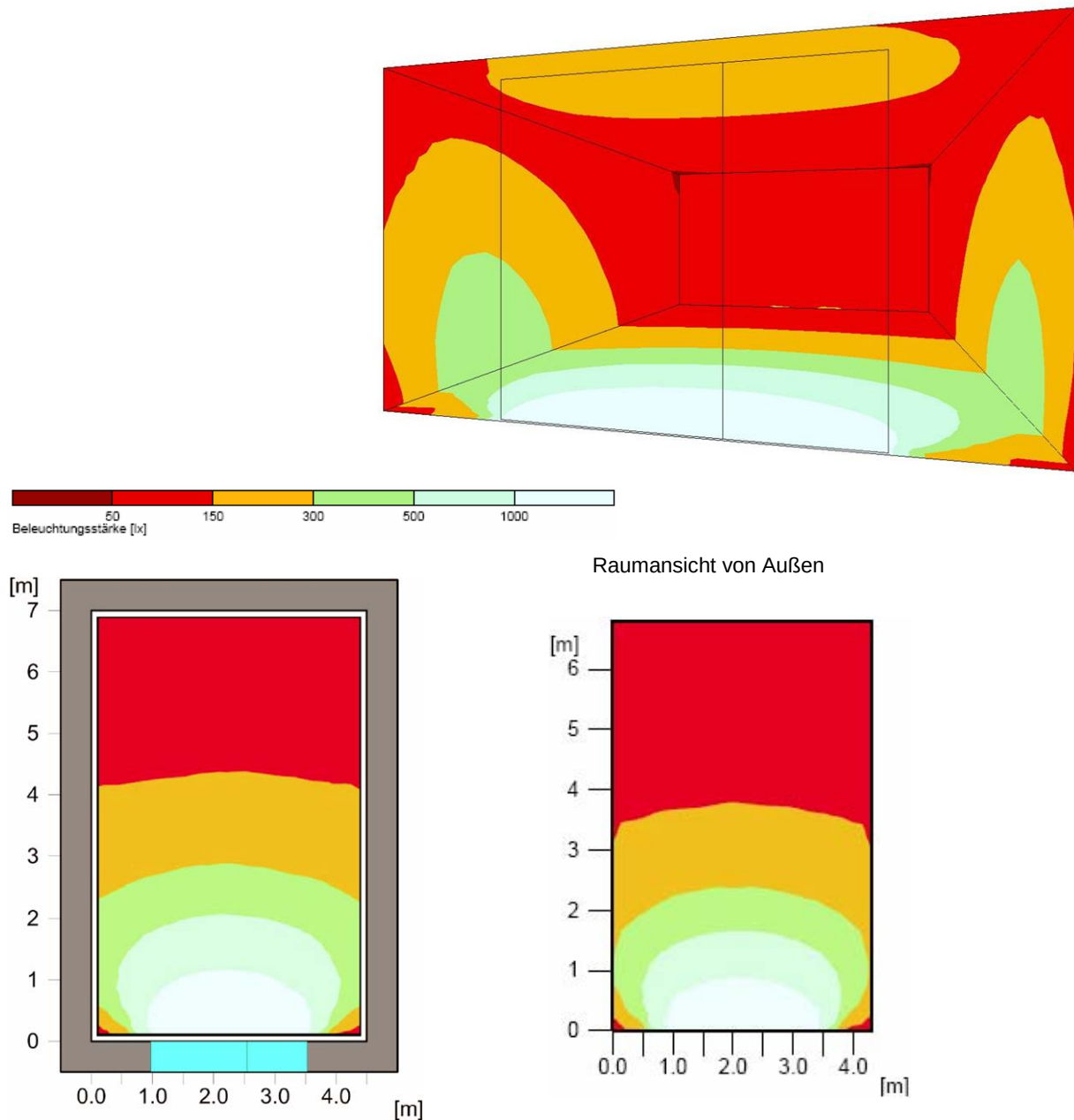
Will man dann noch besser werden, muss man das Parapet ausbrechen und die Glasfläche weiter vergrößern. Die Werte werden zwar besser, ein großer Teil des Raumes bleibt aber weiter relativ schwach beleuchtet.

Optimiertes Passivhausfenster 1 franz. Flügel fix / 1 Terrassenflügel



Glasfläche 4,97m²
Reduktionsfaktor 82%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,70	2,20	2,60
TQ Punkt1 li [%]	2,20	3,00	3,70
TQ Punkt2 re [%]	2,10	2,90	3,60



Grundriss Bewertungsebene +0,0m

Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Theoretisch gibt es nach Ausbrechen des Parapetes eine neue Rohbauöffnung, und diese zu 100 % mit Glas gefüllt ohne Abschwächung durch einen Rahmenanteil und ohne Abschwächung durch Verluste durch den geringeren seitlichen Lichteinfall ergibt die maximal mögliche Belichtung.

Dies gilt es durch eine neue Lösung zu erreichen.

Zuletzt und als Neuentwicklung stellen wir eine Verglasungsart vor, die die Glasfläche noch einmal vergrößern kann. Ziel war dabei wie oben gefordert eine Glasfläche zu erzeugen die in ihrer Größe der Rohbaulichte entspricht, also im Vergleich zur Rohbauöffnung keine Rahmenverluste mehr aufweist.

So könnte dies technisch ausgeführt werden:

Schlankes Passivhausfenster mit einer Rahmenansichtsbreite von 91mm.
Fensterprofile über die Rohbauöffnung erweitert.

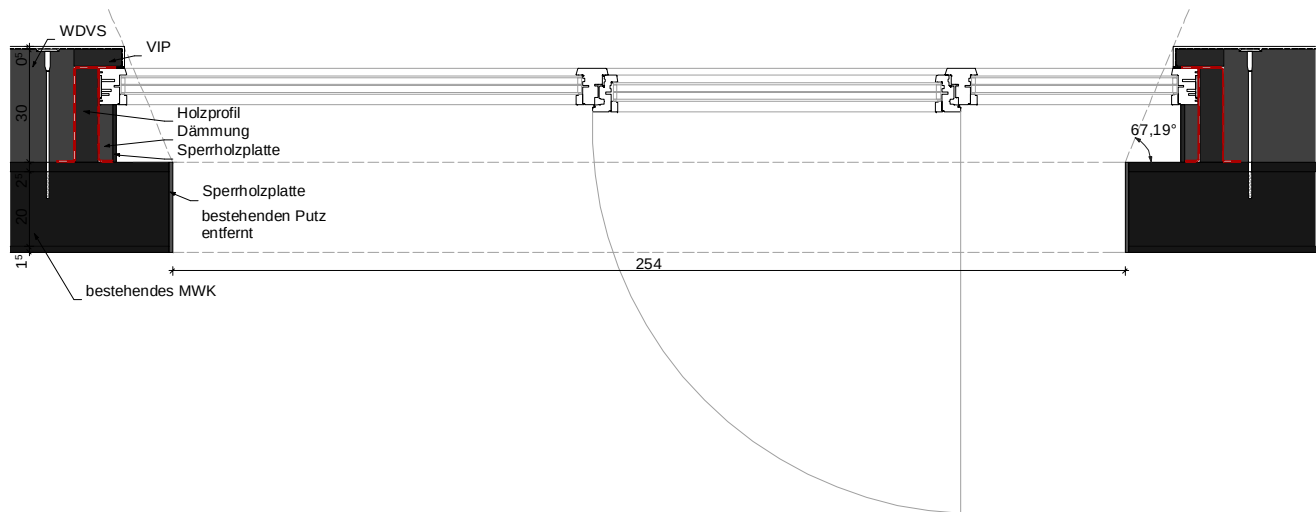
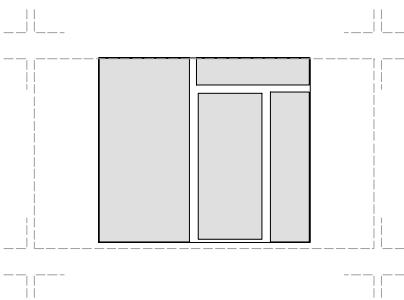


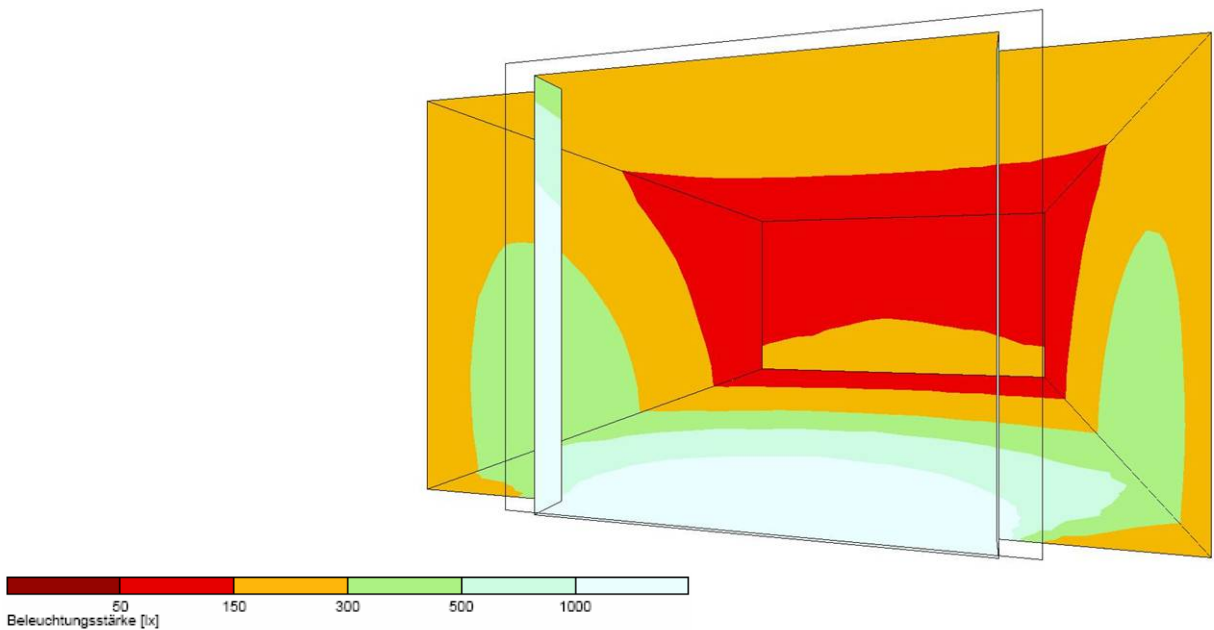
Abb. 77 technisches Detail zur Lösung Glas = Rohbau
und so könnten die Werte aussehen:

Optimiertes Passivhausfenster 3 Flügel fix / 1 Terrassenflügel, Glasfläche optimiert

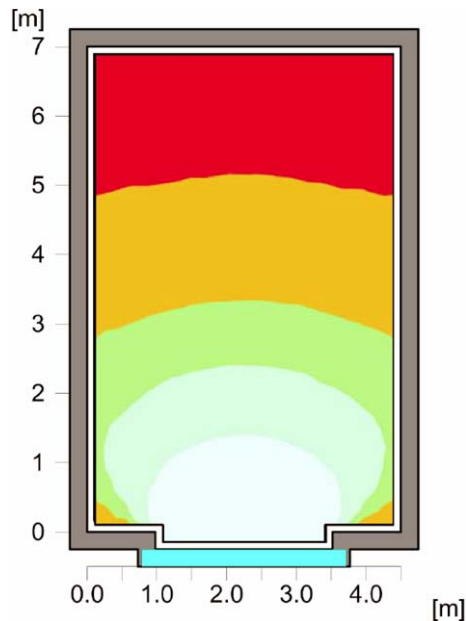


Glasfläche 6,11m²
Reduktionsfaktor 81,03%

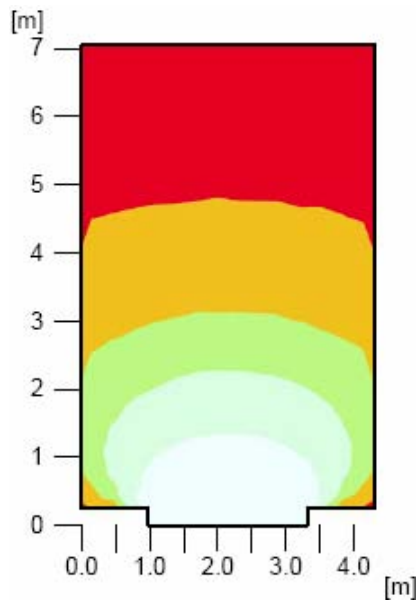
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,50	3,00	3,40
TQ Punkt1 li [%]	3,50	4,40	5,20
TQ Punkt2 re [%]	3,40	4,40	5,10



Raumansicht von Außen



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m

Man sieht daraus, wie viel aus einer bestehenden Situation herauszuholen ist. Mit entsprechenden Maßnahmen können erstaunliche Ergebnisse erzielt werden. Selbstverständlich wird eine solche Ausführung nur gewählt werden, wenn die Belichtungsverhältnisse es verlangen.

4.4.4.12. Conclusio

Wenn saniert wird, wird viel Geld investiert und ein neuer Zustand hergestellt, der zumeist für weitere 25 Jahre besteht. Diese Tatsache sollte bei einer Sanierung nie aus dem Auge verloren werden. Dass moderne Fenster eine andere Technologie haben als alte ist allgemein klar. Dass aber dieser neuen Technologie auch in Fensterteilung, Profilansichtsbreite und Einbauart entsprochen werden sollte ist derzeit noch nicht gängige Praxis.

Wir hoffen, dass wir mit den simulierten Beispielen zeigen konnten, welche Maßnahmen mit der neuen Fenstertechnologie sinnvoll sind und welche nicht und welche formalen Konsequenzen technische Änderungen nach sich ziehen und auch nach sich ziehen sollten.

Für den Neubaufall hoffen wir dass es uns gelungen ist zu zeigen, wie wichtig großzügige Fensteröffnungen sind und wie wichtig die Entwicklung von optimierten, schlanken Fensterprofilen ist, damit das Passivhaus im großen Volumen nicht nur thermisch behaglich, sondern auch optisch behaglich ist.

5. wohnungseigener Freiraum/ Komforthandb. Teil 2

5.1. wozu ?

5.1.1. wider die Zersiedelung

Klar ist, dass das Einfamilienhaus keine nachhaltige Siedlungsform darstellt und sei es auch noch so "passiv" gebaut. Wie aber gewinnen nachhaltige, verdichtete Wohnformen gegenüber dem allgegenwärtigen Wunsch Einfamilienhaus an Attraktivität? Es gibt Faktoren, die dabei mit baulichen Maßnahmen nicht zu beheben sind. Bei Ihnen mag es mehr um Bildung, das Zeigen guter Beispiele oder die Veränderung bestehender Gesetze gehen. Manche Faktoren aber betreffen bauliche Maßnahmen und dazu gehört der wohnungseigene Freiraum. Wir glauben, dass es durchaus entscheidend für die Zuwendung größerer Teile der Bevölkerung zu verdichteten Wohnformen ist, ob es gelingt, manche Aspekte des Einfamilienhauses wie z.B. den wohnungseigenen Freiraum in guter Qualität auch im verdichteten Wohnbau anzubieten.

Unter den Planer findet hier vermehrt ein Umdenken statt. Die rechtlichen und förderrechtlichen Rahmenbedingungen für die Umsetzung großzügiger privater Freiräume im sozialen Wohnbau stehen derzeit noch nicht besonders gut. Nur Loggien zählen zur geförderten Fläche, Balkone und Terrassen nicht. Ganz abgesehen von der Frage der baulichen Ausbildung und der Bewältigung des Widerspruches zwischen gewünschter maximaler Nutztiefe und minimaler Belichtungseinschränkung, die wir hier in diesem Kapitel eingehend abhandeln werden, ist es also im unteren bis mittleren Preissegment des Wohnbaues durchaus auch finanziell äußerst schwierig und von Seiten der Wohnbauförderung äußerst mangelhaft unterstützt, große Balkone anzubieten.

Würden jedoch die langfristigen Kosten, welche der Allgemeinheit durch "billige" Einfamilienhausgebiete mit hohem Pendleraufkommen entstehen, ausschließlich den Verursachern angelastet, so würde das Einfamilienhaus (das nicht Zentrum eines landwirtschaftlichen Betriebes ist) wieder zu dem werden, was es immer gewesen ist: Eine absolute Luxuswohnform für Topverdiener.

Als Planer müssen wir daher versuchen, in unseren Wohnbauten auch heute schon maximale Qualität und Größe des wohnungseigenen Freiraumes anzubieten, oder zumindest darüber Bescheid zu wissen, wie er denn herzustellen wäre, und in der Zwischenzeit darauf zu warten, bis die politische Meinung und die rechtlichen Rahmenbedingungen sich soweit geändert haben, dass großzügige Balkone nicht mehr als teures Luxusgut, sondern als unerlässlicher Teil der Wohnqualität für jedermann erkannt werden und errichtet werden können.

5.1.2. Balkon contra Garten

Der eigene Garten rund ums Haus ist eines der Grundmerkmale eines Einfamilienhauses. Welche Merkmale des Gartens kann der Balkon einer Wohnung erfüllen und welche nicht?

Das ideale "zu Hause" besteht aus Haus und Garten = Innenraum und Außenraum, 3. Haut und 4. Haut

Dieser Außenraum

1. steht eindeutig zur privaten Verfügung
2. steht in direkter räumlicher Verbindung mit dem Innenraum,
3. ist nutzbar ohne Einsehbarkeit
4. bietet die Möglichkeit zur vielfältigen Nutzung
5. umgibt den Innenraum zur Gänze, ist eine 4. Haut.

Von den angeführten Punkten sind 1 bis 3 auch auf einem Balkon oder einer Terrasse erfüllbar, 4 ist teilweise erfüllbar und 5 eigentlich nicht.

Das Herumgehen können ums eigene Haus, die durchgehende 4. Haut, muss im Geschosswohnbau aufgegeben werden.

Ob und wie sie zu ersetzen ist, dieser Frage möchten wir in einer unserer nächsten Arbeiten nachgehen.

Alle anderen Qualitäten des Gartens (mit Ausnahme der größeren Nutzungsvielfalt) können mit wohnungseigenen Freiraum, mit Balkon oder Terrasse ausreichend substituiert werden.

Die Größe eines Gartens, die Nutzungsvielfalt und Bepflanzungsvielfalt könnte und sollte im Geschosswohnbau in den allgemeinen Bereich verschoben werden. Wenn es gelingt, die Bebauungspläne soweit zu verändern, dass gut dimensionierte, zusammenhängende allgemeine Grünflächen möglich sind (und nicht 15 % der Grundstücksfläche in verlegenem Abstandgrün unwiederbringlich verloren geht), so können die Grünflächen rund um Geschosswohnbauten durchaus die Vielfalt der Nutzungsmöglichkeiten des privaten Gartens ersetzen, wenn nicht in manchen Bereichen gar übertreffen.

5.1.3. physiologische Aspekte

Physiologisch ist der wohnungsnahe Außenraum deshalb so wichtig, weil er hilft, einen Teil der im Innenraum eingeschränkten Lebensgrundlagen kurzfristig zu ergänzen und zu verbessern: Frischluft, komplettes Strahlungsspektrum (UV), Zenitlicht: Aufenthalt unter freiem Himmel, Kreislaufanregung durch Temperaturveränderung.

5.2. Grundlagen: Tätigkeiten und Platzbedarf

5.2.1. Platzbedarf

Um festzustellen, wie groß ein Balkon sein sollte, sollen die wichtigsten Funktionen und ihr Platzbedarf kurz dargestellt werden.

Graphische Darstellung des Platzbedarfs für diverse Tätigkeiten:

Essen für unterschiedliche Personenanzahl, rauchen, im Liegestuhl liegen, im Rollstuhl sitzen, Pflanzen aufstellen und pflegen, Wäsche trocknen, Kinderbad, schlafen, ...

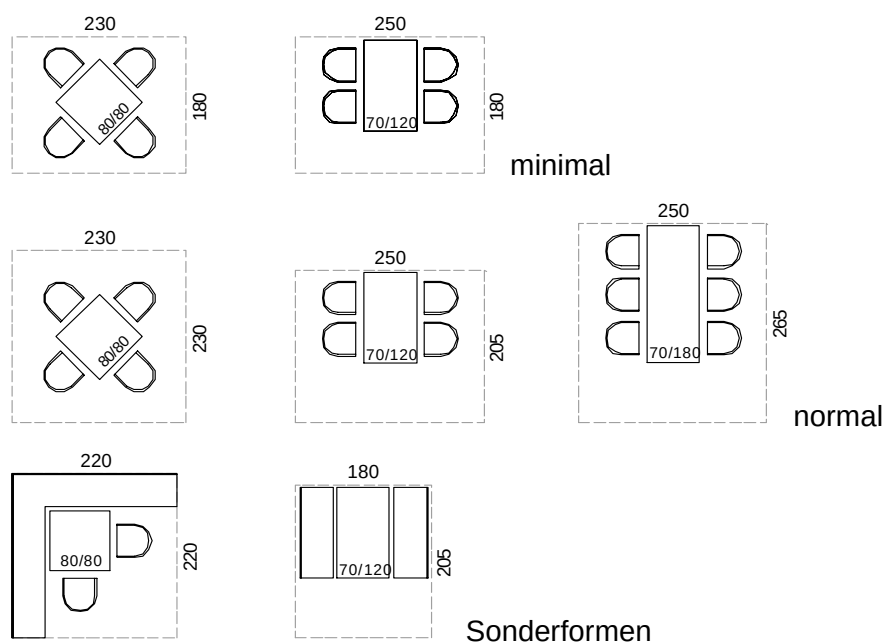


Abb. 78 Platzbedarf für Sitzgruppen

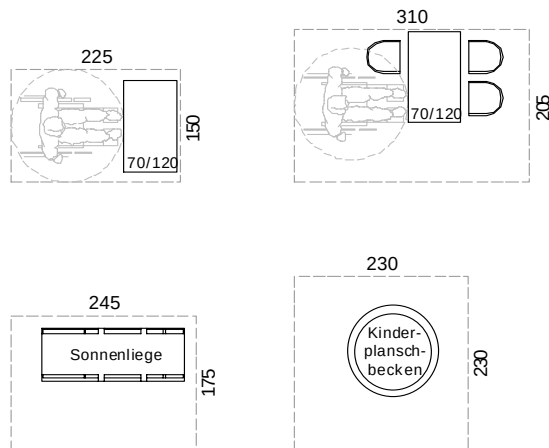


Abb. 79 Platzbedarf diverser Tätigkeiten

An Hand der dargestellten räumlichen Anforderungen kann abgelesen werden, dass ein Balkon eine Mindestnutztiefe von 1,8m aufweisen sollte, besser wären 2m bis 2,5m. In der Breite sollte im Minimum 2,5m zur Verfügung stehen.

Um einem Balkon allerdings Großzügigkeit zu verleihen, wäre sicher die doppelte Breite erstrebenswert.

Als Standardbalkon empfehlen wir eine Größe von 2 mal 4m.

5.3. Einschränkung der Größe

Ein Balkon hat immer Auswirkungen auf das darunter liegende Geschoss. Zum Teil können diese Auswirkungen positiv sein- wie z.B. die Tatsache, dass ein Balkon für das darunter liegende Geschoss einen Sonnenschutz darstellt, zumeist sind es aber negative Faktoren.

Im Wohnbau geht es also immer um ein Abwägen:

Wie viel Platz bekommt der Freiraum der oberen Wohnung und wie viel Einschränkung für die untere Wohnung ist zumutbar??

5.3.1. Einschränkung des Blickfeldes

5.3.1.1. geometrische Überlegungen

Das freie Blickfeld in alle Richtungen mit Fokus unendlich, wird während des Aufenthaltes in Innenräumen eingengt. Dieser Fokus unendlich (scharf stellen auf weit entfernte Objekte) ist aber gerade in Innenräumen als Gegensatz zum (erzwungenen) fokussieren nahe gelegener Objekte zum Entspannen der Augenmuskulatur essentiell. Daher existiert in den Bauordnungen für Wohnungen die Anforderung der freien "horizontalen Sichtverbindung nach außen".

Der Blickfeldausschnitt „Fenster“ stellt also den einzigen Teil des Blickfeldes dar, in welchem dieser Fokus unendlich möglich ist.

Jeder Sturz, jede auskragende Balkonplatte schränkt den durch den Raum gegebenen möglichen Blickfeldausschnitt zusätzlich ein. In Abb. 80 ist der freie Blickfeldausschnitt dargestellt, der in einem Raum mit 4m Raumtiefe und 2,5 m Raumhöhe von der Mitte des Raumes aus möglich ist, und zwar für einen durchschnittlich großen Menschen mit einer Körpergröße von 1,75m. Die weiteren Abbildungen zeigen die Einschränkungen durch Parapet, Sturz und auskragende Balkonplatte.

Der Raum ist an der Fassade mit Absicht dimensionslos dargestellt, da die Dicke der Fassade einen wesentlichen Einfluss auf die angegebenen Maße besitzt. Hier werden also zuerst einmal rein geometrische Überlegungen angestellt, die erst im nächsten Kapitel mit tatsächlichen Wandstärken und Sturzhöhen hinterlegt werden.

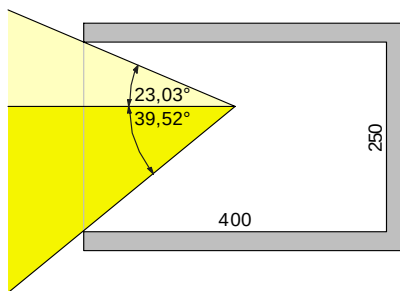


Abb. 80 ohne Einschränkung

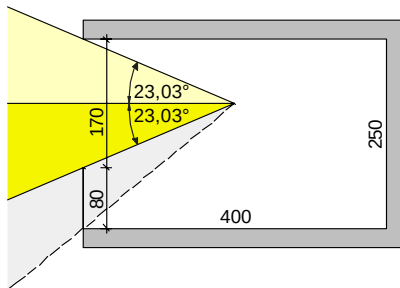


Abb. 81 Einschränkung durch Parapet

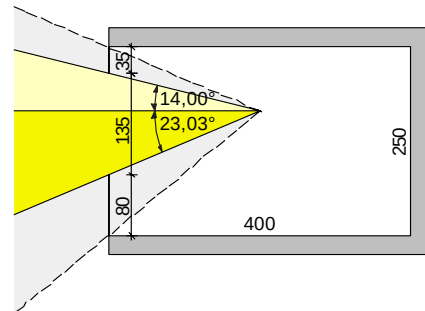


Abb. 82 Einschränkung durch Parapet und Sturz

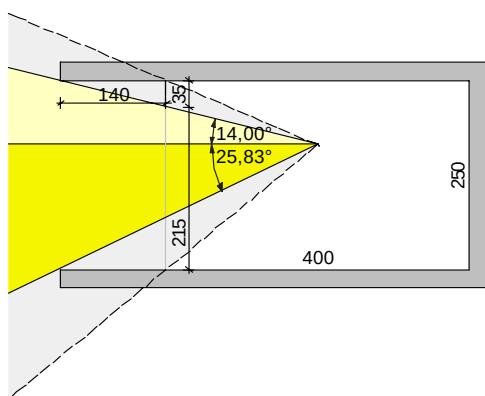


Abb. 83 Einschränkung durch 140 cm auskragende Balkonplatte

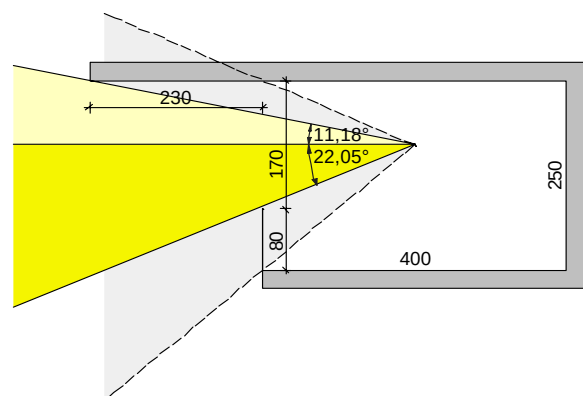


Abb. 84 Einschränkung durch 230 cm auskragende Balkonplatte

Dabei zeigt sich, dass es einerseits um die Gleichmäßigkeit des Blickfeldes bei horizontalem Blick geht, andererseits darum, dass sowohl nach unten als auch nach oben eine Blickrichtung möglich ist, die eindeutig von der Horizontalen abweicht.

In Abb. 81 sehen wir, dass mit einem 80cm hohen Parapet und ohne Sturz das Blickfeld genau gleichmäßig nach oben und unten aufgeteilt ist.

Ein Fenster mit ausreichender Größe in dieser Position wird normalerweise daher als angenehm empfunden.

In Abb. 82 sehen wir die zusätzliche Einschränkung der oberen Blickfeldhälfte durch einen Sturz. Trotzdem bleibt noch genügend Höhe übrig, um eine Blickrichtung zu ermöglichen, die eindeutig als nach oben gerichtet wahrgenommen werden kann. Diese Einschränkung des Blickfeldes entspricht gleichzeitig der Einschränkung durch eine Balkonauskragung von 1,4m (von der Rauminnenkante aus gemessen), wie in Abb. 83 dargestellt.

Die dargestellte Einschränkung des Blickfeldes mit einer oberen Begrenzung auf 2,15m über dem Fußboden an der Rauminnenseite (dies entspricht z.B. der Glaskante eines offenbaren

Standardpassivhausfensters bei einer Sturzhöhe 12,5 cm (s. die Darstellungen in Kap.5.3.1.2), stellt normalerweise ungefähr die Grenze der Toleranz dar. Sinkt die obere Begrenzung des Blickfeldes noch weiter ab, wie beispielsweise in Abb. 84 dargestellt, so empfinden normale Benutzer die Einschränkung als unangenehm.

Wir führen dies unter anderem darauf zurück, dass Menschen zum Fenster hinaus nicht nur in eine Richtung (geradeaus) sondern in mehrere schauen wollen (nach oben und unten). Für die Eindeutigkeit der Richtungsänderung (ich schaue eindeutig nach oben und nicht geradeaus) scheint es eines gewissen Maßes zu bedürfen. Wir vermuten hier einen Winkel von mindestens 12° .

Weitere Toleranzgrenzen können durch das Verhältnis des theoretisch verfügbaren Winkels zum tatsächlichen bestehen. Die obere Raumkante definiert dabei den theoretisch verfügbaren, maximalen Winkel und die maximale Tageslichtausbeute, die Glaskante des Fensters den tatsächlichen. Zu vermuten ist, dass beispielsweise bei einer Raumhöhe von 3,2m ein Fenstersturz von 2,3m wesentlich unangenehmer bewertet wird als derselbe Fenstersturz bei einer Raumhöhe von 2,5m.

Diese Vermutungen bedürften allerdings einer wissenschaftlichen Untersuchung und eines Feldversuches.

5.3.1.2. Übersetzung in Material und Konstruktionsstärken

In Kap. 5.3.1.1 haben wir grob versucht, Dimensionen anzugeben, die in Hinblick auf die Einschränkung des Blickfeldes durch einen Sturz oder Balkon als noch zuträglich erscheinen. Dies haben wir als reine geometrische Maße auf die raumabschließende Innenfläche der Außenwand bezogen. Welche tatsächlichen Baumaße daraus resultieren, ist abhängig von Material und Konstruktionsstärken.

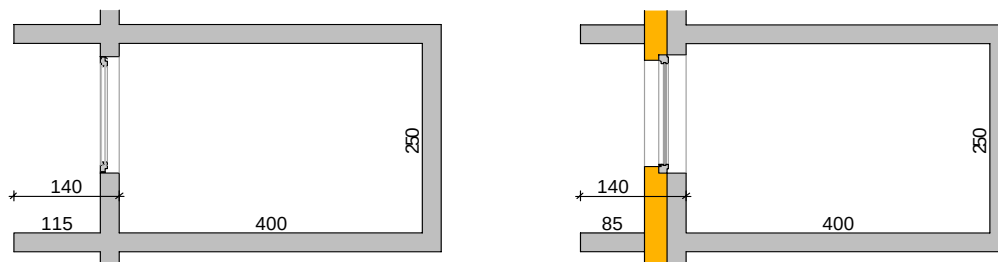


Abb. 85 Nutztiefe eines Balkons im Bestand und im Passivhausneubau

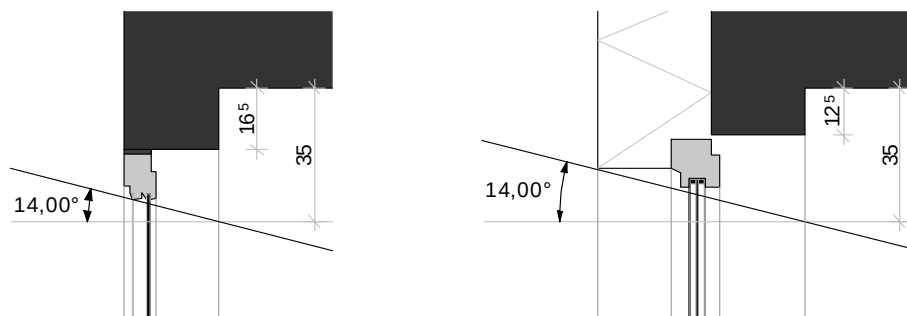


Abb. 86 Bestand mit Verbundfenster

Standardpassivhausfenster

Man erkennt in den Darstellungen, dass aus einer Balkonaustragung von 140 von der Außenwandinnenfläche im Fall eines 70er-Jahre Gebäudes mit einer Außenwandstärke von 25 cm eine Balkonnutztiefe von 115 cm resultiert, die Passivhausausführung in Massivbauweise mit ihren hohen Wandstärken jedoch nur eine Nutztiefe des Balkons von 85cm zulässt (bei gleicher Auswirkung auf die Einschränkung des Blickfeldes).

Daraus resultiert, dass es von wesentlicher Bedeutung ist, die Außenwandstärke so gering wie möglich zu halten. Leichtbauaußenwandkonstruktionen aus Holz oder Fermacell können hier im Neubaufall wesentliche Vorteile bieten.

Aus Abb. 86 lässt sich ablesen, dass auch die Profilstärke des Fensters Einfluss auf die Einschränkung des Blickfeldes hat. So muss im Fall einer Sanierung mit speziell schlanken Profilen gearbeitet werden, will man die Wirkung des Bestandsfensters nicht verschlechtern.

5.3.2. Reduktion von Besonnung und Strahlungsgewinnen

Um durch einen Balkonüberstand **keine** Verluste der solaren Einstrahlung am Fenster zu bekommen, müsste ein Winkel von ca. $43,5^\circ$ zur Horizontalen gemessen eingehalten werden. Dies lässt keine sinnvolle Balkonanordnung zu.

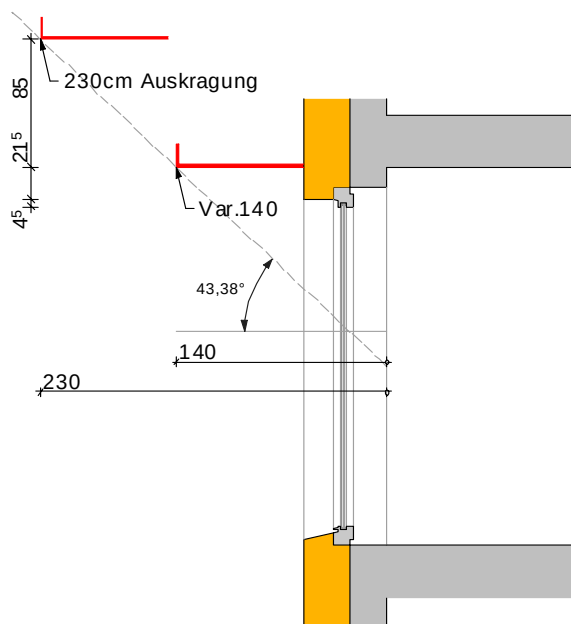


Abb. 87 Winkel für gleiche solare Gewinne

Daraus resultiert, dass die Besonnung und damit die Strahlungsgewinne eines Fensters durch einen darüber angeordneten Balkon **jedenfalls** reduziert werden.

Um abzuschätzen, in welcher Größenordnung sich dieser Verlust bewegt und was er im Passivhaus bedeutet, wurde eine Wohnung im PHPP abgebildet.

Angenommen wurde eine Wohnung mit ca. 75 m^2 Nutzfläche in einem in Passivhausbauweise errichteten Gebäude mit den Abmessungen L/B/H=20/12/12m. Die Wohnung besitzt einseitig eine Außenwand mit Standardpassivhausfenstern, alle anderen seitlichen Umschließungswände der Wohnung liegen im Gebäudeinneren.

Die Fensterfläche der gesamten Wohnung beträgt $14,25 \text{ m}^2$, das sind 25% der belichteten Nutzfläche der Wohnung und damit 19% bezogen auf die Nutzfläche der gesamten Wohnung (inkl. nicht belichteter Flächen)

Von der gesamten Fensterfläche wurden $8,32 \text{ m}^2$, nämlich das Fenster des Wohnraumes, durch einen Balkon verschattet.

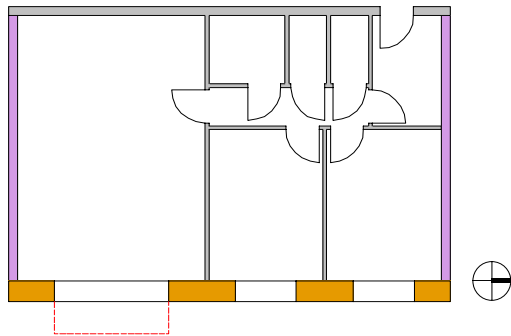


Abb. 88 Grundriss mit Lage der Fenster

Verglichen wurde die Auswirkung der Verschattung durch Balkone mit einem Überstand von 1,4m und 2,3m (jeweils von der Raum abschließenden Wandfläche gemessen) mit einer Variante ohne Balkon.

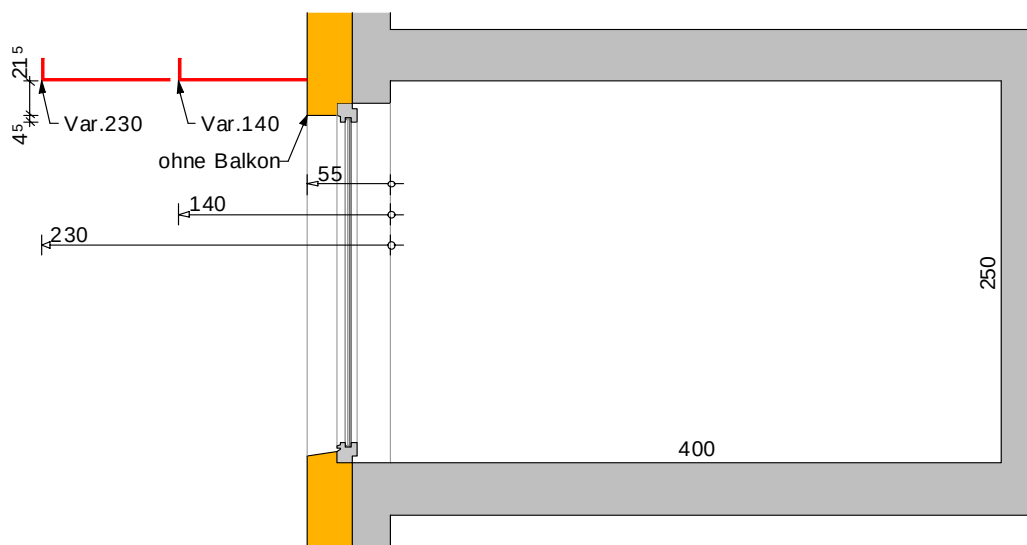


Abb. 89 Varianten der Balkonüberstände

Unterschieden wurde dabei nach der Orientierung der Verglasung und in welchem Geschoss die Wohnung liegt.

Vergleicht man nun die unterschiedlichen Varianten in Abhängigkeit der Orientierung und des Geschosses zeigen sich folgende Ergebnisse:

Orientierung	Lage	Verschattungs- überstand	Reduktionsfaktor solare Einstrahlung	Globalstr. Heizzeit	Wärmeangebot Solarstrahlung Q_s	Heizwärme- mehrbedarf bezogen zur Nutzfläche
Ost	DG	[m]		[kWh/(m ² a)]	[kWh/a]	[kWh/(m ² NFLa)]
		2,3/0,26	0,327	252,000	621,010	1,341
		1,4/0,26	0,357	252,000	679,252	0,733
		ohne Balkon	0,396	252,000	752,313	0,000
Ost	OG2	[m]		[kWh/(m ² a)]	[kWh/a]	[kWh/(m ² NFLa)]
		2,3/0,26	0,260	252,000	493,582	0,679
		1,4/0,26	0,284	252,000	539,874	0,364
		ohne Balkon	0,315	252,000	597,943	0,000
Ost	OG1	[m]		[kWh/(m ² a)]	[kWh/a]	[kWh/(m ² NFLa)]
		2,3/0,26	0,210	252,000	398,920	0,639
		1,4/0,26	0,230	252,000	436,333	0,346
		ohne Balkon	0,254	252,000	483,266	0,000
Ost	EG	[m]		[kWh/(m ² a)]	[kWh/a]	[kWh/(m ² NFLa)]
		2,3/0,26	0,176	252,000	334,478	0,862
		1,4/0,26	0,192	252,000	365,848	0,478
		ohne Balkon	0,213	252,000	405,199	0,000

Tab. 25 Heizwärmemehrbedarf durch Balkonverschattung in unterschiedlichen Geschossen, Ost

Die solaren Gewinne sind prinzipiell umso höher, je weiter oben das betrachtete Geschoss liegt, da die Verschattung durch ein (angenommenes) Nachbargebäude abnimmt. So ist das Wärmeangebot Solarstrahlung je m² Fensterfläche ohne Balkon im Erdgeschoss nur 28,43 [kWh/m² Fensterfläche, a]. Das Wärmeangebot im Dachgeschoss liegt bereits bei 52,78 [kWh/m² Fensterfläche, a]. Daher wirken sich die Balkonüberstände in einem höher liegenden Geschoss auf die Reduktion der passiven Gewinne stärker aus. Vergleicht man (bei einem Überstand von 2,3m) wieder das EG mit dem DG, reduziert sich das Wärmeangebot Solarstrahlung **je m² Fensterfläche** im EG nur um 4,96 [kWh/m² Fensterfläche, a] im DG sind es 9,21 [kWh/m² Fensterfläche, a].

Durch die reduzierten solaren Gewinne steigt der Heizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche im OG2 bei einem Balkonüberstand von 1,4m um 0,364 [kWh/m²NFLa] bei einem Überstand von 2,3m um 0,679 [kWh/m²NFLa]. Zu beachten ist, dass hier nur ca. 8 von 14 m² Fenstern beschattet angenommen wurden, die Reduktion aber auf die gesamte Nutzfläche umgelegt wurde. Würde man alle Fenster in gleicher Weise beschatten, wären die Verluste entsprechend höher.

Würde man auch über dem DG ein verschattendes Element anbringen, wären die Auswirkungen noch deutlicher. Hier würde durch ein verschattendes Element mit 2,3m Überstand der Heizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche um 1,34 [kWh/m²NFLa] im Vergleich zu der Variante ohne Überstand steigen. Im Passivhausstandard bedeuten diese Zahlen bereits eine Zunahme des Heizwärmebedarfes um ca. 10 % verglichen mit dem zu erzielenden Gesamtwert 15 kWh/m² a.

Orientierung	Lage	Verschattungs- überstand	Reduktionsfaktor solare Einstrahlung	Globalstr. Heizzeit	Wärmeangebot Solarstrahlung Q_s	Heizwärme- mehrbedarf bezogen zur Nutzfläche
Süd	DG	[m]		[kWh/(m ² a)]	[kWh/a]	[kWh/(m ² NFLa)]
		2,3/0,26	0,376	375,000	1065,128	1,665
		1,4/0,26	0,421	375,000	1192,905	0,751
		ohne Balkon	0,462	375,000	1311,649	0,000
Süd	EG	[m]		[kWh/(m ² a)]	[kWh/a]	[kWh/(m ² NFLa)]
		2,3/0,26	0,148	375,000	418,309	1,142
		1,4/0,26	0,165	375,000	468,491	0,545
		ohne Balkon	0,182	375,000	515,126	0,000

Tab. 26 Heizwärmemehrbedarf durch Balkonverschattung, Südseite

Bei einer südseitigen Verglasung zeigt sich ein gleiches Bild wie oben. Die Gewinne sind im DG höher als im EG und die Verschattung durch einen Balkon wirkt sich im DG ebenso höher aus als im EG. So sinken die solaren Gewinne je m² Fensterfläche bei einer Balkonauskragung von 2,3m im EG um 6,78 [kWh/m² Fensterfläche, a].

Im DG beträgt die Differenz bereits 17,3 [kWh/m² Fensterfläche, a].

Orientierung	Lage	Verschattungs- überstand	Reduktionsfaktor solare Einstrahlung	Globalstr. Heizzeit	Wärmeangebot Solarstrahlung Q_s	Heizwärme- mehrbedarf bezogen zur Nutzfläche
Nord	DG	[m]		[kWh/(m ² a)]	[kWh/a]	[kWh/(m ² NFLa)]
		2,3/0,26	0,323	173,000	422,169	0,959
		1,4/0,26	0,347	173,000	453,860	0,590
		ohne Balkon	0,386	173,000	505,403	0,000
Nord	EG	[m]		[kWh/(m ² a)]	[kWh/a]	[kWh/(m ² NFLa)]
		2,3/0,26	0,203	173,000	263,877	0,649
		1,4/0,26	0,217	173,000	283,685	0,401
		ohne Balkon	0,241	173,000	315,902	0,000

Tab. 27 Heizwärmemehrbedarf durch Balkonverschattung, Nordseite

Im Vergleich zu den anderen Orientierungen wirken sich bei einer Nordorientierung die Balkonverschattungen am geringsten aus. Das liegt daran, dass die solaren Gewinne im Norden wesentlich geringer sind. Vergleicht man die Globalstrahlung in der Heizzeit, liegt sie für den Standort Wien City im Norden bei 173 [kWh/(m²a)] im Süden aber bei 375 [kWh/(m²a)].

Möchte man einen Balkon als Freiraum verwenden muss, man bei der energetischen Performance jedenfalls eine Abschwächung in Kauf nehmen.

Wir sind jedoch der Meinung, dass zugunsten der Wohnqualität dem wohnungseigenen Freiraum und damit einer gewissen Verschlechterung der Performance jedenfalls der Vorzug gegeben werden muss.

Dieser Mehrbedarf an Energie muss z.B. durch eine thermische Verbesserung der Gebäudehülle wieder ausgeglichen werden.

5.3.3. Einschränkung der Belichtung

Die Größe eines Balkons wird nicht zuletzt dadurch eingeschränkt, dass er im Normalfall im Geschosswohnbau einen wesentlichen Einfluss auf die Belichtungsverhältnisse im Raum darunter hat. Diese Tatsache steht der optimalen Nutztiefe diametral entgegen. Je tiefer ein Balkon ist, d.h. desto mehr Freiheiten und Möglichkeiten der Nutzung bietet er, desto stärker ist aber auch die Verschlechterung der Belichtungsverhältnisse im darunter liegenden Raum. Es muss daher in jedem Fall nach einem Kompromiss gesucht werden, bzw. nach einer Lösung, die auf alternative Weise eine Optimierung der widersprechenden Parameter ermöglicht.

Diese Einschränkung ist von den drei beschriebenen Punkten Blickfeld, Besonnung und Belichtung die gravierendste. Es wurden daher umfangreiche Simulationen zur Belichtung eines Wohnraumes unter verschiedenen Balkonen durchgeführt und eine Optimierung versucht.

5.4. Lichtsimulationen für Wohnräume unter Balkonen

In den folgenden Unterkapiteln werden die Auswirkungen unterschiedlicher Balkonauskragungen auf die Beleuchtungsstärken in dem darunter liegenden Raum miteinander verglichen.

5.4.1. Grundannahmen

5.4.1.1. Raum

Für die Simulationen wurde ein Raum mit folgenden Eigenschaften angenommen:

Raumgeometrie Breite 4,5m, Länge 7m, Raumhöhe 2,5m

Wandstärken Passivhausbauweise 0,5m

Fläche 31,5m²

Reflexionsgrad Decke u. Wandfläche 80% Bodenfläche 35%

Die Annahmen der Reflexionszahlen wurden in Absprache mit Herrn D.I. Pokorny festgelegt.

Fenstergröße

Die Rohbauöffnung des Fensters beträgt 25 % der Fußbodenfläche des Raumes. In Passivhausbauweise (mit überdämmten Fensterstöcken) ergibt sich daraus eine Architekturlichte von 6,9m². Durch den Schwächungsfaktor „Versprossung“ von 77% ergibt sich, wenn nicht anders angegeben, eine Verglasungsfläche von 5,99m².

Eigenschaften der Verglasung

Lichttransmissionsgrad TL Verglasung Passivhausfenster 69%

Werte von Fa. Uniglas entsprechend 3-Scheibenverglasung

Reduktionsfaktor durch Verschmutzung allgemein 90%

5.4.1.2. Programm, Messpunkte

Wie im Kap 4.4.4.1.2 beschrieben, wird jeweils der Tageslichtquotient TQ in zwei Punkten (mit einem Abstand von 2m von der Fensterwand und 1m von der seitlichen Wand) bezogen auf drei in unterschiedlichen Höhen (+0,85m, +0,4m ±0,0m) angesetzte Bewertungsebenen berechnet. Weiters wird der mittlere Tageslichtquotient Dm der jeweiligen Bewertungsebene ermittelt.

Berechnungsprogramm: Relux2005

5.4.2. Unterschied zwischen Simulation und Messung:

Zur Objektivität der berechneten Daten bzw. zu Unterschieden der Rechenprogramme zueinander und zu einer Tageslichtmessung andererseits siehe Kap. 4.4.1.

Es ist äußerst wichtig, darauf hinzuweisen, dass die simulierten Ergebnisse zwar untereinander sehr gut vergleichbar sind und eine gute Abschätzung darüber zulassen, welche Maßnahme mehr oder weniger Beeinträchtigung bringt. Ein direkter Vergleich mit der Realität ist jedoch mit Vorsicht zu genießen, da in der Realität auch der bedeckte Himmel nie gleich ist und sich selten wie der in der Simulation angenommene Normhimmel verhält. Generell liefert die Simulation jedenfalls deutlich niedrigere Ergebnisse als die Messung im Modell. Die Werte in der gebauten Realität sind daher als eher besser als die Simulation anzunehmen.

Datum: die Falschfarbendarstellungen beziehen sich auf den 21.3 eines Jahres um 12h.

5.4.3. Darstellung der Ergebnisse

Alle simulierten Räume wurden in folgender Weise dargestellt:

Da der Raum immer der gleiche ist, erübrigt sich seine Darstellung. Abgebildet wird jedes Mal die Fensterwand von außen mit Architekturlichte und Glaslichte und der Angabe der Raumkanten als strichlierte Linien, daneben eine Tabelle mit den wichtigsten Kennwerten.

Darunter befinden sich drei Darstellungen des Raumes in sogenannter Falschfarbendarstellung: d.h. nicht realistisch abgebildet, sondern in Farben von rot bis hellblau, die den Beleuchtungsstärken zugeordnet sind.

Die Grenzen zwischen den einzelnen Farben wurden folgendermaßen gewählt:

50 lux	Grenze für Mindestbeleuchtung auf Gangflächen
150 lux	Schwellwert für ausreichende Tageslichtversorgung
300 lux	guter Tageslichtwert
500 lux	auf Arbeitsplätzen geforderte Beleuchtungsstärke
über 1000 lux	sehr hell

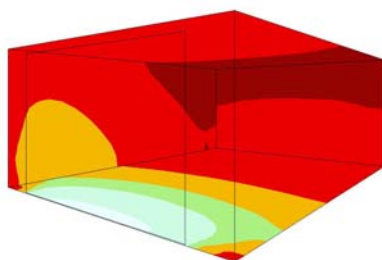
Eine Darstellung ist ein perspektivisches Rendering, von der Fensterseite aus in den Raum geschaut, die beiden anderen Darstellungen stellen die Beleuchtungsstärken auf den Messebenen 0,0 = Fußbodenniveau und 0,4 = Höhe einer Sitzbank dar.

Wichtig zu beachten ist folgendes:

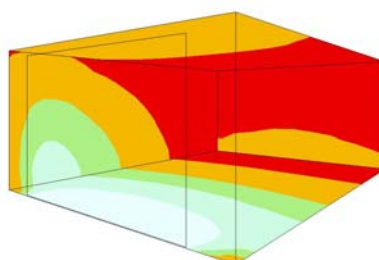
1. die Falschfarbendarstellungen geben die Lichtverhältnisse im Raum an einem bestimmten Tag des Jahres zu einer bestimmten Uhrzeit mit bedecktem Himmel wieder (21.3, 12:00), siehe 5.4.3.1.1.
2. die Ergebnisse der Simulationen dienen hauptsächlich zum Vergleich der Varianten untereinander. Wie weit die errechneten TQs und Beleuchtungsstärken auch Messungen in der Realität entsprechen würden, darüber lässt sich keine gesicherte Aussage machen. Wie in Kap. 5.4.2 dargestellt, gibt es erhebliche Abweichungen zwischen Simulation und durchgeführten Messungen in der Realität. Sicher ist jedenfalls, dass die Messungen deutlich bessere Ergebnisse liefern als die Simulation und zwar im Bereich einer Verdopplung der Werte. Die Simulation liegt damit jedenfalls "auf der sicheren Seite".

5.4.3.1.1. Belichtungsstärke in Abhängigkeit der Jahreszeit

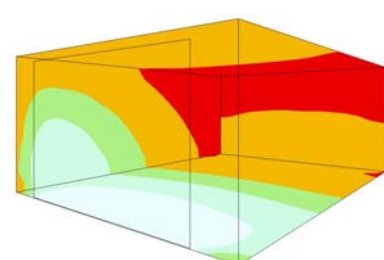
Wie schon im vorigen Kapitel dargestellt, gibt das Falschfarbenrendering nur einen Momentzustand des Raumes wieder, und zwar die Beleuchtungsstärken im Raum am 21.3. um 12h bei bedecktem Himmel und einer Außenbeleuchtungsstärke von 14200 lx. Um einen Eindruck zu geben, wie weit sich die Beleuchtungsstärke im Laufe des Jahres bei bedecktem Himmel verändert, werden hier auch zwei weitere Tage abgebildet.



Betrachtung am 21.12.



Betrachtung am 21.3.



Betrachtung am 21.6.

Abb. 90 Belichtungsstärke im Raum an drei verschiedenen Tagen

	Betrachtung am 21.12.			Betrachtung am 21.3.			Betrachtung am 21.6.		
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00	0,85	0,40	0,00	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,10	2,70	3,20	2,10	2,70	3,20	2,10	2,70	3,20
TQ Punkt1 li [%]	2,40	3,20	4,00	2,40	3,20	4,00	2,40	3,20	4,00
TQ Punkt2 re [%]	2,30	3,20	4,00	2,30	3,20	4,00	2,30	3,20	4,00
Em [lx]	147	183	218	302	377	448	404	505	600
E Punkt1 li [lx]	161	220	275	333	454	569	448	608	764
E Punkt2 re [lx]	162	219	275	332	451	569	449	606	767
Außenbeleuchtungsstärke [lx]	6890			14200			19000		

Tab. 28 Unterschiedliche Luxwerte zu verschiedenen Jahreszeiten

5.4.4. Der Istzustand als Ausgangslage

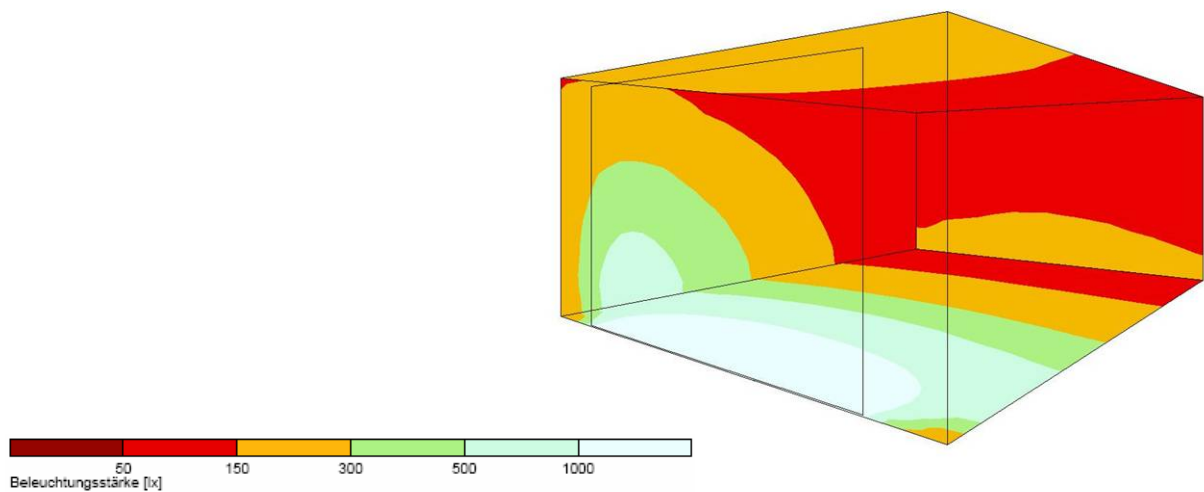
5.4.4.1. Grundvariante ohne Balkonverschattung

Als Vergleichsvariante wurde der oben beschriebene Raum ohne Balkonverschattung angenommen. Das Fenster wurde mit einem Sturz von ca. 12cm angenommen (wie in Abb. 86 Standardpassivhausfenster).

Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,32/2,38 \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,14/2,20 \rightarrow 6,9\text{m}^2$

Erklärung der Falschfarbendarstellung s. Kap. 5.4.3



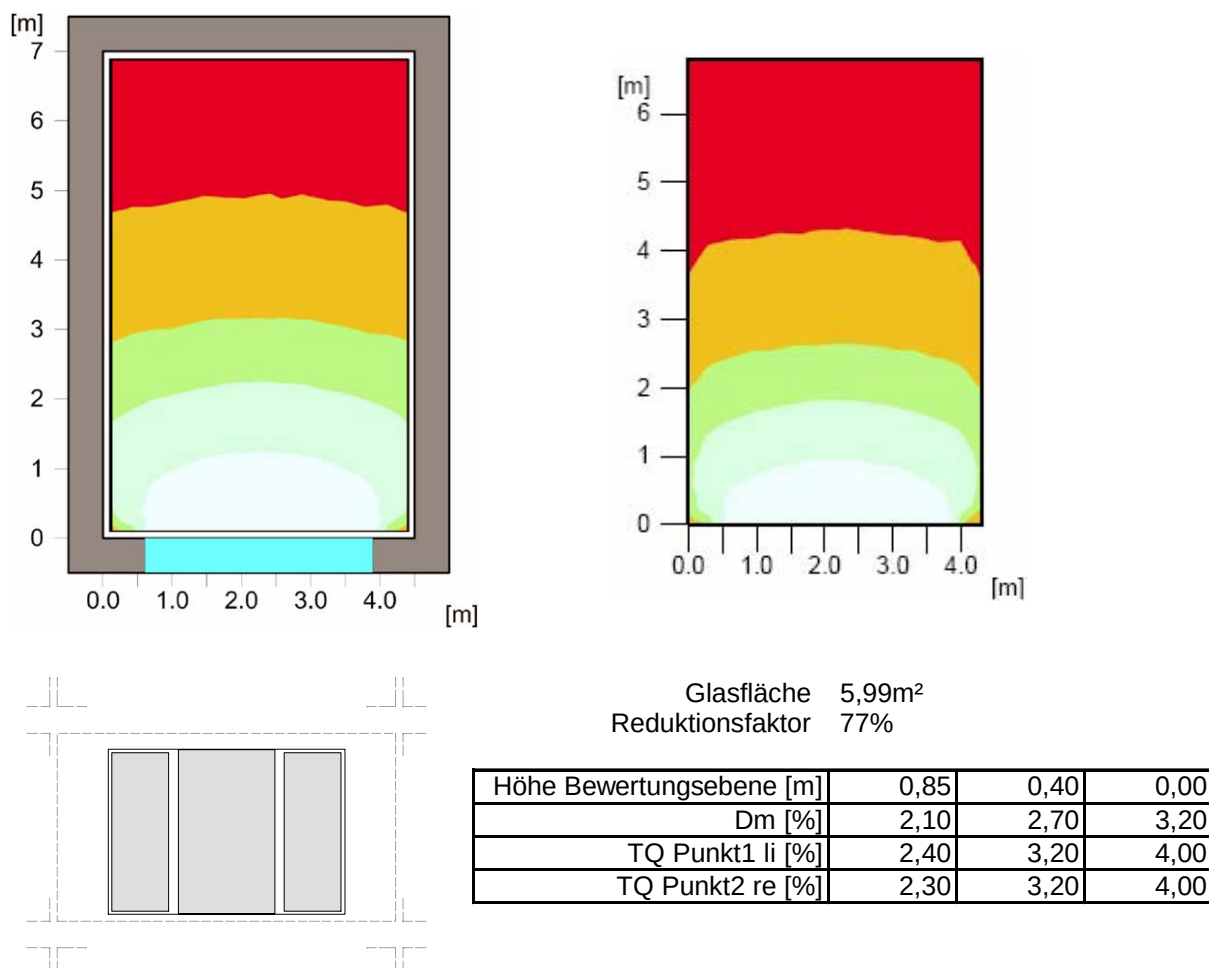


Abb. 91 Grundvariante ohne Balkonverschattung

In der Falschfarbendarstellung kann man gut die Gesamtausleuchtung des Raumes erkennen. Betrachtet man die unterschiedlichen Messebenen wird die Zunahme des Tageslichtquotienten zum Boden hin deutlich.

5.4.4.2. Variante mit einer Balkonauskragung von 1,4m

Als erste Variante wurde eine Balkonauskragung von 1,4m betrachtet, (von der Innenseite der Außenwand aus gemessen), und einer Balkonbreite von 3,14m die der Fensterbreite entspricht. Dies stellt einen durchaus üblichen Ausführungsfall in Gebäuden der letzten 50 Jahre dar.

Die Rohbaumaße sind: B/H = 3,32/2,38m → 7,875m²

Die resultierende Architekturlichte ist: B/H = 3,14/2,20m → 6,9m²

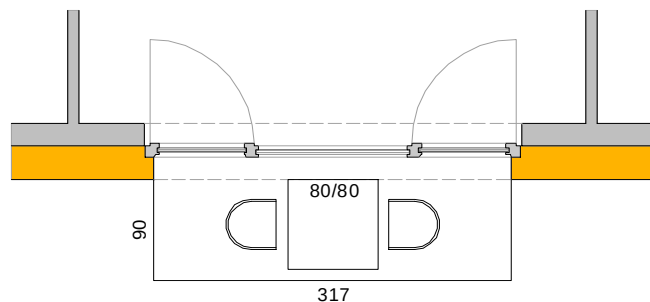


Abb. 92 Grundriss Balkon

Falschfarbendarstellung

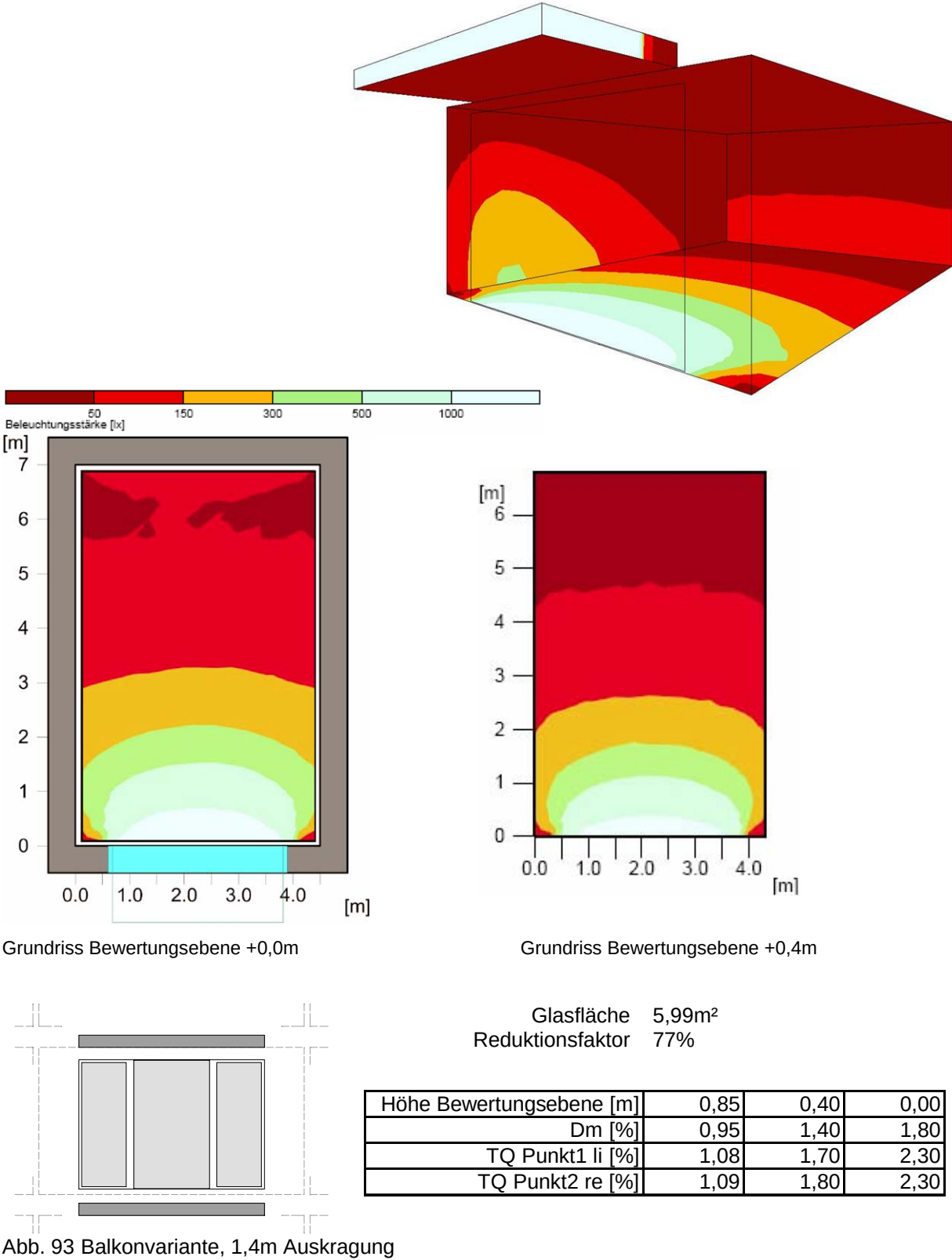


Abb. 93 Balkonvariante, 1,4m Auskragung

Vergleicht man nun die unterschiedlichen Bewertungsebenen mit der Variante ohne Balkon, zeigt sich selbstverständlich eine Reduzierung des Tageslichtquotienten auf allen Ebenen. Auch die Deckenebene ist, wie in der Falschfarbendarstellung ersichtlich, gegenüber der Variante ohne Balkon dunkler. Der Einfluss der Verschattung wirkt sich allerdings in der Raumtiefe geringer aus als direkt hinter der Fensterfläche.

5.4.4.3. Variante mit einer Balkonauskragung von 1,4m über die gesamte Fassadenlänge

Bei dieser Variante wurde der Einfluss der Balkonbreite auf die Belichtung untersucht. Dafür wurde bei der Simulation der Balkon 4m über die Raumbegrenzung hinaus erweitert. Die Auskragung und das Fenster wurden gleich wie bei Variante 5.4.4.2 angenommen.

Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,32/2,38\text{m} \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,14/2,20\text{m} \rightarrow 6,9\text{m}^2$

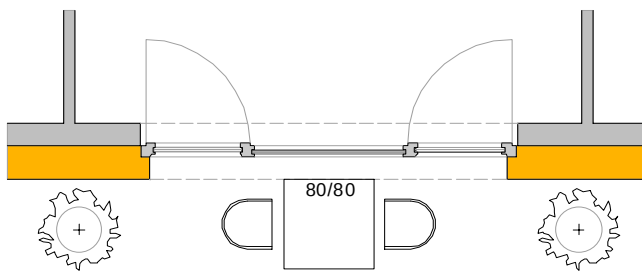
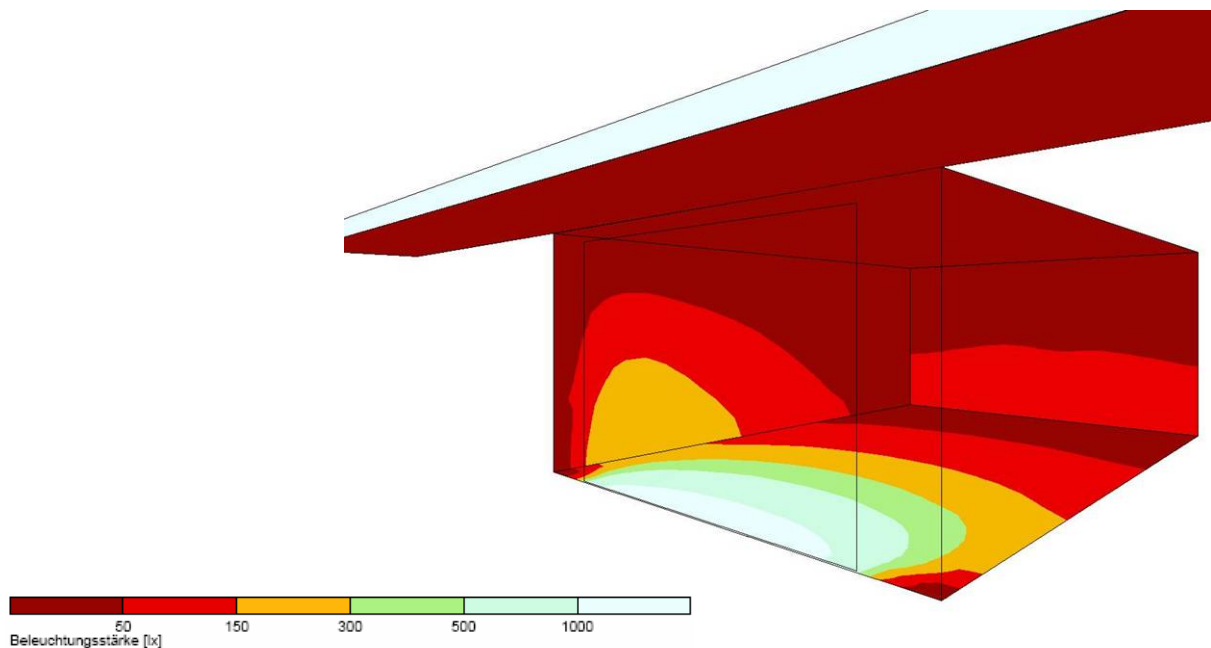
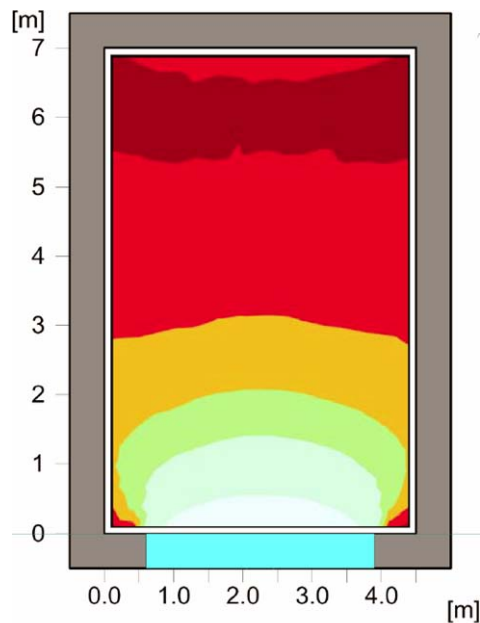


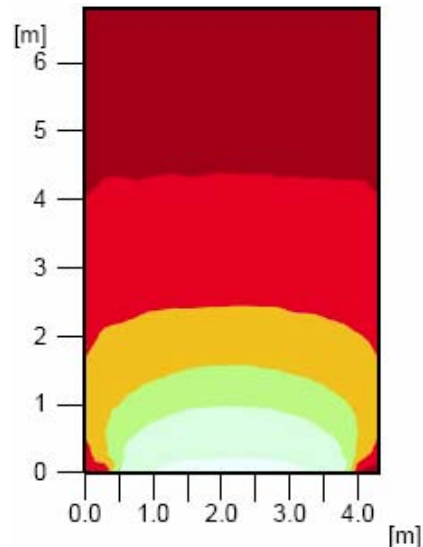
Abb. 94 Grundriss Balkon

Falschfarbendarstellung

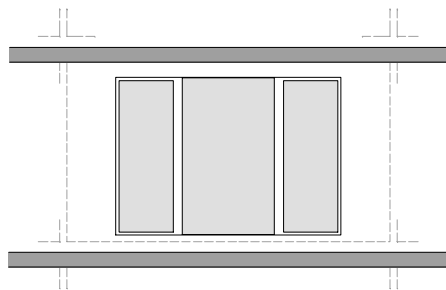




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	0,80	1,22	1,60
TQ Punkt1 li [%]	0,92	1,53	2,00
TQ Punkt2 re [%]	0,93	1,55	2,10

Abb. 95 Balkonvariante, 1,4m Auskragung über die gesamte Fassadenlänge

Die Verschlechterung, die sich aus dem breiteren Balkon ergibt, ist im Vergleich zur vorhergehenden Variante gering. Für die Belichtungsqualität kann bei dieser Auskragung vernachlässigt werden, ob der Balkon nur über dem Fenster sitzt oder über die gesamte Fassade gezogen wird. Im Sinne der Freiraumnutzung ist es jedoch besser, je mehr Nutzfläche am Balkon erzielt werden kann.

5.4.4.4. Variante mit einer Balkonauskragung von 1,4m und einer veränderten Fensterproportion

Untersucht wurde der Einfluss der Fensterproportion auf die Belichtungsqualität des Raumes um einen Vergleich für spätere Varianten zu haben. Die Verglasungsgröße wurde dabei gleich gehalten, die Balkonbreite entspricht mit 3,48m dem Fenster darunter.

Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,58/2,19\text{m} \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,40/2,01\text{m} \rightarrow 6,85\text{m}^2$

Falschfarbendarstellung

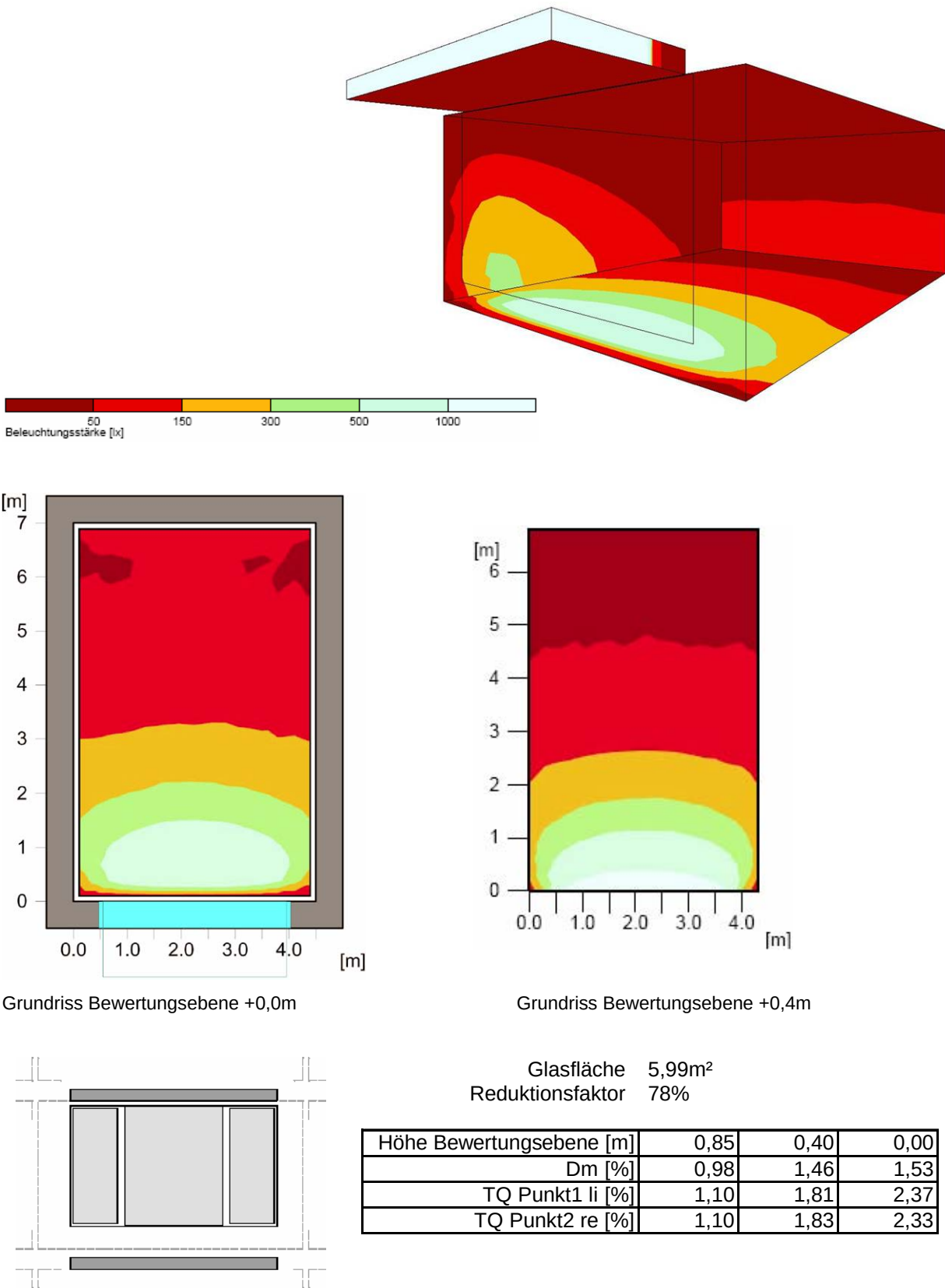


Abb. 96 Balkonvariante, 1,4m Auskragung, veränderte Fensterproportion

Das Höhersetzen des Fensters bewirkt zwar, auf der Ebene $\pm 0,0$ direkt hinter der Verglasung, eine schlechtere Belichtung, jedoch ist der restliche Raum heller als bei den beiden vorhergehenden Verschattungsvarianten.

5.4.4.5. Variante mit einer Balkonauskragung von 2,3m

Da bei einer Balkonauskragung von 1,4m und einer Wandstärke von 0,5m gerade mal 0,9m nutzbarer Balkon übrig bleibt und dies in keiner Weise den Anforderungen eines Nutzers entspricht, haben wir in gleicher Weise eine Balkonauskragung von 2,3m (von der Außenwandinnenfläche gemessen) betrachtet. Die Balkonbreite entspricht mit 3,14m wieder der Fensterbreite darunter.

Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,32/2,38 \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,14/2,20 \rightarrow 6,9\text{m}^2$

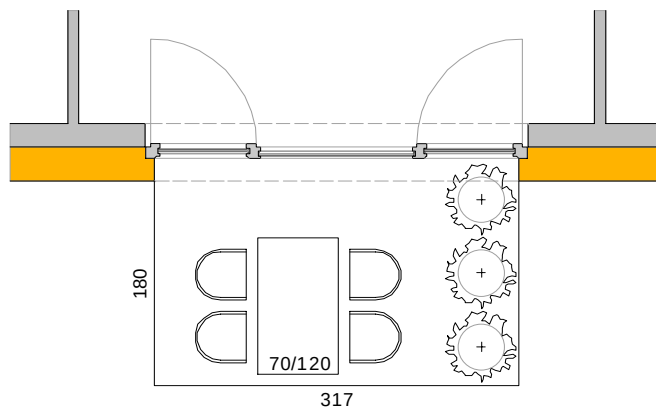
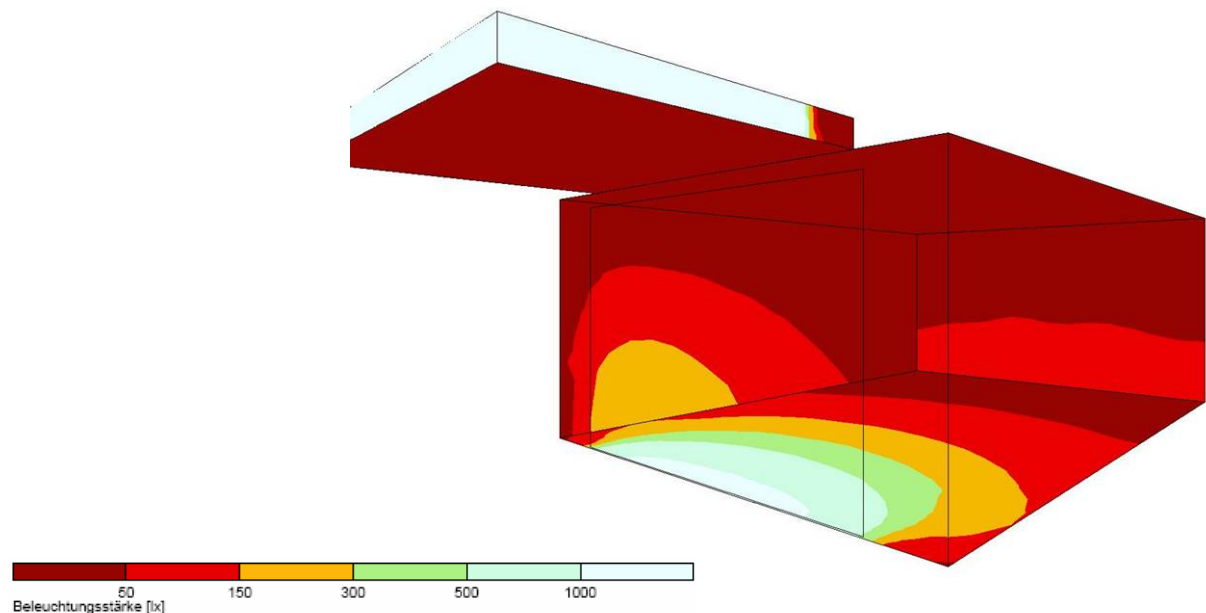
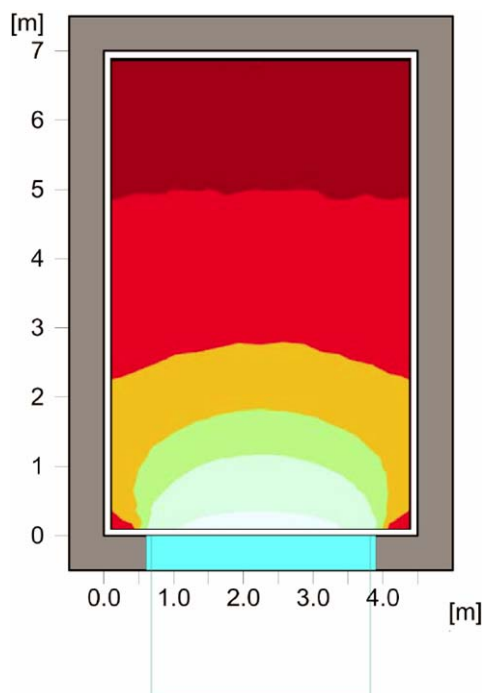


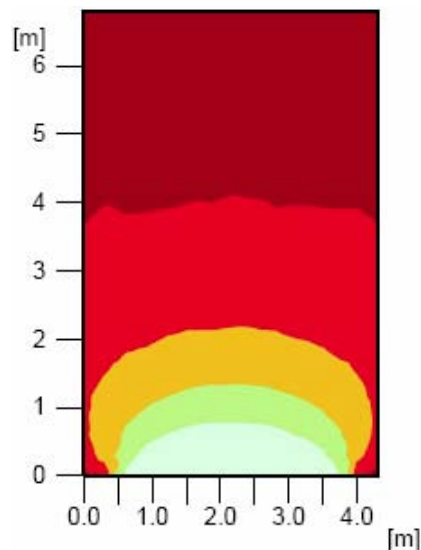
Abb. 97 Grundriss Balkon

Falschfarbendarstellung

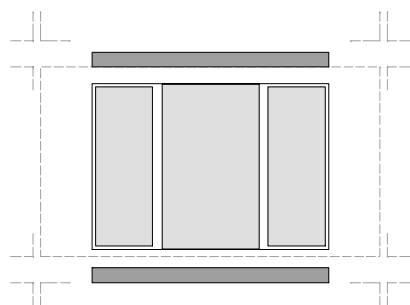




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	0,64	0,99	1,35
TQ Punkt1 li [%]	0,72	1,16	1,67
TQ Punkt2 re [%]	0,74	1,18	1,70

Abb. 98 Balkonvariante, 2,3m Auskragung

Vergleicht man diese Variante mit der ohne Balkon wird eine erhebliche Verschlechterung des Tageslichtquotienten deutlich. Beträgt diese bei der Grundvariante im Punkt 1 links auf Ebene $\pm 0,0$ 4,0%, sinkt der Tageslichtquotient hier auf 1,67%.

5.4.5. angestrebte Werte für den Innenraum

5.4.5.1. Licht

Eine auskragende Balkonplatte von 1,1-1,2 Meter wurde bisher üblicherweise, was den Ausblick und die Belichtung betrifft, nicht als Beeinträchtigung empfunden. Dies entspricht den praktischen Erfahrungen im Architekturbüro und verschiedenen Nutzerbefragungen.

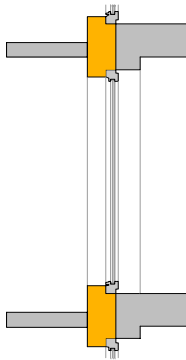
Die Tageslichtquotienten für Räume mit einer Balkonplatte der genannten Ausführung sind wie folgt:

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
TQ [%]	1,4	2,2	2,95

Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den Köpfen der Planer und auch der Nutzer dabei Räume mit 2fach-Verglasungen und normaler Wandstärke die Grundlage sind.

Wenn es sich um eine Südfassade handelt, kommt als Bonus noch die sommerliche Beschattung positiv hinzu.

Ein gleicher Raum mit Balkon in Passivhausausführung (Standardbalkon) hat völlig andere Werte, wie schon unter 5.4.4.2 dargestellt. Dies bedeutet eine Balkonauskragung von ca. 1,15m vor einer ungedämmten Standardwand mit 25 cm Wandstärke, oder 90 cm vor einer Passivhauswand mit 50 cm Wandstärke.



Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	0,95	1,40	1,80
TQ Punkt1 li [%]	1,08	1,70	2,30
TQ Punkt2 re [%]	1,09	1,80	2,30

Abb. 99 Schnitt

Belichtungstabelle mit Balkon 1,4M Passivhaus

Die Einschränkung der Lichtverhältnisse ist hier selbst mit diesem schmalen Balkon beträchtlich und sollte unbedingt verbessert werden.

Als weitere Referenz könnte noch eine Abminderung der Belichtungsqualität des unbeschatteten Raumes wie unter Kap. 5.4.4.1 dargestellt dienen. 70 % der Belichtungsqualität dieses unverschatteten Raumes würden wir als Forderung aufstellen.

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,10	2,70	3,20	1,47	1,89	2,24
TQ Punkt1 li [%]	2,40	3,20	4,00	1,68	2,24	2,80
TQ Punkt2 re [%]	2,30	3,20	4,00	1,61	2,24	2,80

Belichtungstabelle ohne Balkonverschattung

Ziel mit 70% der Lichtmenge

Diese Werte stimmen auch mit den oberen Werten aus der konventionellen Bauweise gut überein. Sie gelten für uns in weiterer Folge als Referenz.

Es soll nun versucht werden, eine Lösung zu finden, die eine ausreichende Nutztiefe zur Verfügung stellt, die vorgeschlagenen Werte erfüllt und deutlich besser als der "Standardbalkon" ist.

5.4.5.2. Nutztiefe

Hinsichtlich der Nutztiefe sehen wir eine Nettonutztiefe von 1,8 m von der Außenwandaußenfläche, dies entspricht also bei einer Wandstärke von 50 cm: 2,3 m von der Außenwandinnenfläche als notwendig an. In unseren Berechnungen haben wir immer die Auskragung von der Außenwandinnenfläche angegeben, da die Dicke der Außenwand bei leichten, nichttragenden Konstruktionen– mit gleichzeitigem Nutztiefengewinn- auch dünner ausgeführt werden könnte.

5.4.6. optimierte Lösungen

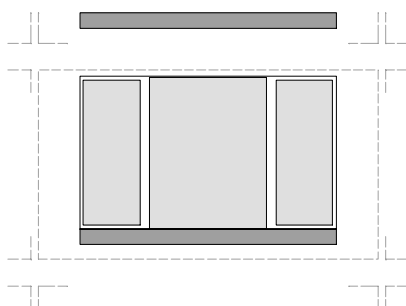
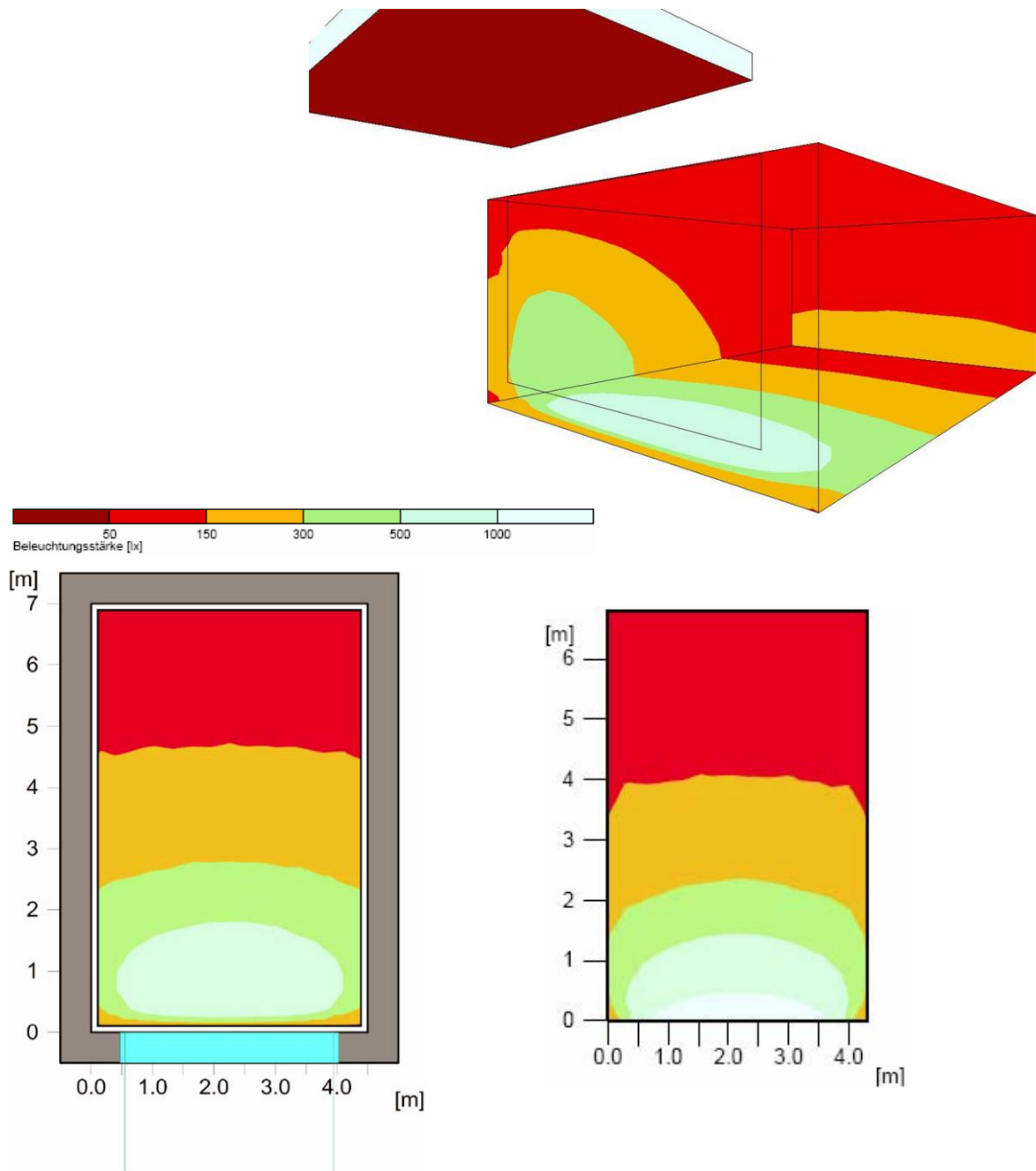
5.4.6.1. Höhersetzen

5.4.6.1.1. Variante mit einer Balkonauskragung von 2,3m und einer Niveauehebung um 0,4m

Die erste untersuchte Maßnahme ist ein Höhersetzen des Balkons um 0,4m bei einer Nutztiefe von 1,8m. Das Fenster muss dadurch ebenfalls höher gesetzt werden und wird, um die Glasfläche gleich groß zu belassen, breiter. Die Balkonbreite entspricht mit 3,40m wieder der Fensterbreite. Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,58/2,19m \rightarrow 7,875m^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,40/2,01m \rightarrow 6,85m^2$

Falschfarbendarstellung



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 78%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,60	2,02	2,07
TQ Punkt1 li [%]	1,91	2,50	2,97
TQ Punkt2 re [%]	1,90	2,52	3,00

Abb. 100 Balkonvariante, 2,3m Auskragung, 0,4m Niveauanhebung

Das Ergebnis ist beeindruckend. Durch das Hinaufsetzen des Balkons werden bessere Werte erzielt als in allen Varianten mit einer normalen Balkonauskragung von 1,4m. Die Zielvorgaben werden klar erfüllt.

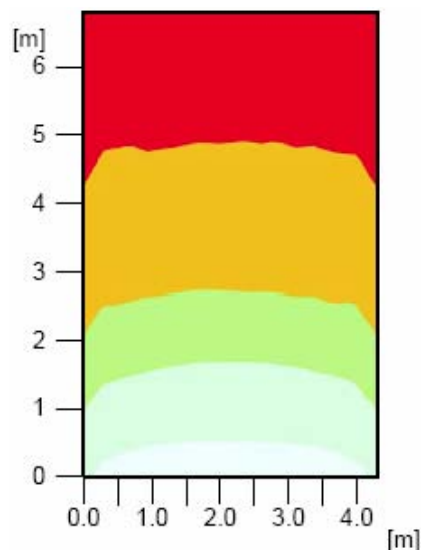
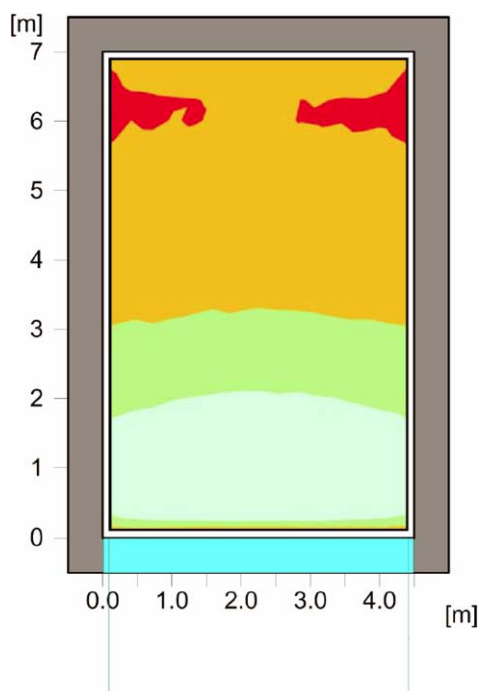
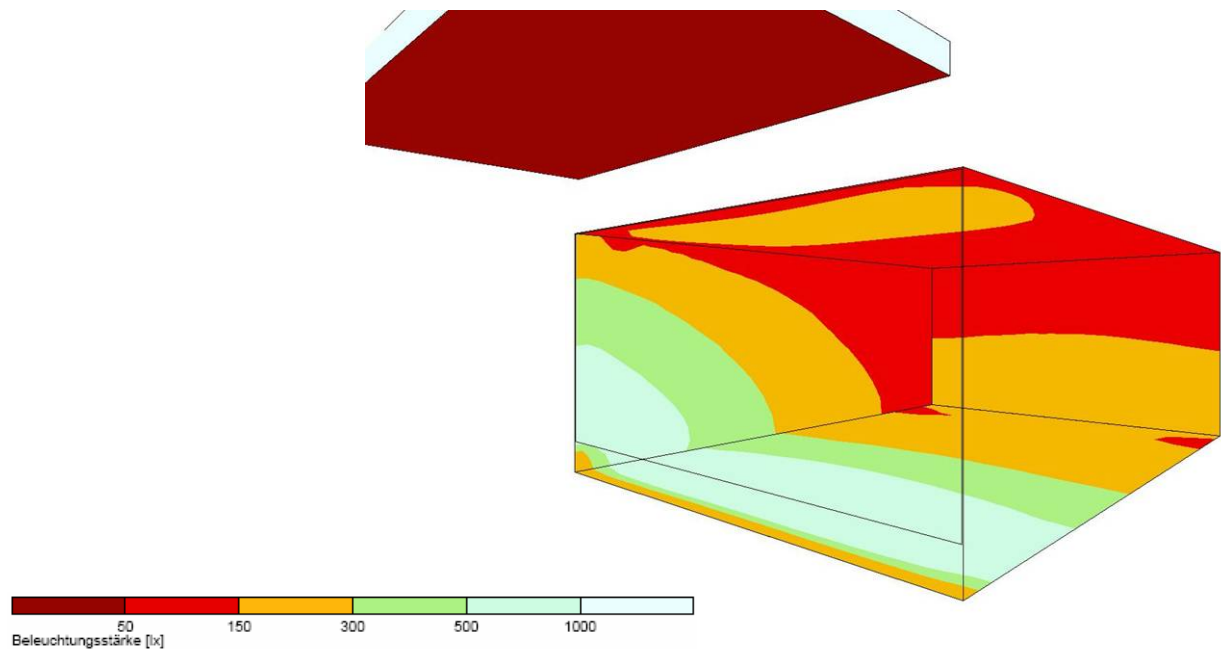
5.4.6.1.2. Variante mit einer Balkonauskragung von 2,3m, einer Niveauanhebung um 0,4m und einer Vergrößerung des Fensters auf Raumbreite

Aufbauend auf die vorangegangene Variante wurde bei dieser das Fenster noch zusätzlich über die gesamte Raumbreite vergrößert, wodurch sich eine Verglasungsfläche von 7,85m² ergibt.

Die Rohbaumaße sind: B/H = 4,5/2,19m → 9,85m²

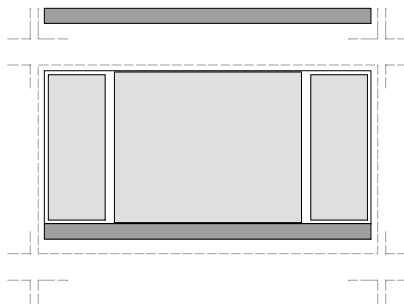
Die resultierende Architekturlichte ist: B/H = 4,32/2,02m → 8,74m²

Falschfarbendarstellung



Grundriss Bewertungsebene +0,0m

Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 7,85m²
 Reduktionsfaktor 81%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,97	2,49	2,55
TQ Punkt1 li [%]	2,37	3,16	3,71
TQ Punkt2 re [%]	2,38	3,13	3,69

Abb. 101 Balkonvariante, 2,3m Auskragung, Niveauanhebung 0,4m, Vergrößerung Zimmer auf Raumbreite

Hier werden die Ergebnisse von vorhin noch verstärkt. So steigt der Tageslichtquotient in beiden Messpunkten auf allen drei Ebenen nochmals an und auch in den hinteren Bereich des Raumes fällt mehr Licht. Mit der vergrößerten Glasfläche kann die Balkonverschattung vollständig kompensiert werden. Die Fensterfläche nimmt dabei etwas über 30 % der Nutzfläche des Raumes ein.

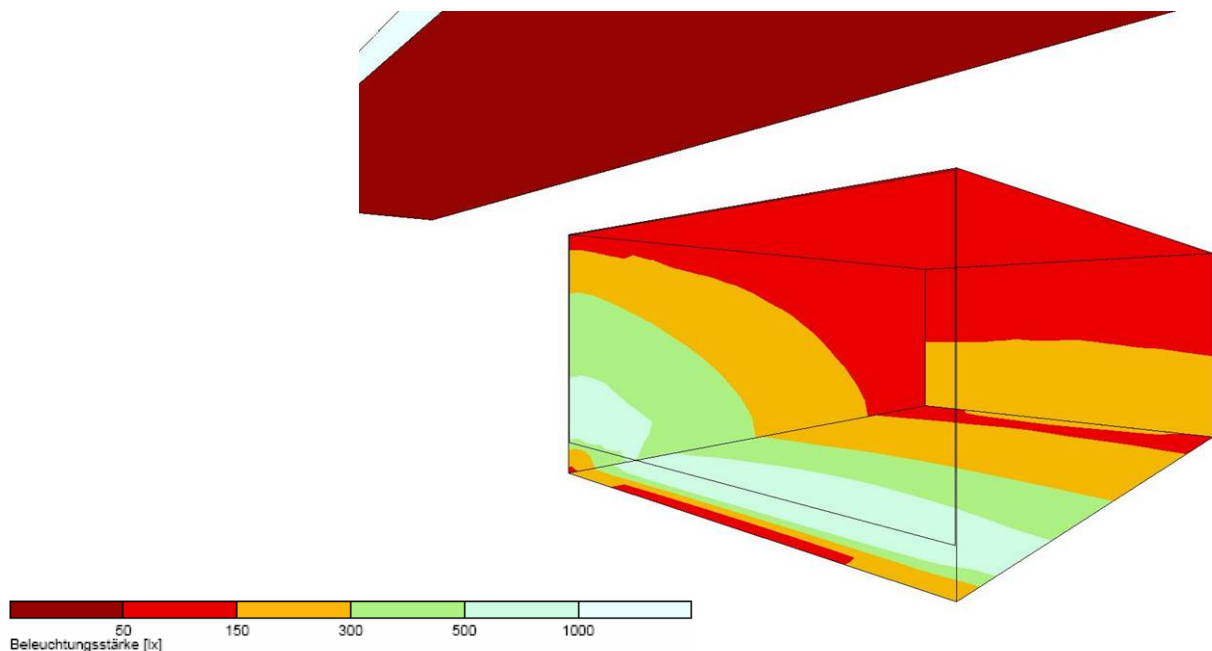
5.4.6.1.3. Variante mit einer Balkonauskragung von 2,3m über die gesamte Fassadenlänge ,einer Niveauanhebung um 0,4m und einer Vergrößerung des Fensters auf Raumbreite

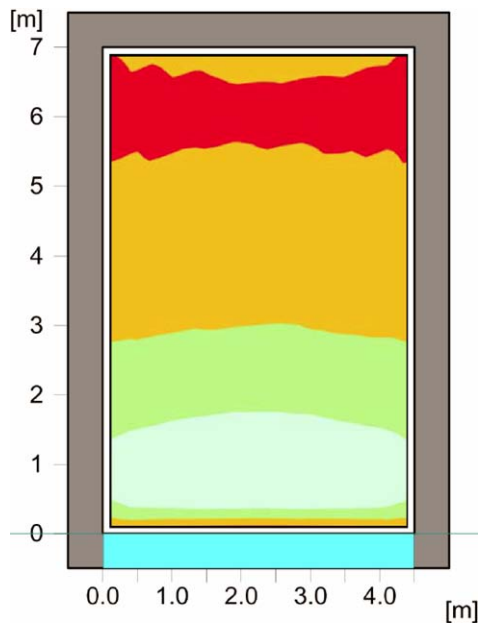
Wie schon bei einer Balkonauskragung von 1,4m wird auch hier der Einfluss der Balkonbreite auf die Belichtung untersucht. Für die Simulation wird der Balkon wieder 4m über die Raumbegrenzung hinaus erweitert. Die Auskragung und das Fenster werden gleich wie oben angenommen. Ziel ist es, einen großzügigen breiten Balkon, vielleicht über die gesamte Breite der Wohnung zu ermöglichen

Die Rohbaumaße Fenster sind: B/H = 4,5/2,19m → 9,85m²

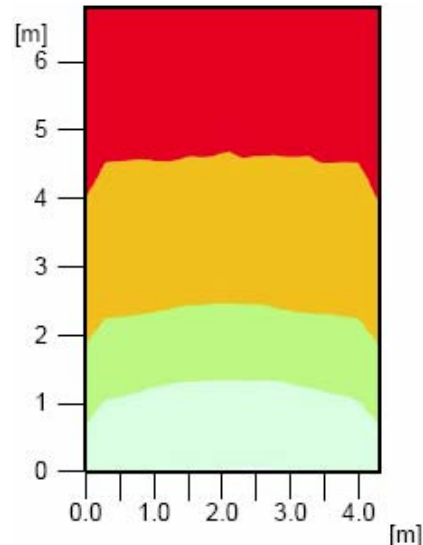
Die resultierende Architekturlichte ist: B/H = 4,32/2,02m → 8,74m²

Falschfarbendarstellung

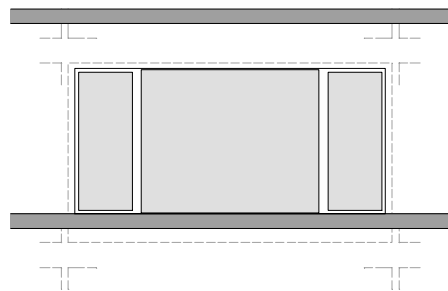




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 7,85m²
 Reduktionsfaktor 81%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,68	2,12	2,17
TQ Punkt1 li [%]	2,09	2,70	3,19
TQ Punkt2 re [%]	2,08	2,66	3,16

Abb. 102 Balkonvariante, 2,3m Auskragung über die ganze Fassade, Niveauanhebung von 0,4m, Vergrößerung des Zimmers auf Raumbreite

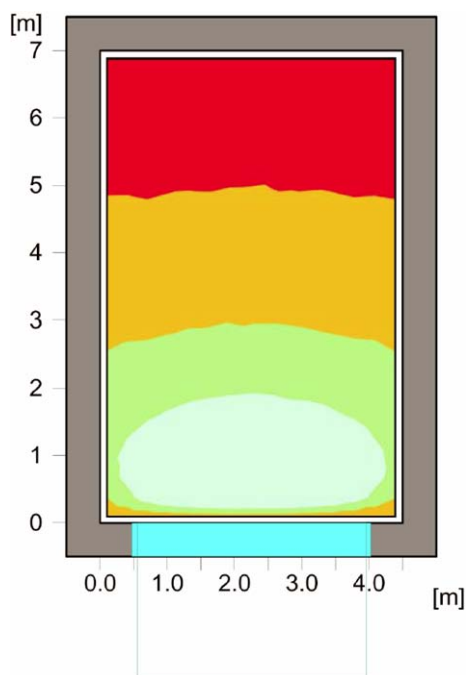
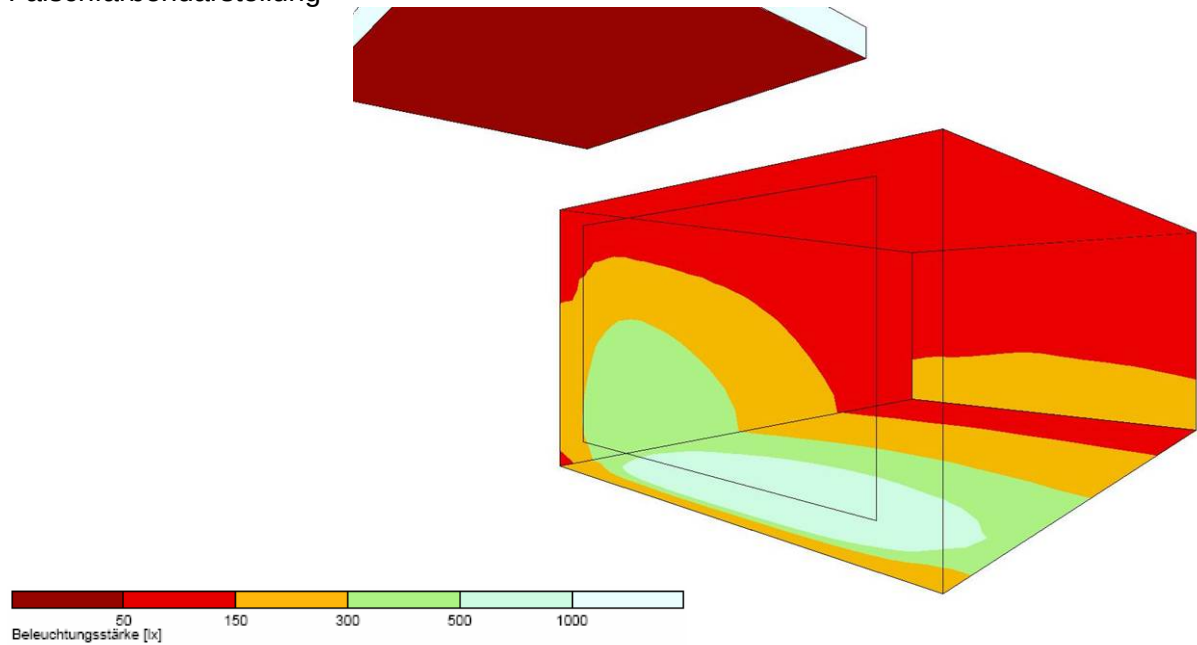
In diesem Fall hat die Breite des Balkons im vorderen Bereich einen höheren Einfluss auf die Beleuchtungsstärke als im hinteren Bereich des Raumes. Gut sichtbar ist der dunkle Bereich direkt hinter der Verglasung. Der Tageslichtquotient im Punkt1 auf Niveau $\pm 0,0$ sinkt im Vergleich zur vorhergehenden Variante von 3,71% auf 3,19%. Mit der großen Fensterfläche bleiben die Werte auch hier über den Soll-Werten.

5.4.6.1.4. Variante mit einer Balkonauskragung von 2,3m, einer Niveauanhebung um 0,4m und einer Erhöhung des Raumes auf 2,7m

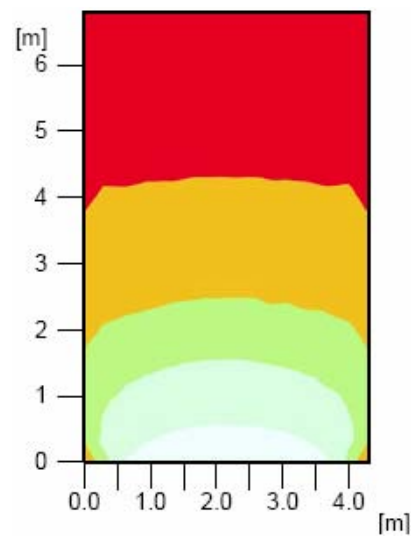
Als letzter Schritt wird untersucht, wie sich die Belichtungsqualität verhält, wenn man bei einer Balkonauskragung von 2,3m und einem Niveau auf +0,4 die Raumhöhe auf 2,7m erhöht. Das Fenster entspricht mit 5,99m² wieder der Variante unter 5.4.6.1.1. Der Balkon selbst ist mit 3,40m wieder genauso breit wie das Fenster, das er verschattet. Die Rohbaumaße Fenster sind: $B/H = 3,58/2,19\text{m} \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,40/2,01\text{m} \rightarrow 6,85\text{m}^2$

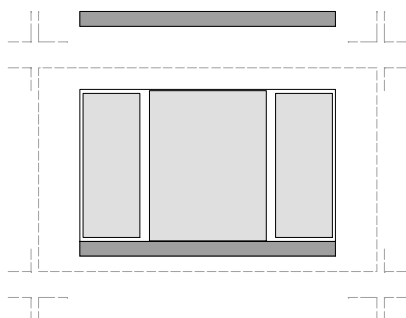
Falschfarbendarstellung



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 78%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,74	2,20	2,23
TQ Punkt1 li [%]	2,12	2,70	3,24
TQ Punkt2 re [%]	2,14	2,80	3,27

Abb. 103 Balkonvariante, Auskragung 2,3m, Niveauanhebung 0,4m, Erhöhung Raum auf 2,7m

Vergleicht man die Ergebnisse mit der Variante 5.4.6.1.1, wo bis auf die Raumhöhe alle Parameter gleich sind, lassen sich hier auf allen Ebenen bessere Werte erzielen. So steigt der Tageslichtquotient auf Niveau $\pm 0,0$ im Punkt1 von 2,97% auf 3,24%.

Das heißt: auch höhere Raumhöhen können zu einer Entschärfung des Balkonproblems beitragen.

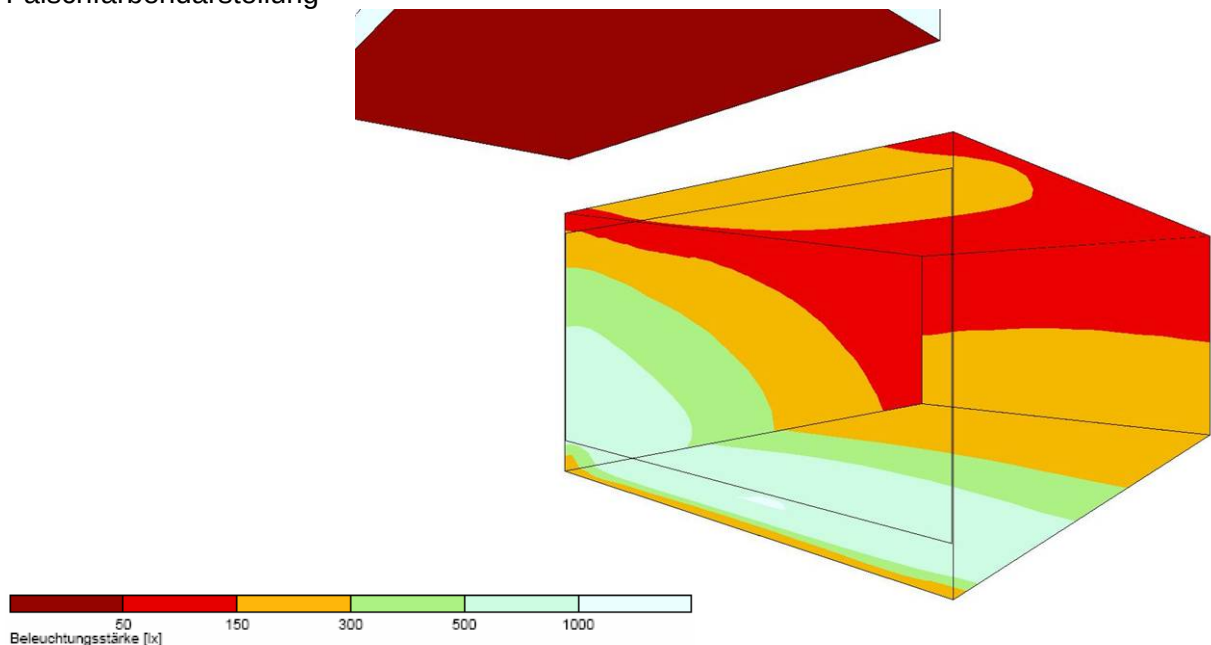
5.4.6.1.5. Variante mit einer Balkonauskragung von 2,3m, einer Niveauanhebung um 0,4m, einer Erhöhung des Raumes auf 2,7m und das Fenster über Raumbreite

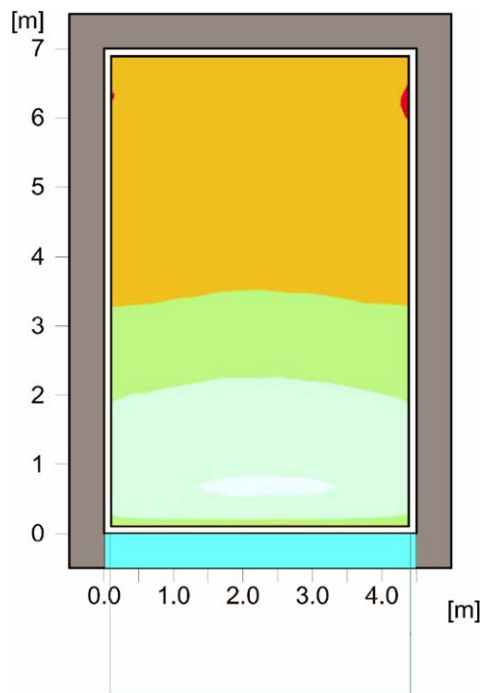
Hier wurde im Vergleich zur vorangegangenen Variante die Verglasungsfläche noch vergrößert. Durch das verbreitern des Fensters auf Raumbreite beträgt diese jetzt $7,85\text{m}^2$. Die Balkonbreite wurde dem Fenster darunter angeglichen.

Die Rohbaumaße sind: $B/H = 4,5/2,19\text{m} \rightarrow 9,85\text{m}^2$

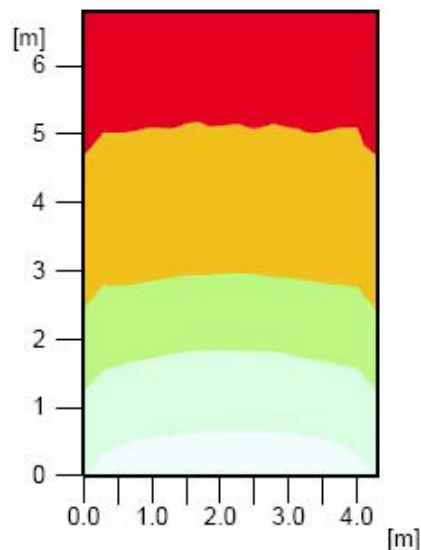
Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 4,32/2,02\text{m} \rightarrow 8,74\text{m}^2$

Falschfarbendarstellung

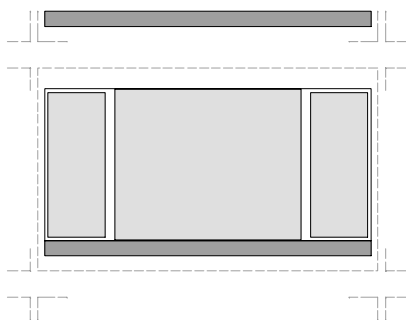




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 7,85m²
 Reduktionsfaktor 81%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	2,14	2,70	2,76
TQ Punkt1 li [%]	2,64	3,40	4,00
TQ Punkt2 re [%]	2,63	3,40	3,96

Abb. 104 Balkonvariante Auskrugung von 2,3m, Niveauehebung 0,4m, Erhöhung des Raumes auf 2,7m, raumbreites Fenster

Als Ergebnis stellen sich sogar bessere Werte ein als in der Variante ohne Balkonverschattung s.5.4.4.1 (mit kleinerem Fenster) . Vor allem im hinteren Bereich des Raumes ist die Ausleuchtung wesentlich verbessert. Beträgt der Tageslichtquotient in einem Punkt der 1m entfernt von der hinteren Wand auf dem Niveau $\pm 0,0$ liegt bei der Variante ohne Balkon 0,9% ist er bei dieser Variante auf 1,13% gestiegen.

5.4.6.2. Bewertung der Maßnahme Höhersetzen

Die Maßnahme Höhersetzen ist nach unserer Meinung die vielversprechendste Maßnahme für den kompakten Passivhauswohnbau überhaupt. Sie löst erstmals das Dilemma und ermöglicht großzügiges Wohnen im Freien. Wie in weiterer Folge unter Kap. 5.4.6.6.1 beschrieben wird, sind hier sogar noch Steigerungen möglich.

5.4.6.3. Seitliches Versetzen

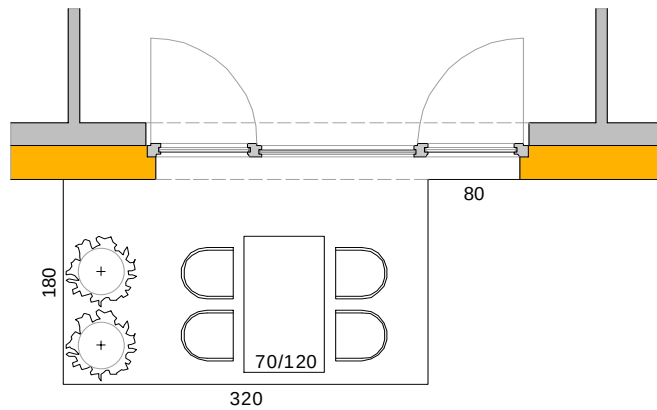
Als weitere Möglichkeit der Optimierung, um der schlechteren Lichtperformance durch eine Balkonauskrugung von 2,3m entgegen zu wirken, wurde das seitliche Versetzen der Balkone untersucht. Dafür haben wir in Schritten von 0,8m den Balkon der Variante 5.4.4.5 zur Seite verschoben.

5.4.6.3.1. Seitliches Versetzen des Balkons zum Fenster um 0,8m

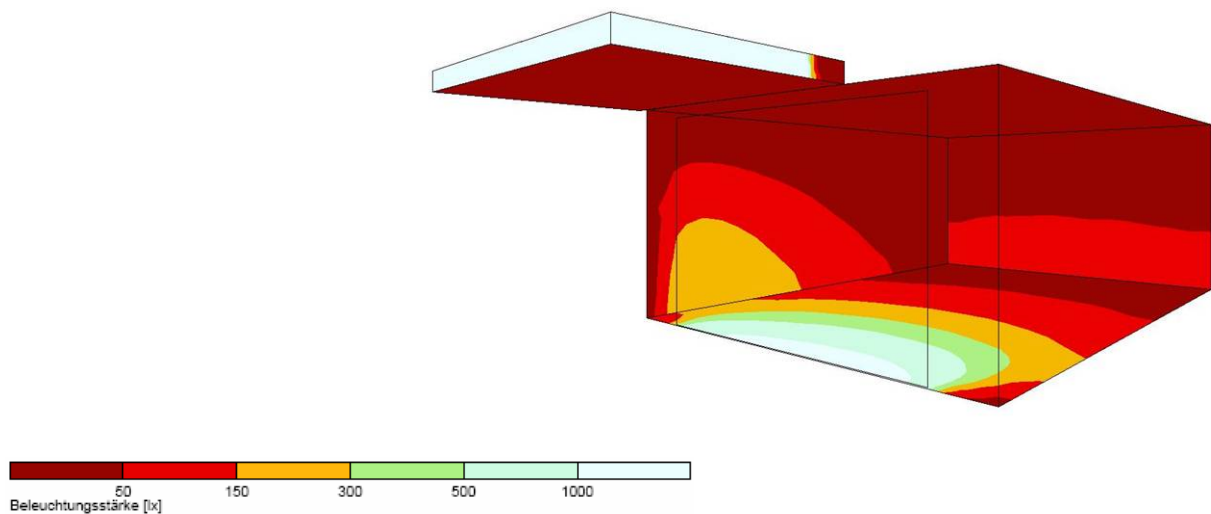
Der erste Schritt war das Versetzen des Balkons zum verschatteten Fenster um 0,8m. Das Fenster wurde wie in der Vergleichsvariante belassen.

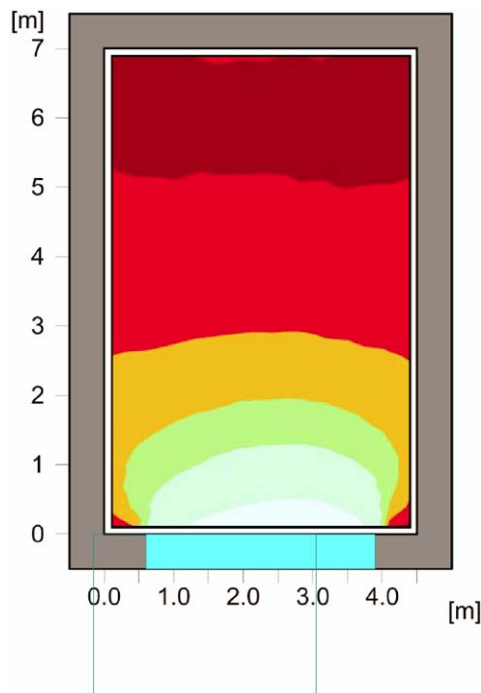
Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,32/2,38 \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,14/2,20 \rightarrow 6,9\text{m}^2$

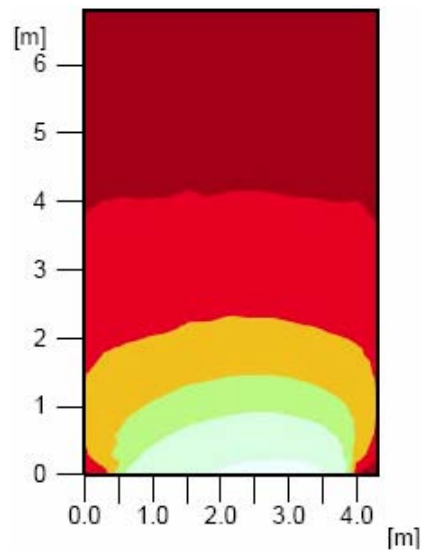


Falschfarbendarstellung

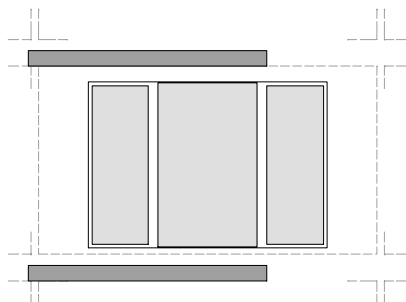




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

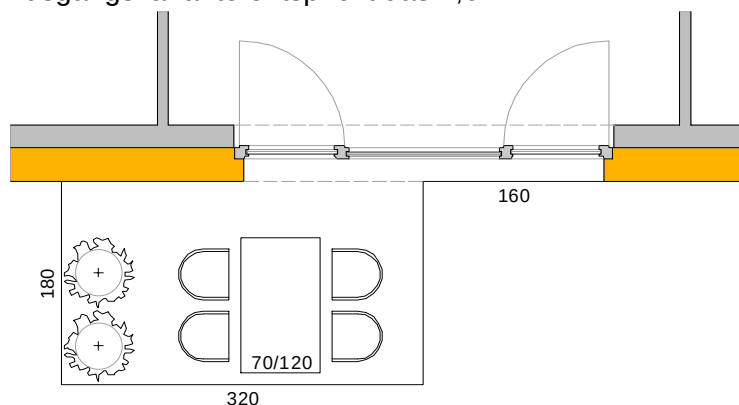
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	0,74	1,11	1,50
TQ Punkt1 li [%]	0,76	1,25	1,80
TQ Punkt2 re [%]	0,90	1,44	2,00

Abb. 105 Seitliches Versetzen des Balkons zum Fenster um 0,8m

Durch das geringe Versetzen des Balkons ist die Auswirkung gering. Im Vergleich zur Variante 5.4.4.5 steigt der mittlere Tageslichtquotient auf der Bewertungsebene +0,4m von 0,99% auf 1,11%. Betrachtet man die Falschfarbendarstellung auf der Bewertungsebene $\pm 0,0$ m zeigt sich eine Verziehung der Beleuchtungsflächen zur weniger verschatteten Seite.

5.4.6.3.2. Seitliches Versetzen des Balkons zum Fenster um 1,6m

Als weiterer Schritt wurde der Balkon um weitere 0,8m verschoben. Im Vergleich zur Ausgangsvariante entspricht das 1,6m.



Falschfarbendarstellung

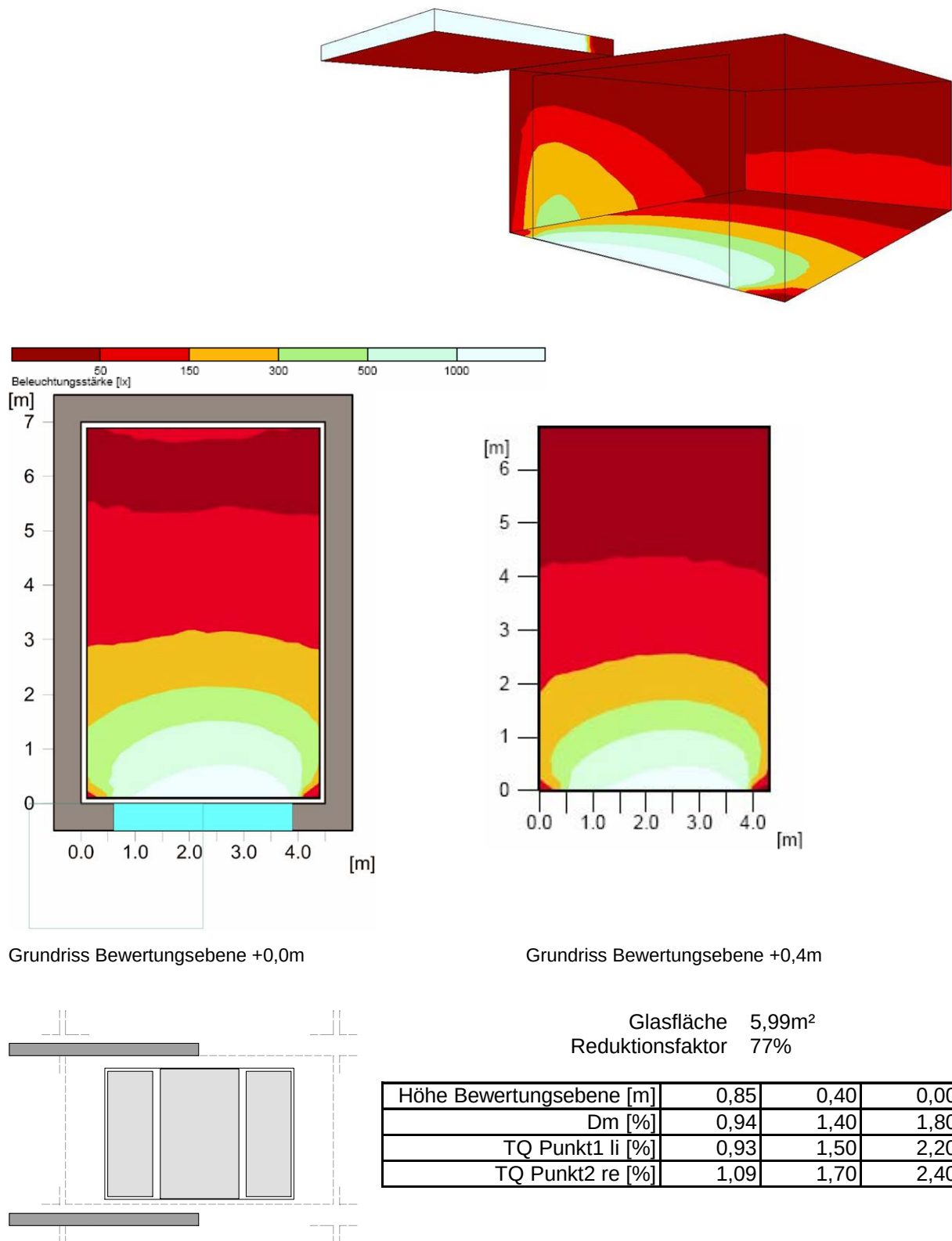
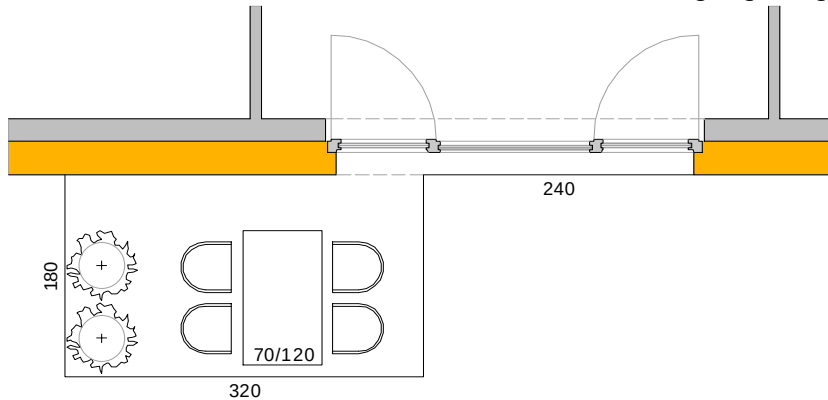


Abb. 106 Seitliches Versetzen des Balkons zum Fenster um 1,6m

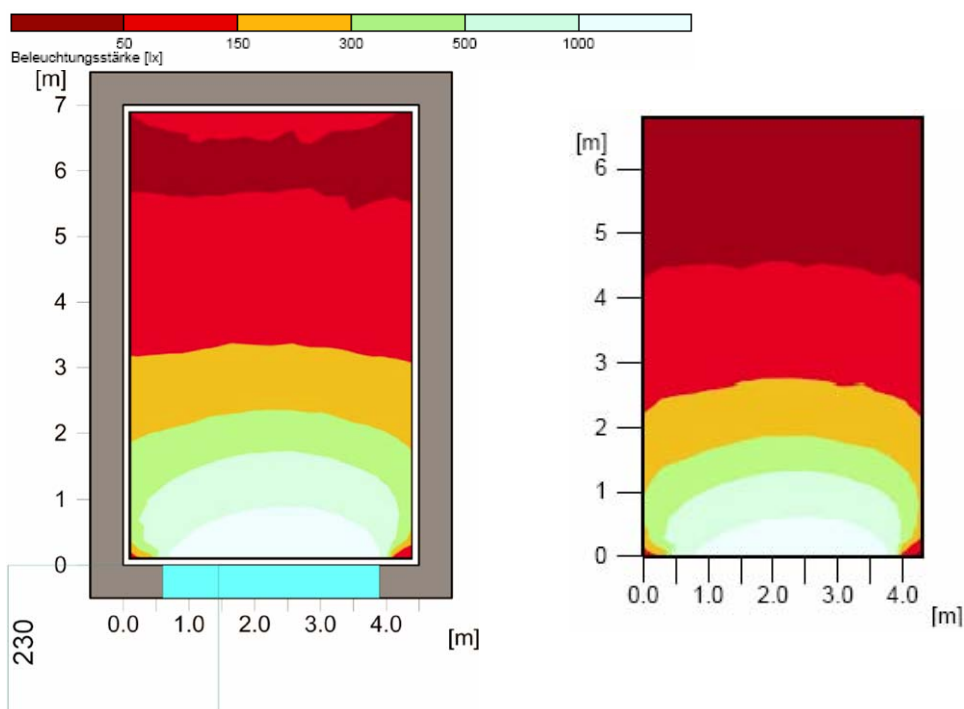
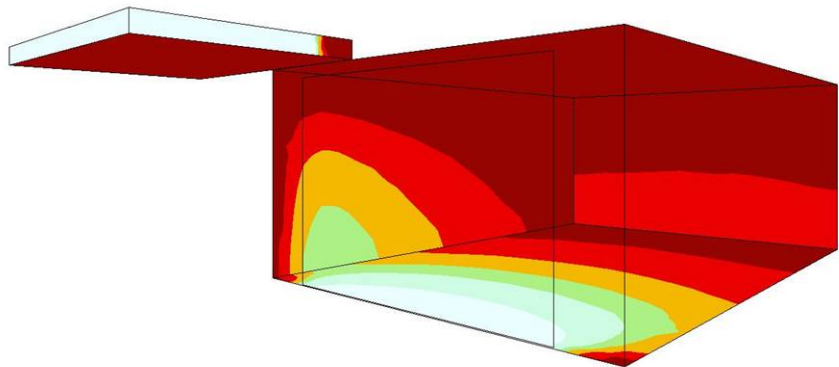
Da der Balkon jetzt nur noch über die Hälfte des verschatteten Fensters ragt, fällt das Ergebnis schon etwas besser aus. Die Ergebnisse liegen aber klar unter den Anforderungen.

5.4.6.3.3. Seitliches Versetzen des Balkons zum Fenster um 2,4m

Als letzter Schritt wurde der Balkon um 2,4m zur Seite verschoben. Verschattet wird nun $\frac{1}{4}$ des Fensters und es bleibt nur noch eine schmale Zugangsmöglichkeit zum Balkon übrig.

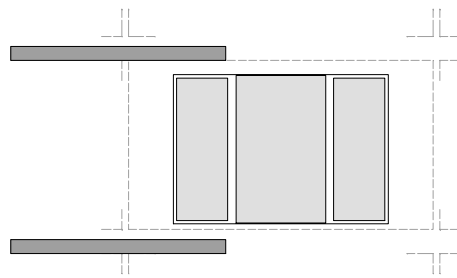


Falschfarbendarstellung



Grundriss Bewertungsebene +0,0m

Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

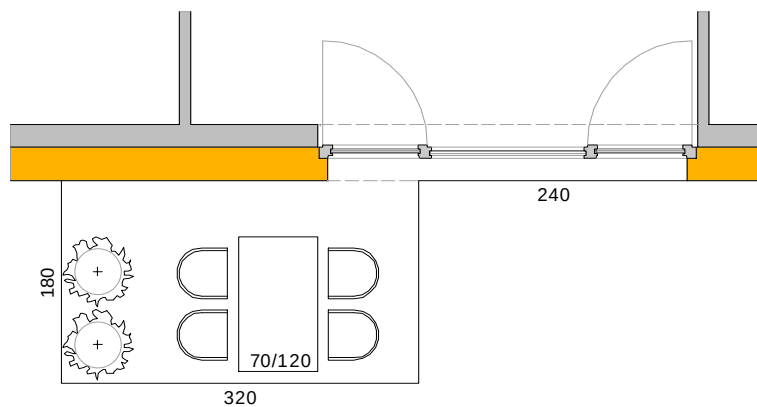
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,20	1,60	2,10
TQ Punkt1 li [%]	1,20	1,90	2,60
TQ Punkt2 re [%]	1,30	2,00	2,70

Abb. 107 Seitliches Versetzen des Balkons zum Fenster um 2,4m

Durch die geringere Verschattung des Fensters haben sich die Werte bei dieser Variante nochmals verbessert. Allerdings bleiben die Ergebnisse noch immer hinter den Anforderungen. Zusätzlich muss bei dieser Variante seitlich genug Wandfläche vorhanden sein; und Fenster von angrenzenden Räumen sollten so geplant werden, dass diese dadurch nicht verschattet werden.

5.4.6.3.4. Seitliches Versetzen des Balkons zum Fenster um 2,4m, Lage des Fenster am Rand des Zimmers

Ein Versuch, um die oben gezeigten, ernüchternden Ergebnisse zu verbessern, war eine als weitere Variante das Versetzen des Fensters an eine Seite des Raumes. Dadurch rückt der Balkon wieder etwas zum betrachteten Raum. Die Hoffnung war, dass die helle rechte Wandfläche für den Raum etwas bringen würde.



Falschfarbendarstellung

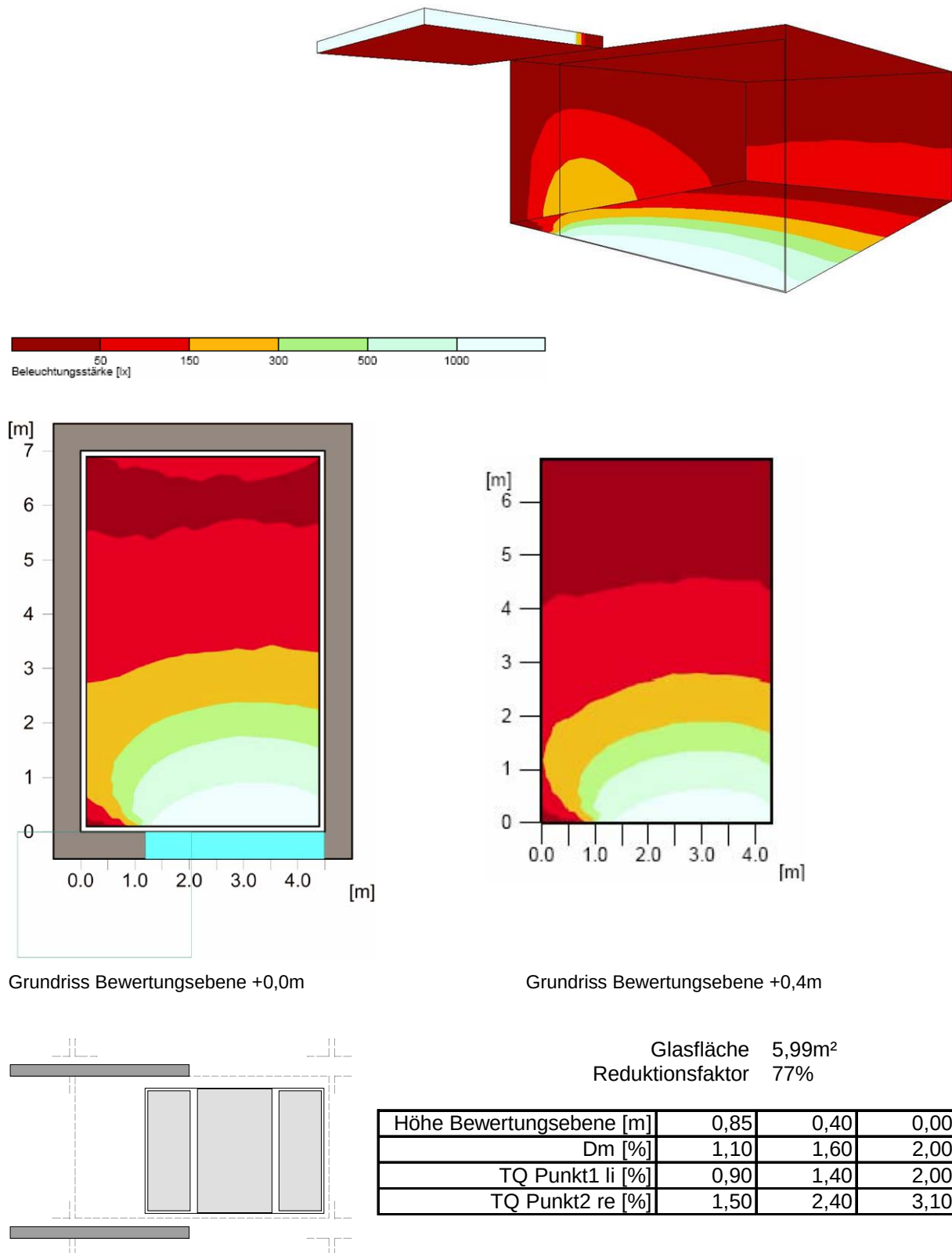


Abb. 108 Seitliches Versetzen des Balkons zum Fenster um 2,4m, Lage des Fenster am Rand des Zimmers

Als Ergebnis zeigt sich eine einseitige Verteilung der Belichtung, wodurch zwar im Punkt 2 auf der Bewertungsebene +0,4m eine Steigerung des Tageslichtquotienten im Vergleich zur Variante 5.4.6.3.3 von 1,7% auf 2,4% auftritt, der mittlere Tageslichtquotient jedoch gleich bleibt. Zumindest einseitig können so die Zielvorgaben erreicht werden.

5.4.6.4. Bewertung der Maßnahmen seitliches Versetzen

Durch das seitliche Versetzen des Balkons zum verschatteten Fenster lässt sich zwar die Belichtung im betrachteten Raum verbessern, allerdings sind deutliche Steigerungen erst mit einem Versetzen von 2,4m möglich. Die Ergebnisse sind insgesamt enttäuschend und besser erwartet worden. Lediglich die letzte Variante kann knapp die Anforderungen erfüllen.

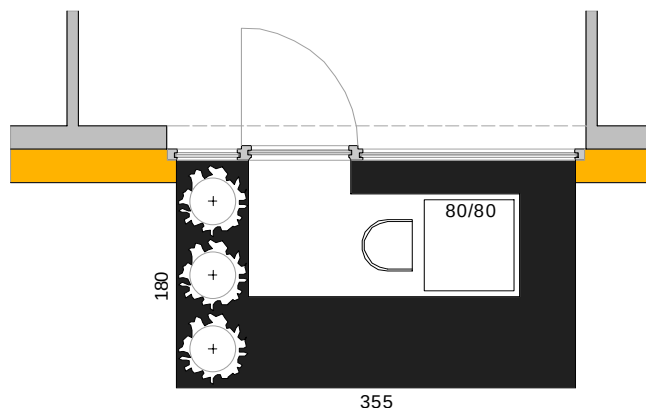
5.4.6.5. Zwei Ebenen

Eine andere Möglichkeit, die versucht, zumindest in einem minimalen Teilbereich des Balkons die Ebene des dahinterliegenden Raumes nicht zu verlassen, liegt in der Ausführung zweier Ebenen. So wird der Zugang zum Balkon auf Niveau $\pm 0,0\text{m}$ belassen und die Sitzflächen auf +0,4m angehoben, wodurch die Verschattung durch den Balkon reduziert werden kann.

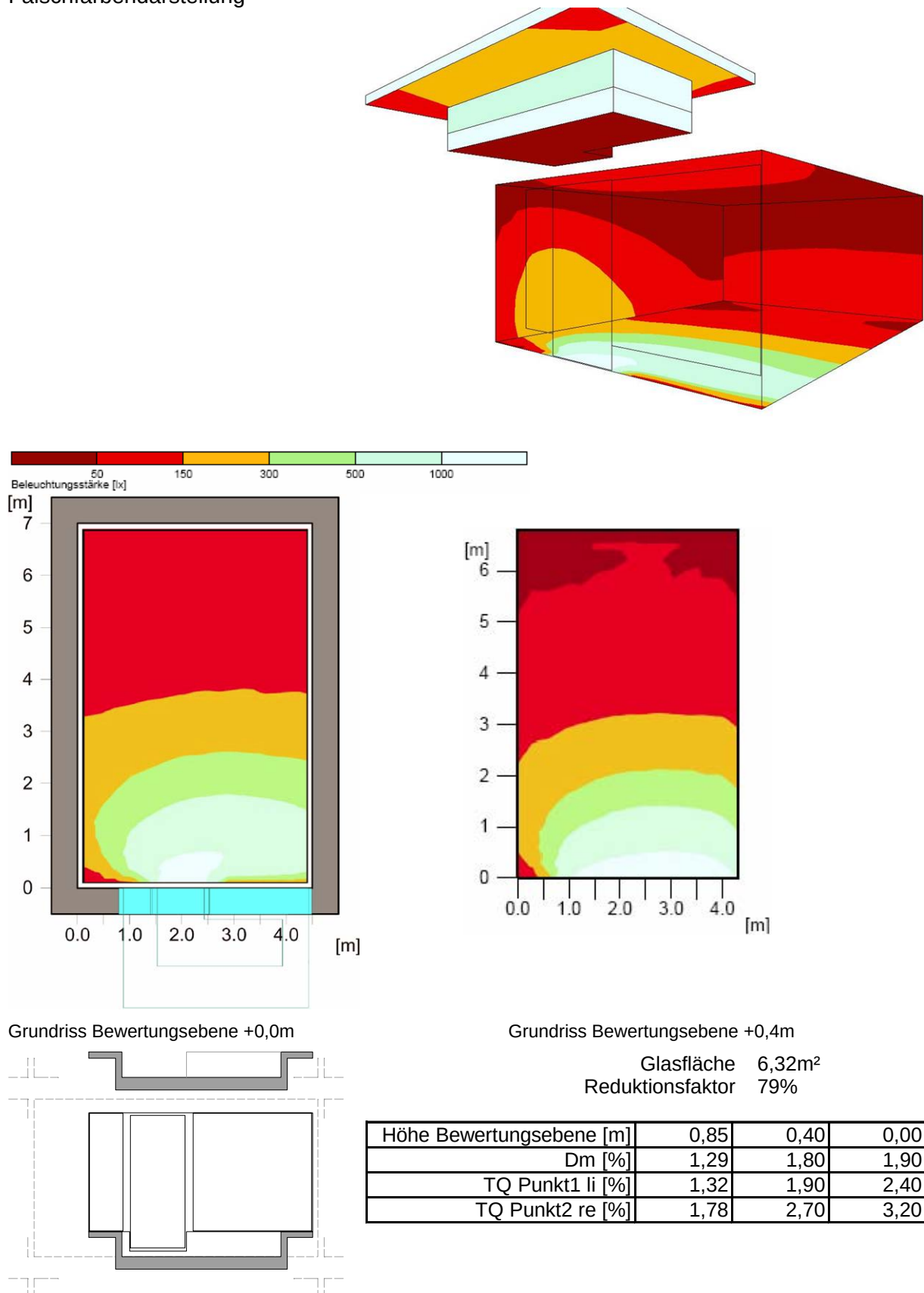
5.4.6.5.1. Balkon auf Fußbodenniveau $\pm 0,0\text{m}$, Sitzfläche um 0,4m erhöht, geänderte Fenstergeometrie

Bei dieser Variante wurde einerseits eine Auskragung von 1,5m (von der Innenwandfläche der Außenwand gemessen) für die Ebene $\pm 0,0\text{m}$ und andererseits 2,3m für die Ebene +0,4m angenommen. Die Fensterfläche wurde als Fixverglasung, mit einer Balkontüre angenommen.

Die Rohbauöffnung beträgt $7,875\text{m}^2$, die resultierende Architekturlichte $6,97\text{m}^2$.



Falschfarbendarstellung

Abb. 109 Balkon auf Fußbodenniveau $\pm 0,0\text{m}$, Sitzfläche um 0,4m erhöht, geänderte Fenstergeometrie

Im Vergleich zur Variante 5.4.4.5 ist auch bei dieser Maßnahme eine deutliche Steigerung des mittleren Tageslichtquotienten möglich. Betrachtet man die Bewertungsebene auf $\pm 0,0\text{m}$, steigt der Wert von 1,35% auf 1,9%. Im Vergleich zur Variante 5.4.6.1.1, wo die

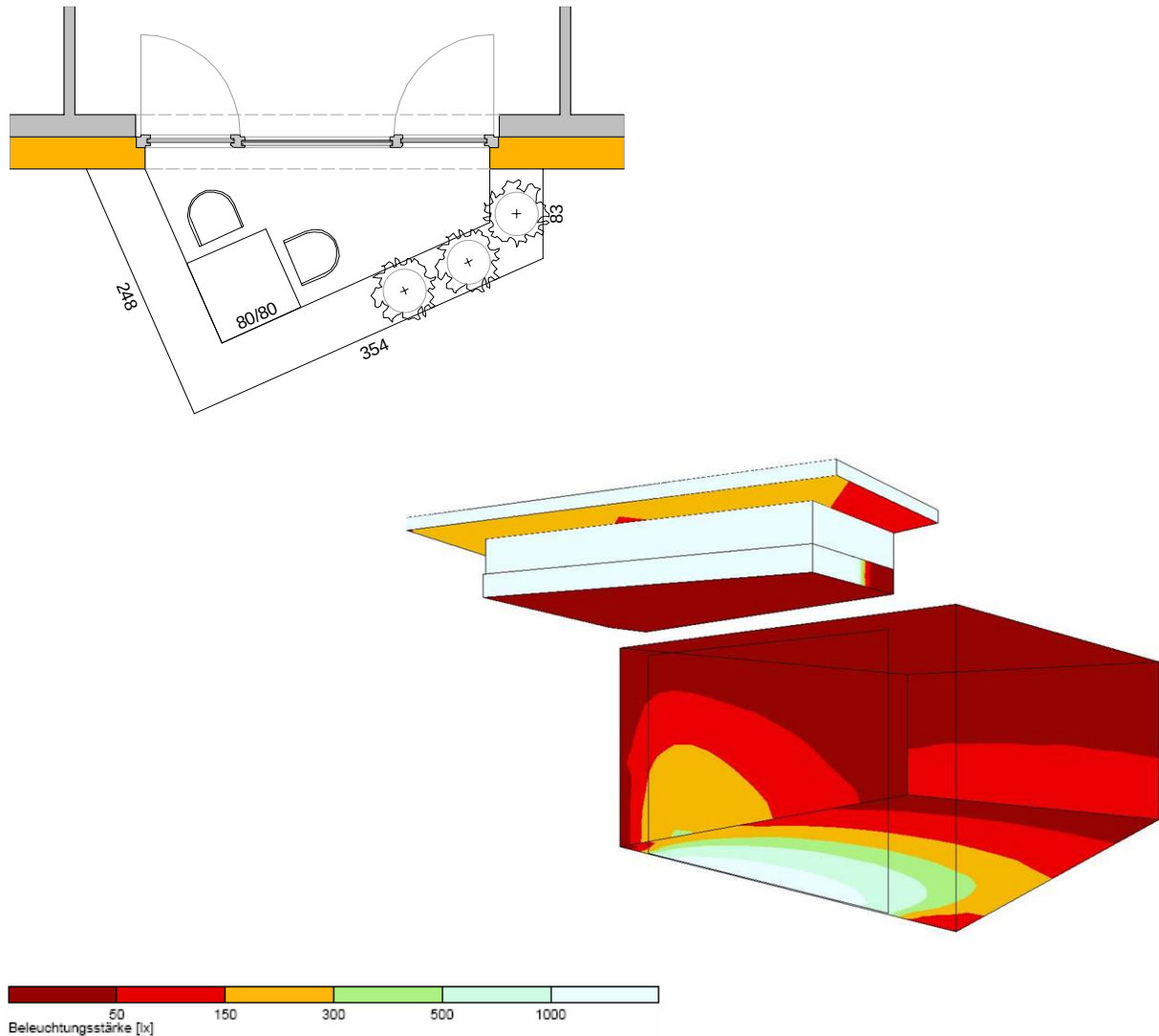
gesamte Balkonplatte um +0,4m erhöht wurde, sind die Ergebnisse schlechter, sie erreichen jedoch die Zielvorgaben.

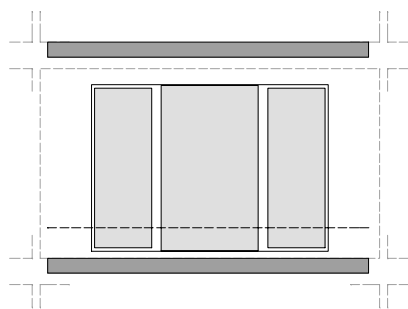
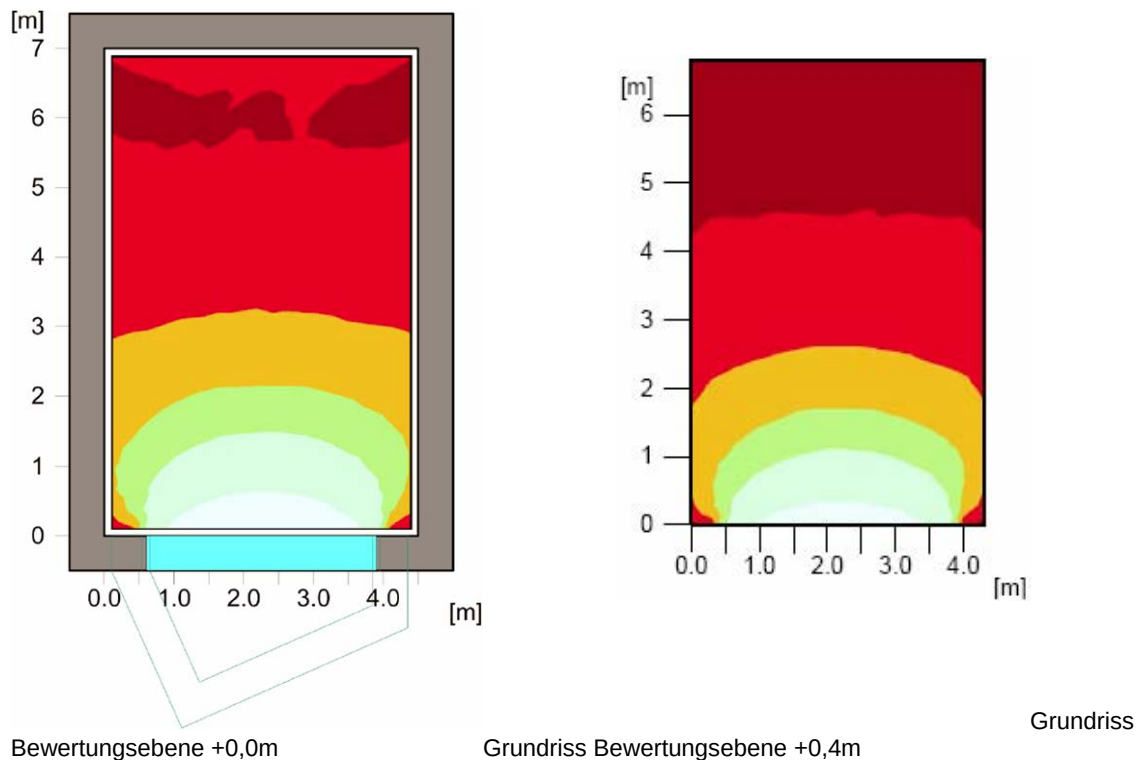
5.4.6.5.2. Balkon auf Fußbodenniveau, Sitzfläche um 0,4m erhöht, Fensterfläche mittig

Hier wurde untersucht, ob eine Verbesserung der Belichtung erzielt werden kann, wenn die Auskragung des Balkons ungleichmäßig ausführt wird. So ragt lediglich eine Spitze des Balkons rund 2,77m von der Wandinnenseite gemessen, nach vorne. Die Fläche des Balkons wurde gleich wie bei den Vergleichsvarianten belassen.

Die Rohbaumaße des Fensters sind: $B/H = 3,32/2,38 \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,14/2,20 \rightarrow 6,9\text{m}^2$





Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	0,90	1,32	1,70
TQ Punkt1 li [%]	1,02	1,67	2,20
TQ Punkt2 re [%]	1,07	1,69	2,30

Abb. 110 Balkon auf Fußbodenniveau, Sitzfläche um 0,4m erhöht, Fensterfläche mittig

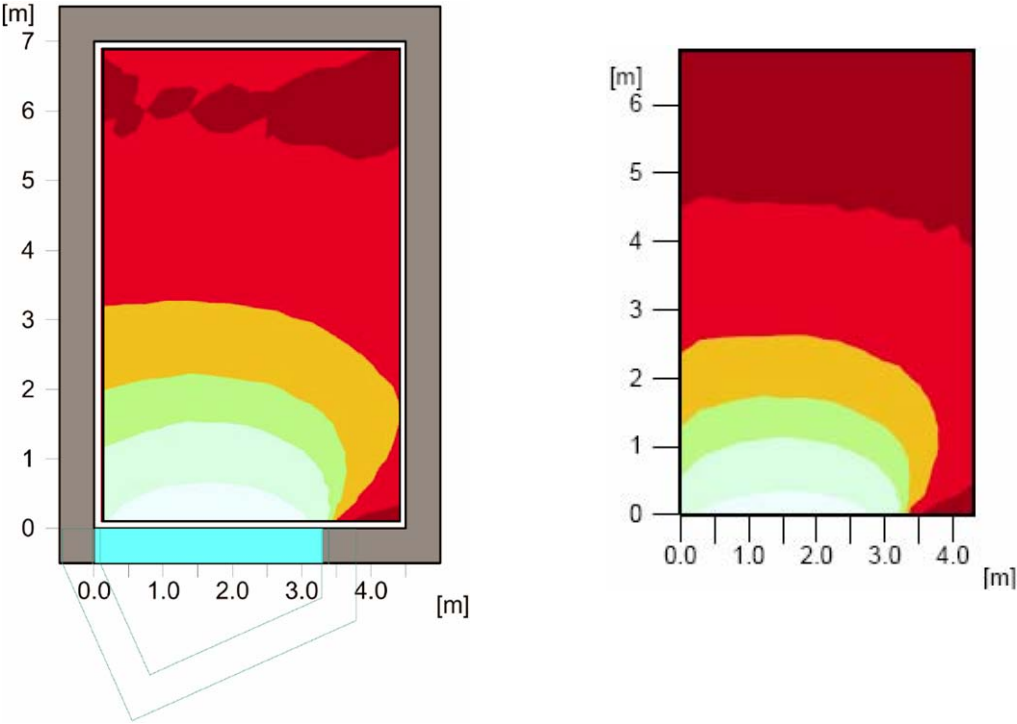
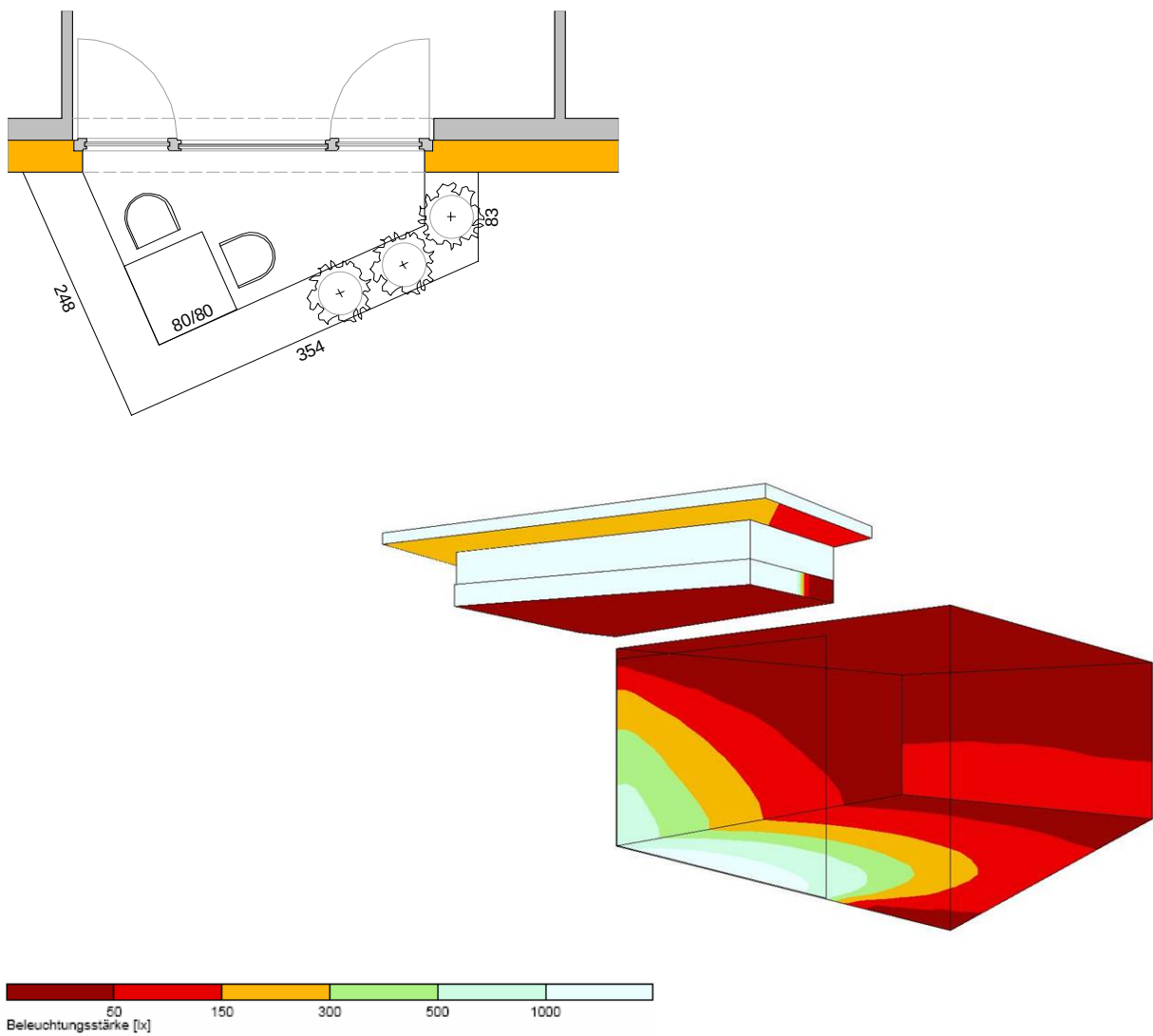
Vergleicht man die Ergebnisse mit der Variante 5.4.4.5 zeigen sich hier bessere Werte. So steigt der mittlere Tageslichtquotient auf der Bewertungsebene +0,4m von 0,99% auf 1,32%. Die Zielvorgabe kann jedoch nicht erreicht werden.

5.4.6.5.3. Balkon auf Fußbodenniveau, Sitzfläche um 0,4m erhöht, Lage des Fenster am Rand des Zimmers

Hier wurde der gleiche Balkon wie oben herangezogen jedoch das Fenster an eine Raumseite verschoben. Die Fensterfläche ist gleich geblieben.

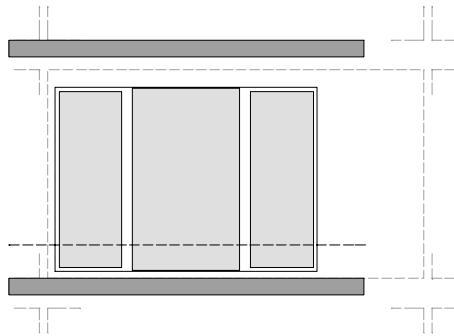
Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,32/2,38 \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,14/2,20 \rightarrow 6,9\text{m}^2$



Grundriss Bewertungsebene +0,0m

Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	0,88	1,28	1,70
TQ Punkt1 li [%]	1,26	2,00	2,60
TQ Punkt2 re [%]	0,78	1,21	1,70

Abb. 111 Balkon auf Fußbodenniveau, Sitzfläche um 0,4m erhöht, Lage des Fenster am Rand des Zimmers

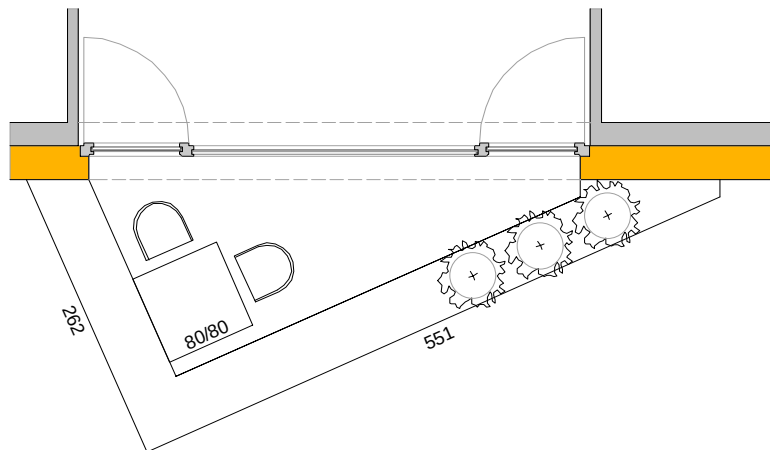
Durch diese Maßnahme sind zwar die Ergebnisse direkt an der Raumseite im Punkt1 besser geworden, betrachtet man jedoch den gesamten Raum ist die Belichtungsqualität schlechter als in der Variante davor.

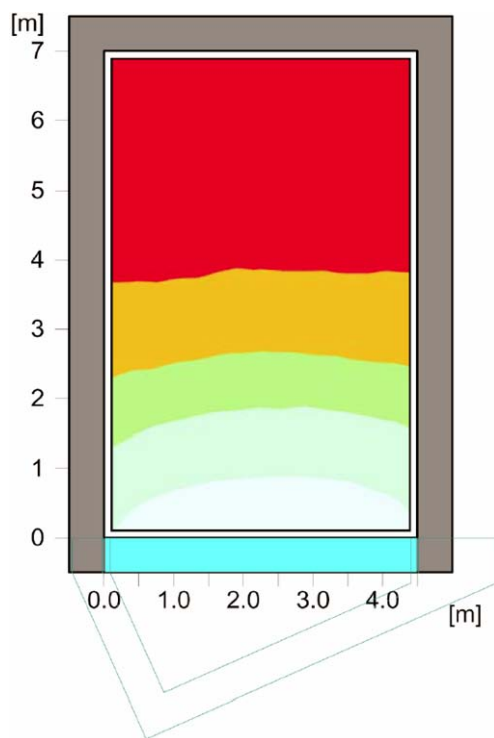
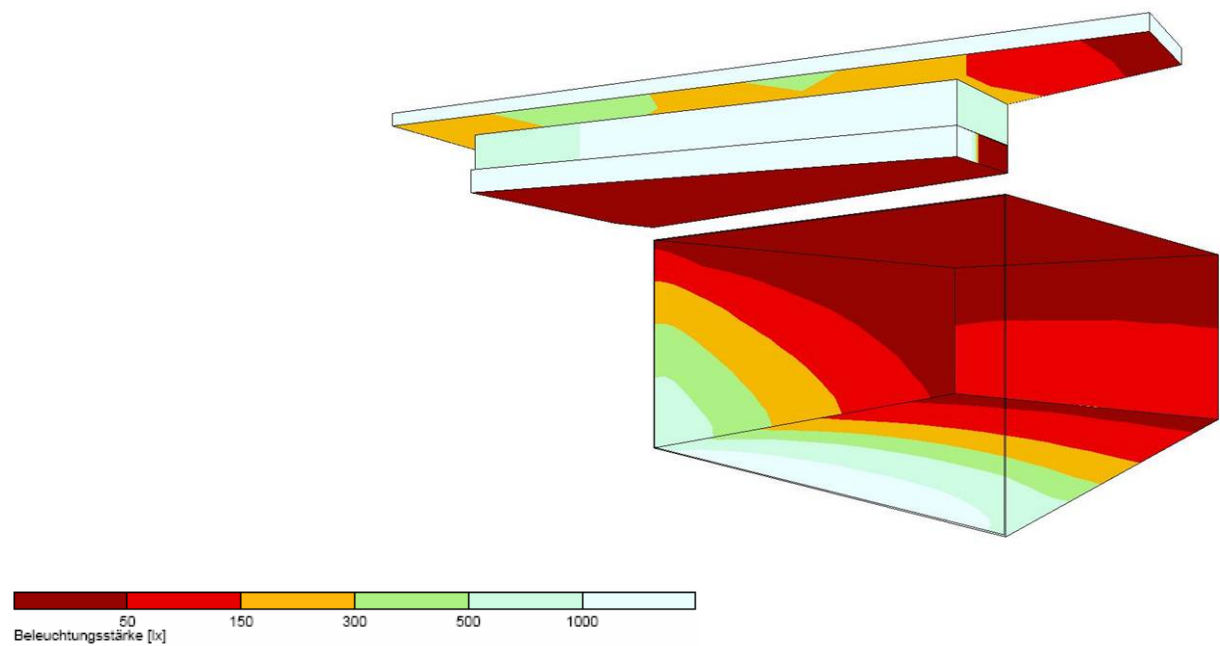
5.4.6.5.4. Balkon auf Fußbodenniveau, Sitzfläche um 0,4m erhöht, Vergrößerung des Fensters auf Raumgröße

Bei dieser Variante wurde die Fensterfläche über die gesamte Raumansichtsfläche vergrößert. Der Balkon wurde ebenfalls vergrößert und entspricht damit in etwa der Vergleichsvariante. Die Auskragung der Spitze beträgt nun von der Innenwandfläche gemessen 2,89m.

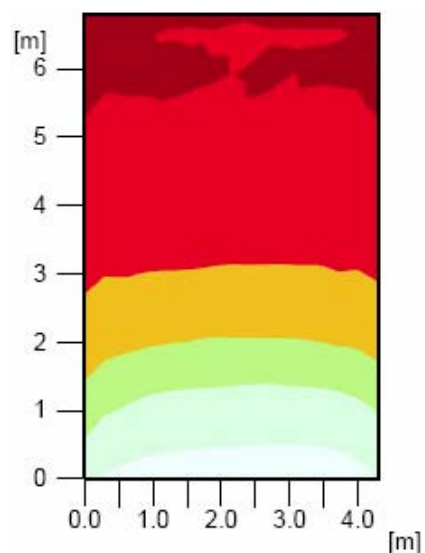
Die Rohbaumaße des Fensters sind: B/H = 4,5/2,5m → 11,25m²

Die resultierende Architekturlichte ist: B/H = 4,32/2,32m → 10,05m²

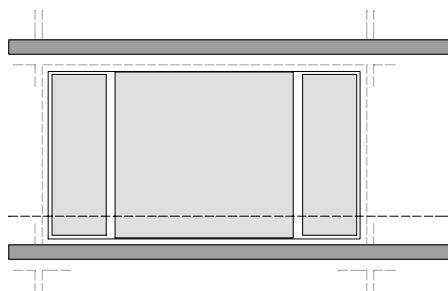




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 9,06m²
Reduktionsfaktor 82%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,41	2,00	2,50
TQ Punkt1 li [%]	1,55	2,50	3,30
TQ Punkt2 re [%]	1,75	2,70	3,60

Abb. 112 Balkon auf Fußbodenniveau, Sitzfläche um 0,4m erhöht, Vergrößerung des Fensters auf Raumgröße

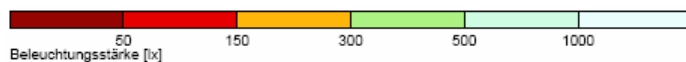
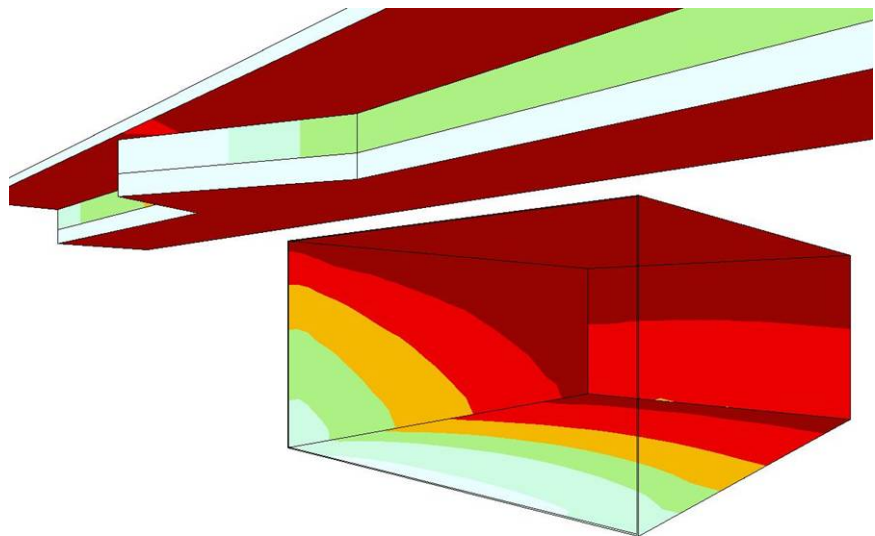
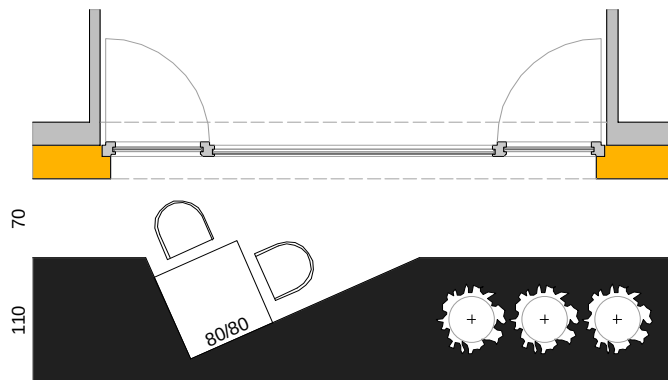
Hier können die Zielvorgaben erreicht werden. Der Balkon ist gut nutzbar und bietet eine gewisse Großzügigkeit. Die Fensterfläche beträgt allerdings 35% der Nutzfläche des Raumes.

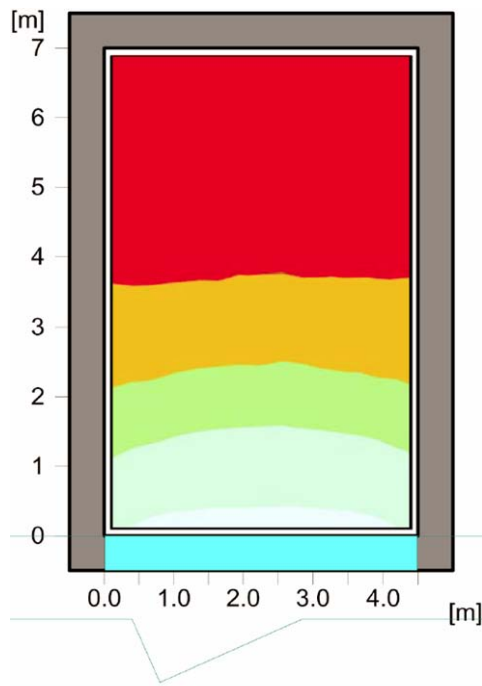
5.4.6.5.5. Balkon auf Fußbodenniveau über gesamte Fassade, Sitzfläche um 0,4m erhöht, Vergrößerung des Fensters auf Raumgröße

Bei dieser Variante wurde die Auskragung auf Niveau $\pm 0,0\text{m}$ auf 1,2m reduziert und auf Niveau $+0,4\text{m}$ auf 1,1m erhöht. Die Gesamtauskragung des Balkons beträgt 2,3m. Die Länge des Balkons wurde 4m über die Raumbegrenzung hinaus erweitert. Die Fensterfläche ist wieder genauso groß wie die Raumansichtsfläche.

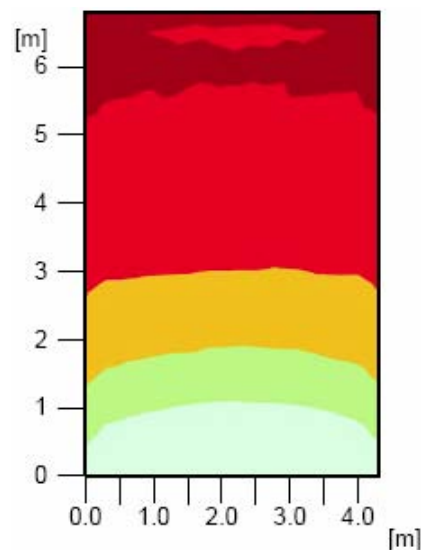
Die Rohbaumaße sind: $B/H = 4,5/2,5\text{m} \rightarrow 11,25\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 4,32/2,32\text{m} \rightarrow 10,05\text{m}^2$

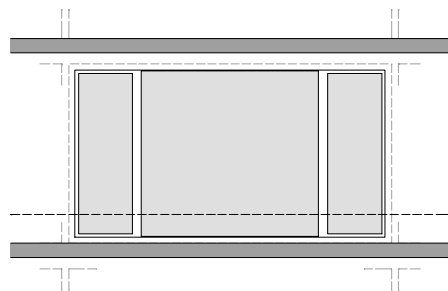




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 9,06m²
Reduktionsfaktor 82%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,10	1,59	2,07
TQ Punkt1 li [%]	1,36	2,08	2,74
TQ Punkt2 re [%]	1,45	2,14	2,74

Abb. 113 Balkon auf Fußbodenniveau über gesamte Fassade, Sitzfläche um 0,4m erhöht, Vergrößerung des Fensters auf Raumgröße

Im Vergleich zur Variante 5.4.6.1.1 ist das Ergebnis unterschiedlich. Obwohl die gesamte Auskragung gleich ist und die Fensterfläche größer ist, sind die Werte auf den Bewertungsebenen +0,85m und +0,4m schlechter. Auf der Ebene ±0,0m hingegen bleibt der mittlere Tageslichtquotient bei 2,07% gleich. Die Zielvorgabe kann erreicht werden, der Preis der Vergrößerung des Fensters um 40% ist dafür allerdings hoch.

5.4.6.6. zweimal Höhersetzen

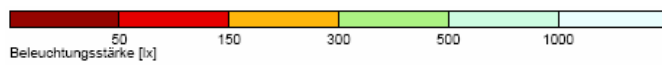
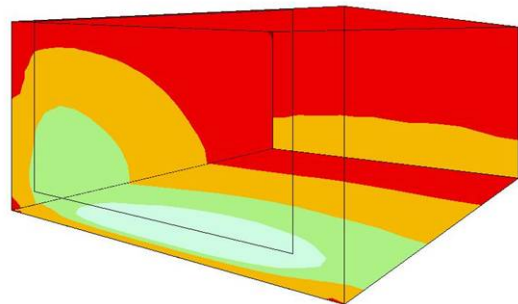
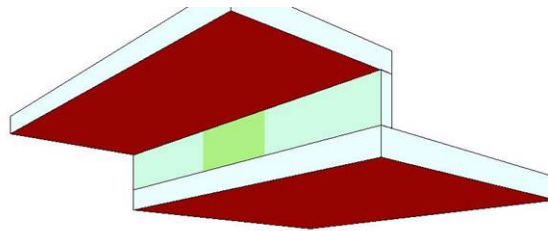
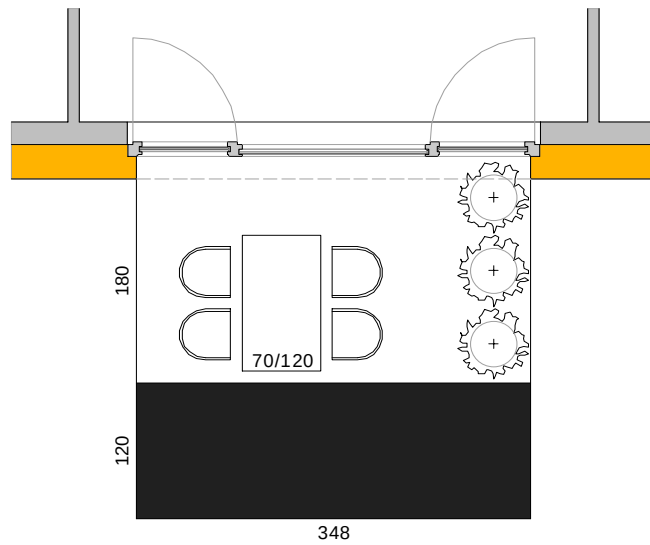
Da das Höhersetzen sich als so gute Variante herausgestellt hatte, sollte hier versucht werden, wie weit dabei noch weiter gegangen werden kann und ein "richtig großer" Balkon hergestellt werden kann. Den Verfassern ist bewusst, dass das zweimalige Höhersetzen natürlich auch eine Lösung für das Balkongeländer erfordert. Darauf muss bei dieser Variante geachtet werden, und auch darauf, dass man sich von innen aus nicht zu tief unten fühlt.

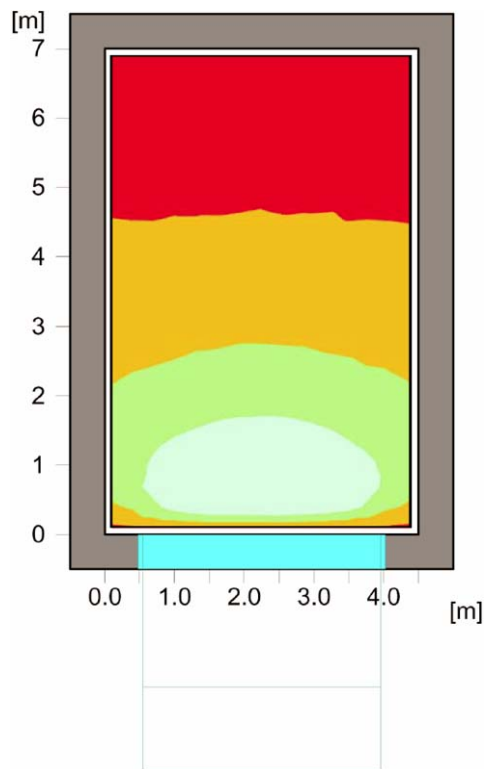
5.4.6.6.1. Balkonauskragung 2,3m auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 1,2m Auskragung

Hier wurde die Beeinträchtigung der Belichtung durch die Erweiterung der Auskragung betrachtet. Dazu wurde ein Balkon auf Niveau +0,4m und einer Auskragung von 2,3m mit einer Auskragung von 1,2m auf einem Niveau +0,9m erweitert. Die Fensterfläche wurde wie in der Vergleichsvariante 5.4.6.1.1 belassen.

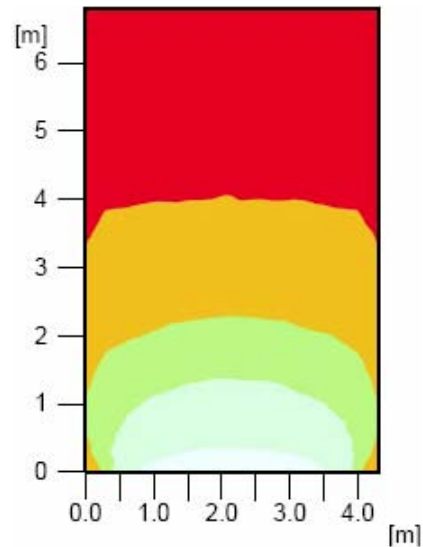
Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,58/2,19\text{m} \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,40/2,01\text{m} \rightarrow 6,85\text{m}^2$

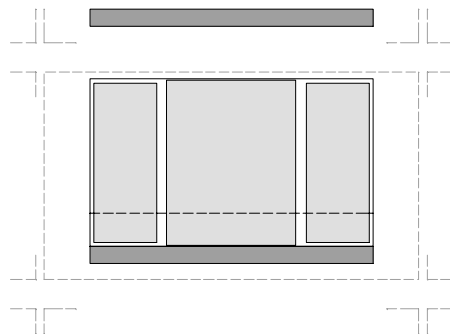




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 78%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,54	1,92	1,95
TQ Punkt1 li [%]	1,86	2,43	2,85
TQ Punkt2 re [%]	1,85	2,50	2,83

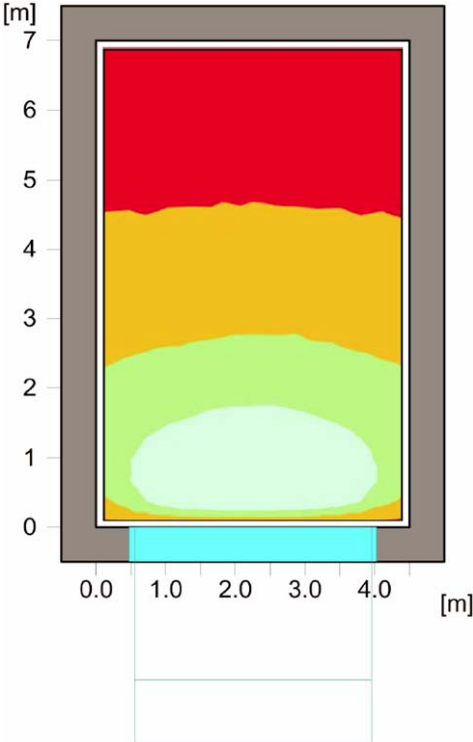
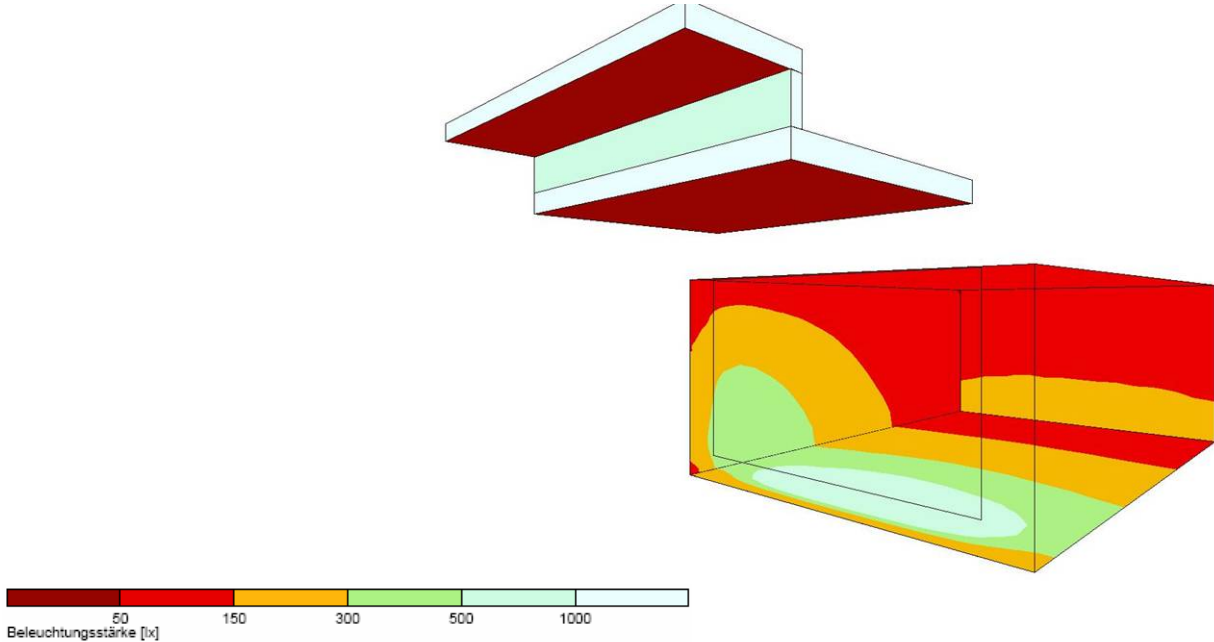
Abb. 114 Balkonauskragung 2,3m, erhöht um 0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 1,2m Auskrragung

Bei einer Gegenüberstellung mit der Vergleichsvariante zeigt sich, dass selbst durch die weitere Niveauehebung die Zielvorgaben noch erfüllt werden können.

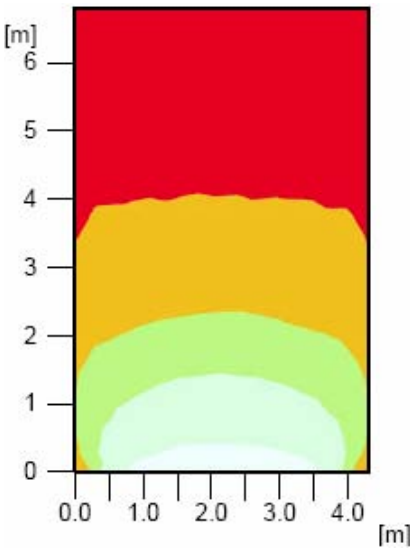
5.4.6.6.2. Balkonauskragung 2,3m auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 0,9m Auskrragung

Wie schon in der vorangegangenen Variante wurde auch hier die Erweiterung eines Balkons auf dem Niveau +0,4m betrachtet, allerdings beträgt die Auskrragung auf dem Niveau +0,9m hier nur 0,9m.

Falschfarbendarstellung



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
Reduktionsfaktor 78%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,59	1,98	2,02
TQ Punkt1 li [%]	1,90	2,56	2,93
TQ Punkt2 re [%]	1,89	2,54	2,94

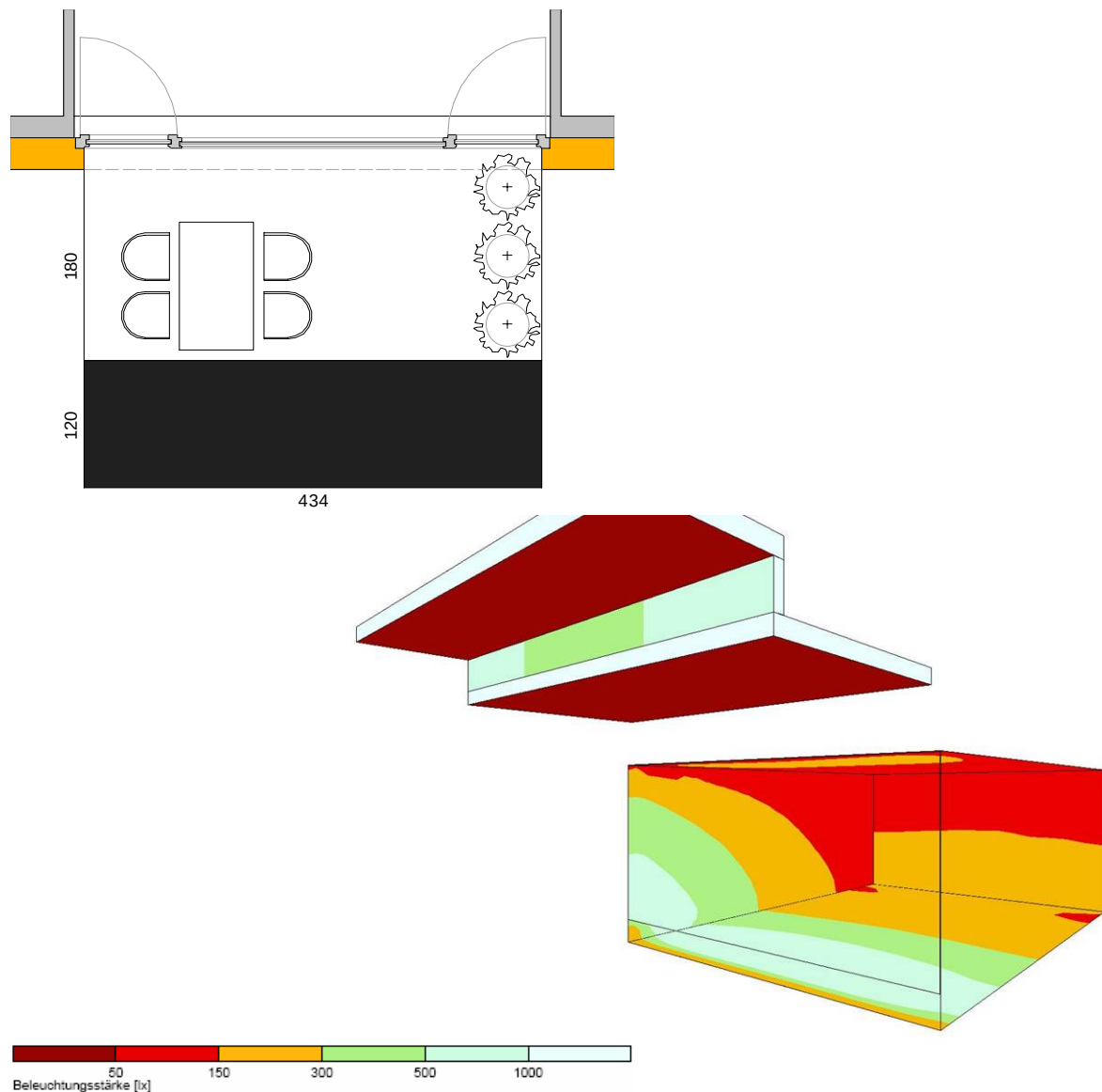
Abb. 115 Balkonauskragung 2,3m, auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 0,9m Auskragung

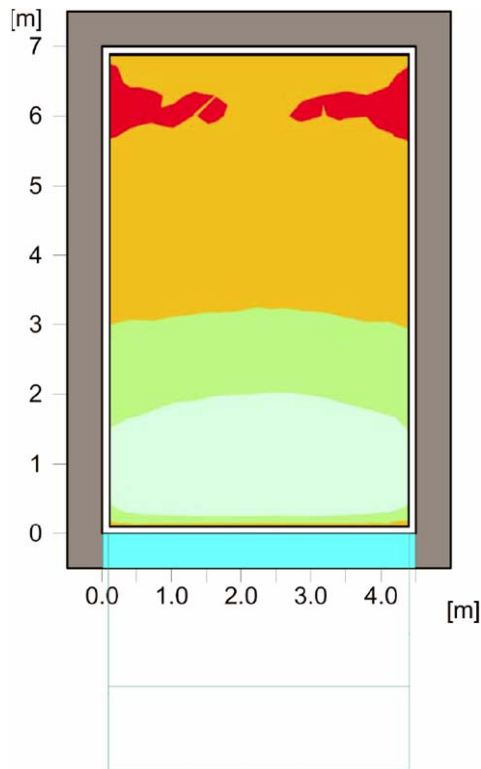
5.4.6.6.3. Balkonauskragung 2,3m auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 1,2m Auskragung, Fenster auf Raumbreite erweitert

Zusätzlich zu der Variante 5.4.6.6.1 wurde hier die Fenstergröße auf Raumbreite vergrößert. Die Balkonbreite wurde der Fensterbreite angepasst und beträgt 4,34m.

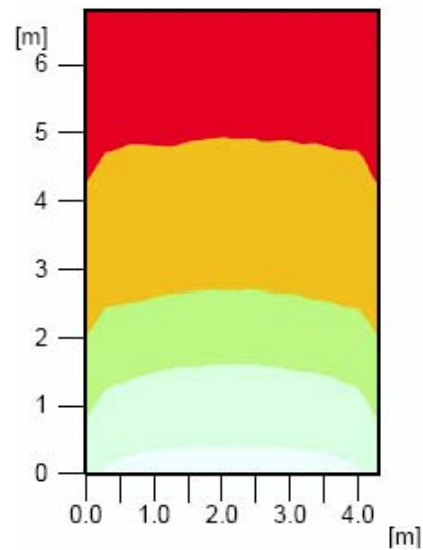
Die Rohbaumaße sind: B/H = 4,5/2,19m → 9,85m²

Die resultierende Architekturlichte ist: B/H = 4,32/2,02m → 8,74m²

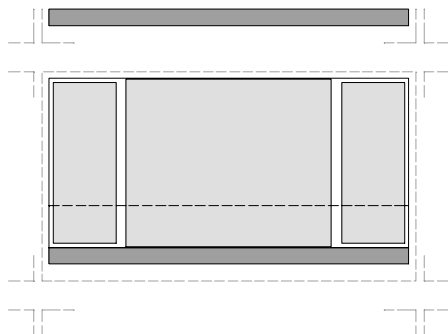




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 7,85m²
Reduktionsfaktor 81%

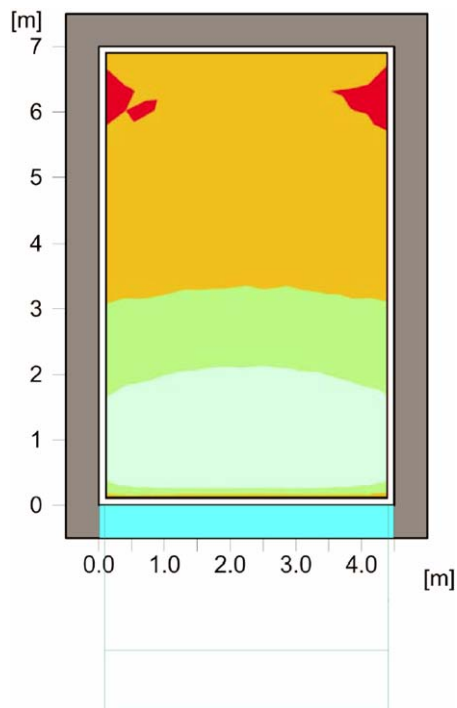
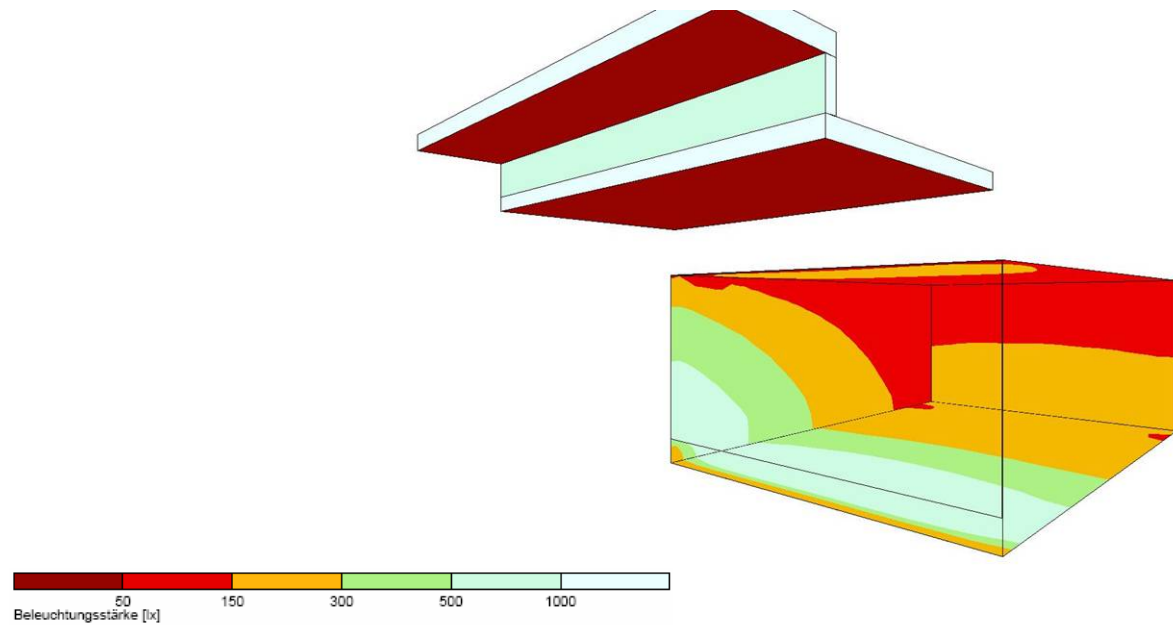
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,91	2,38	2,42
TQ Punkt1 li [%]	2,35	3,01	3,56
TQ Punkt2 re [%]	2,37	3,00	3,54

Abb. 116 Balkonaustragung 2,3m, auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 1,2m Auskragung, Fenster auf Raumbreite erweitert

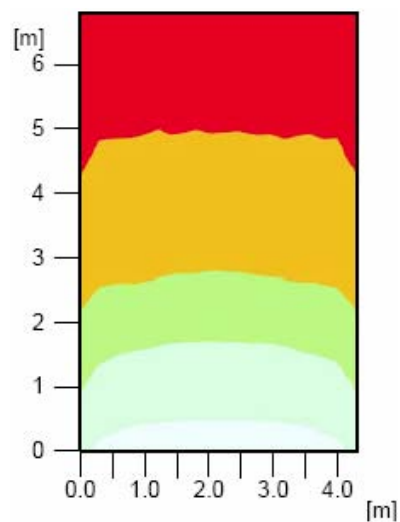
Vergleicht man die Ergebnisse mit der Variante 5.4.6.1.2, wo ebenfalls das Fenster auf Raumbreite vergrößert wurde, stellen sich hier natürlich schlechtere Werte ein. Generell sind die Werte aber immer noch ausgezeichnet und können den Werten ohne Balkonverschattung mit kleinerem Fenster fast gleichgesetzt werden.

5.4.6.6.4. Balkonaustragung 2,3m auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 0,9m Auskragung, Fenster auf Raumbreite erweitert

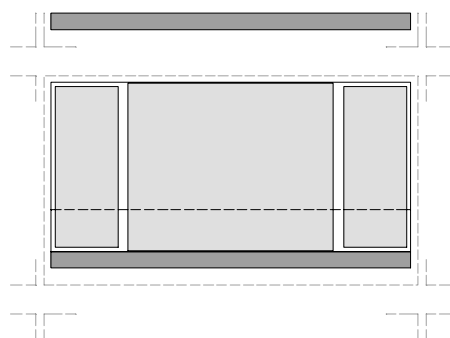
Bis auf die Auskragung der Balkonebene auf Niveau +0,9m wurden hier die Annahmen wie bei der vorangegangenen Variante getroffen.



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 7,85m²
 Reduktionsfaktor 81%

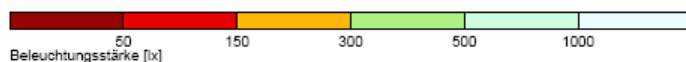
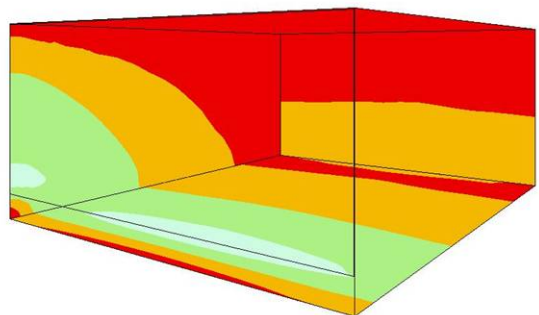
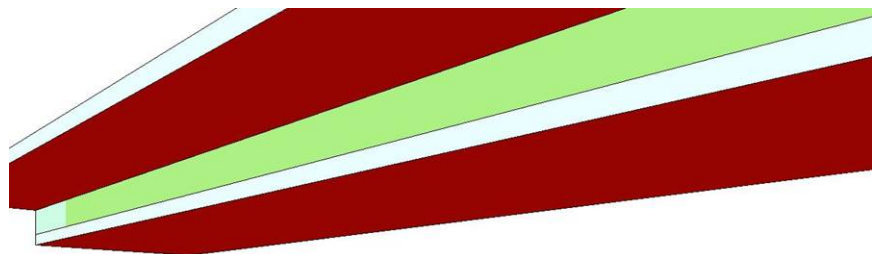
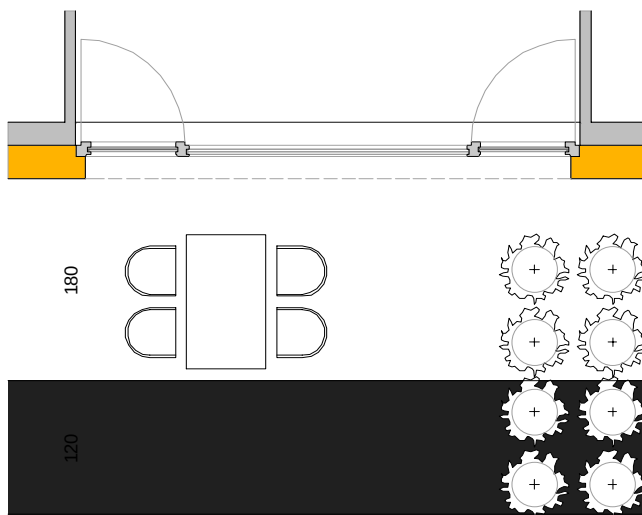
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,98	2,48	2,53
TQ Punkt1 li [%]	2,43	3,22	3,71
TQ Punkt2 re [%]	2,40	3,22	3,68

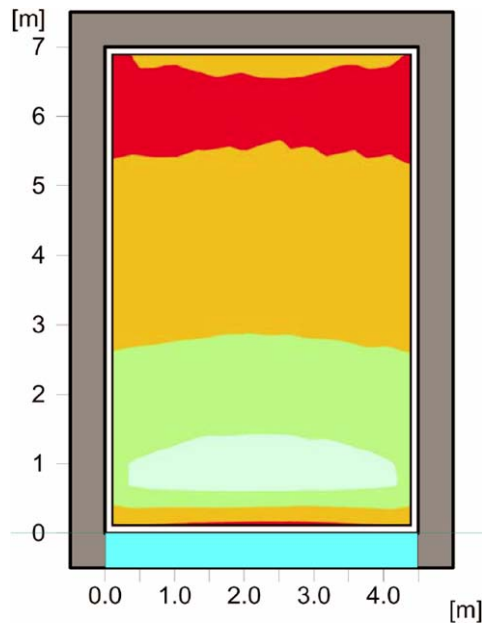
Abb. 117 Balkonauskragung 2,3m auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 0,9m Auskragung, Fenster auf Raumbreite erweitert

Auch hier kann die Reduktion der Auskragung auf Niveau +0,9m die Werte verbessern; und es werden zusätzlich die Ergebnisse der unverschatteten Variante mit kleinerem Fenster erzielt.

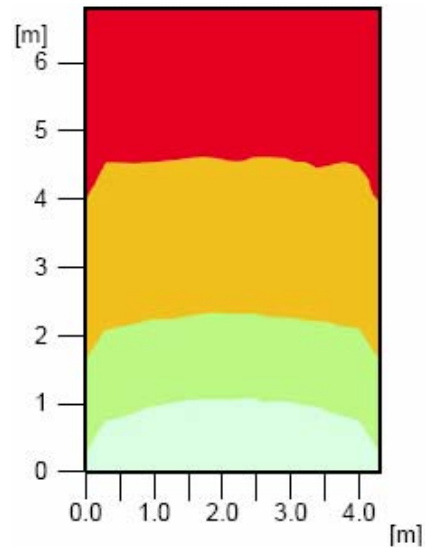
5.4.6.6.5. Balkonauskragung 2,3m über Fassadenlänge auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 1,2m Auskragung, Fenster auf Raumbreite erweitert

Als Erweiterung der zu letzt betrachteten Varianten wurde hier der Balkon jeweils 4,0m über die Raumbegrenzung hinaus erweitert. Die Gesamtauskragung beträgt, von der Wandinnenseite der Außenmauer gemessen, 3,5m die Fensterfläche geht über die Raumbreite.

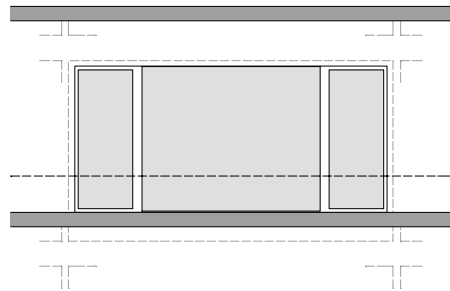




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 7,85m²
 Reduktionsfaktor 81%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,55	1,91	1,92
TQ Punkt1 li [%]	1,99	2,49	2,85
TQ Punkt2 re [%]	1,99	2,47	2,82

Abb. 118 Balkonauskragung 2,3m über Fassadenlänge auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 1,2m Auskragung, Fenster auf Raumbreite erweitert

Durch die Erweiterung der Balkonlänge reduzieren sich die Ergebnisse auf allen Bewertungsebenen deutlich. Die Zielvorgabe kann jedoch immer noch erreicht und sogar deutlich überschritten werden.

5.4.6.6. Balkonauskragung 2,3m über Fassadenlänge auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 0,9m Auskragung, Fenster auf Raumbreite erweitert

Bis auf die auf 3,2m reduzierte Gesamtauskrragung sind hier alle Parameter wie bei der oben stehenden Variante angenommen.

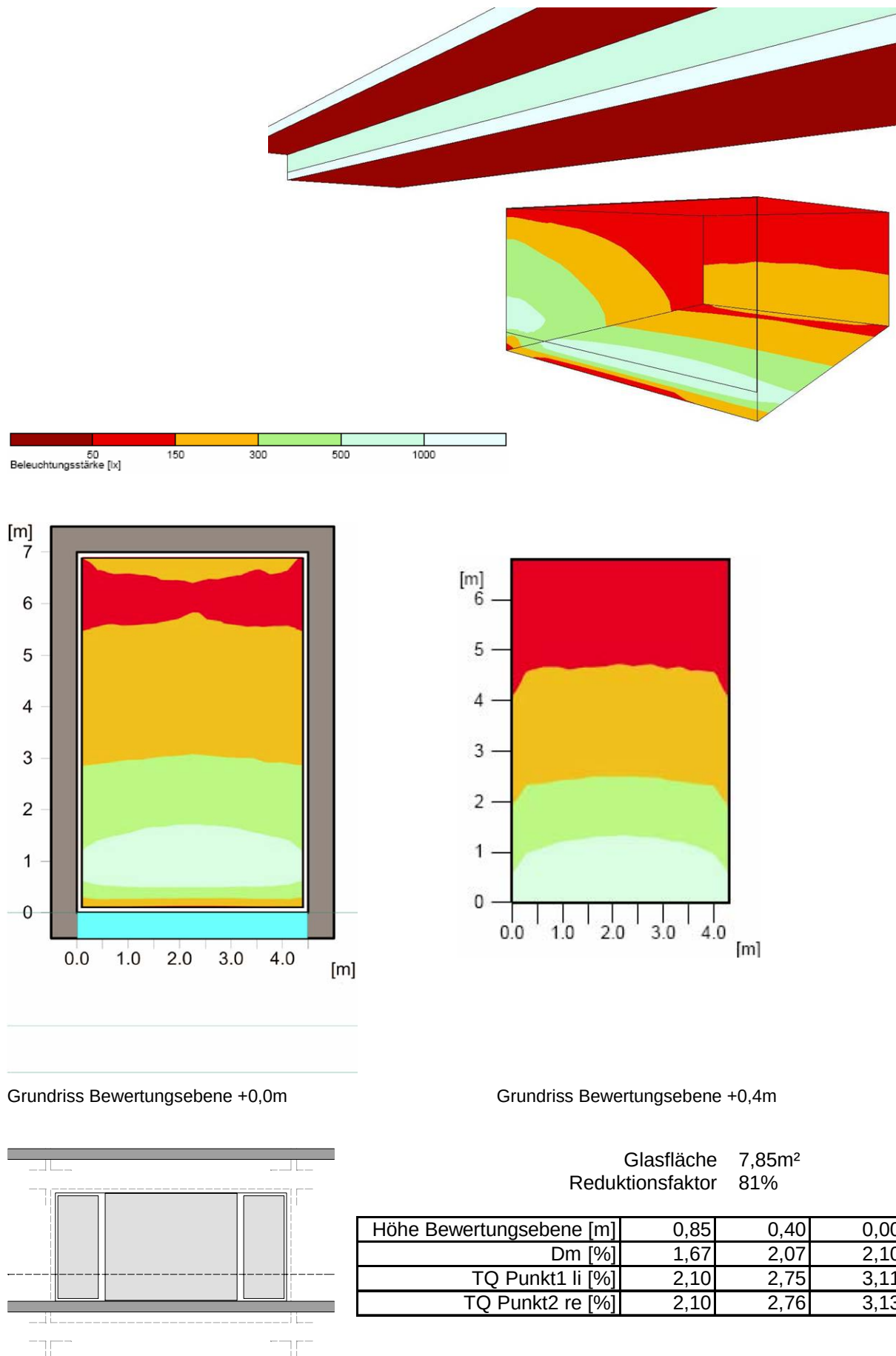


Abb. 119 Balkonauskragung 2,3m über Fassadenlänge auf Niveau +0,4m, weiterer Bereich um 0,5m erhöht mit 0,9m Auskragung, Fenster auf Raumbreite erweitert

Natürlich etwas besser als die Variante vorher.

5.4.6.7. Bewertung von zweimal Höhersetzen

Alle Varianten scheinen uns für den verdichteten Wohnbau der Zukunft sehr interessant. Es können großzügigste Balkone geschaffen werden, die in ihrer Größe schon an Schiffsdecks erinnern. Dies kann erreicht werden durch eine Höherstaffelung des Balkons in zwei Schritten in Kombination mit einer Vergrößerung des Fensters auf etwa 30 % der Nutzfläche des Raumes.

5.5. Städtebauliche und typologische Konsequenzen

Während der Simulationen waren wir negativ überrascht, wie schwierig es ist, Belichtung und Balkon in Einklang zu bringen. Dabei gehen die simulierten Varianten allesamt von einer Annahme ohne Nachbarverschattung aus, wie sie im dichtverbauten Gebiet allerdings nicht die Regel ist. Wir mussten uns also fragen, wie weit Erdgeschosswohnungen überhaupt mit Wohnraumtiefen von 7m ausgestattet werden können, bzw. ob es überhaupt möglich ist, über Erdgeschosswohnungen Balkone anzuordnen. Die Ergebnisse der Simulationen, soweit sie eine Verschattung durch Nachbargebäude berücksichtigen, haben allerdings insofern Interpretationsbedarf, da die Reflexionen durch Nachbargebäude vom Programm nicht berücksichtigt werden können. Die Ergebnisse sind also mit Resultaten durch sehr dunkle Nachbargebäuden vergleichbar. Wenn Nachbargebäude allerdings helle Farbe besitzen, so sind die (positiven) Reflexionswirkungen in der Realität deutlich messbar. Eine weiße Wand besitzt einen Reflexionsgrad von 80%, durch die zunehmende Verschmutzung sinkt der Wert allerdings kontinuierlich ab.

5.5.1. Veränderte Raumgeometrie des Wohnraumes

Bis jetzt wurden die Räume mit einer größeren Raumtiefe als Raumbreite betrachtet. Nach dem die Belichtung in den hinteren Bereich der Räume dadurch schlechter ausfällt, wurde die Auswirkung auf die Belichtungsqualität eines Raumes durch die Veränderung der Raumgeometrie betrachtet.

Ausgehend von dem bisherigen Seitenverhältnis von $B/T=4,5/7,0\text{m}$ wird hier ein Verhältnis von $B/T=7,0/4,5\text{m}$ angenommen.

5.5.1.1. $B/T=7,0/4,5\text{m}$, Standardfenster ohne Balkon

Als erste Variante wird der Raum ohne Balkonverschattung angenommen. Die Fenstergröße und Lage des Fensters zur Raumseite wird wie in der Grundvariante 5.4.4 belassen.

Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,32/2,38 \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,14/2,20 \rightarrow 6,9\text{m}^2$

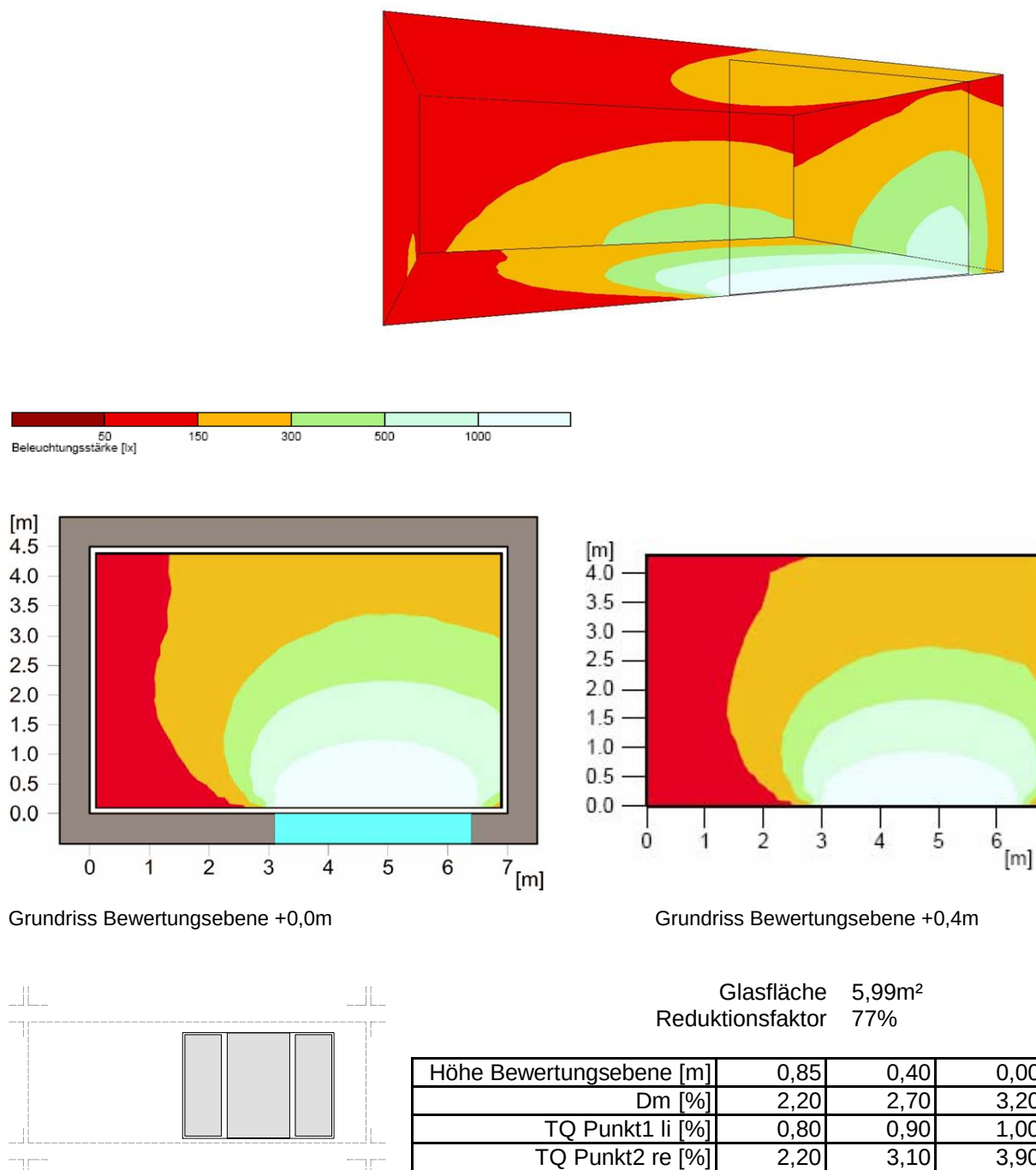


Abb. 120 Standardfenster ohne Balkon

Durch die geänderte Raumgeometrie zeigen sich zwei Aspekte. Durch die geringere Raumtiefe kommt es zu einer besseren Belichtung des hinteren Bereiches im Raum und durch die einseitige Befensterung zu einer wesentlich schlechteren Belichtung auf der einen Seite des Raumes. Im Vergleich zur Variante 5.4.4 bleibt zwar der mittlere Tageslichtquotient auf allen Bewertungsebenen gleich, jedoch stellen sich schlechtere Werte als in der Vergleichsvariante ein, wenn man z.B. den Tageslichtquotient im Punkt1 betrachtet. Die Wirkung des Raumes wird dadurch natürlich dramatisiert und in zwei deutlich unterschiedliche Bereiche geteilt. Weiters ist der Raum natürlich auf diese Weise noch lange nicht an der Grenze der Belichtbarkeit angelangt. Wenn erforderlich, können weitere Fenster angeordnet werden.

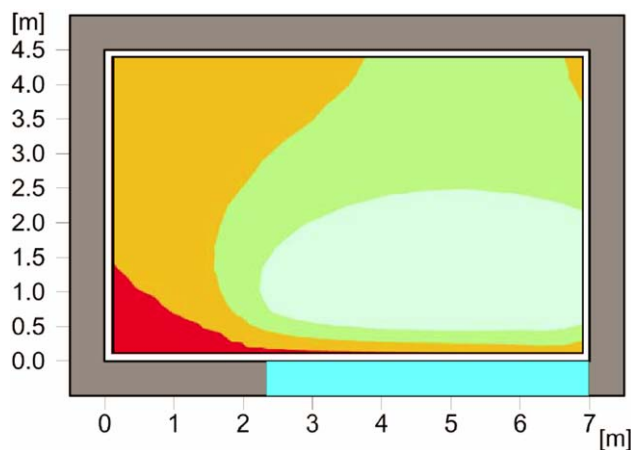
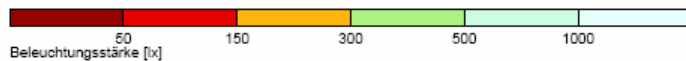
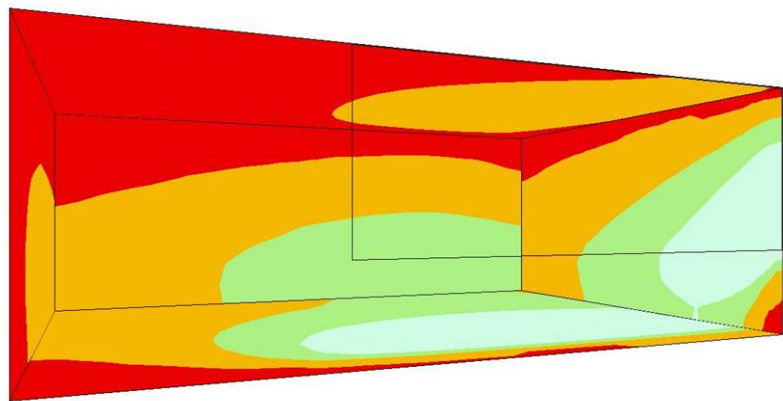
5.5.1.2. B/T=7,0/4,5m, Fensterband ohne Balkon

Da bei der vorangegangenen Variante weniger als die Hälfte der Außenwand mit einem Fenster versehen war, wird hier die Fensterproportion verändert, um einen höheren Anteil des Raumes zu belichten.

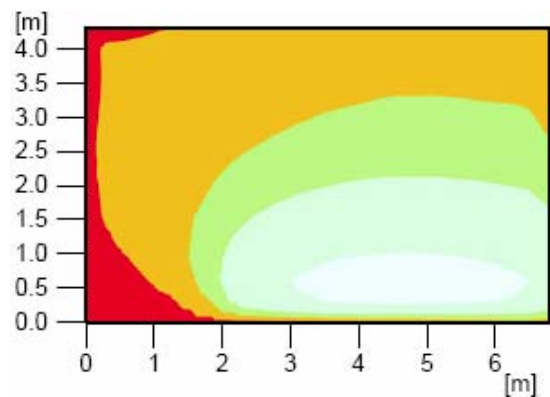
Die Fenstergröße wird dabei belassen. Lediglich die Proportion wird verändert, das Fenster auf eine Parapethöhe von 85cm und an eine Raumseite gesetzt.

Die Rohbaumaße sind: $B/H = 4,68/1,66 \rightarrow 7,77\text{m}^2$

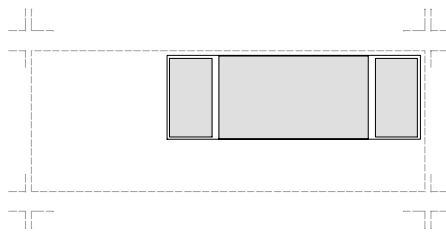
Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 4,5/1,49 \rightarrow 6,7\text{m}^2$



Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 78%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	3,10	2,98	2,84
TQ Punkt1 li [%]	1,10	1,37	1,57
TQ Punkt2 re [%]	3,00	3,95	4,36

Abb. 121 Fensterband ohne Balkon

Durch das Fensterband wird jetzt auch die zweite Seite des Raumes besser belichtet, wodurch eine Steigerung des mittleren Tageslichtquotienten auf allen Bewertungsebenen erreicht wird. Betrachtet man den Punkt2 auf der Ebene +0,85m kann hier ein Tageslichtquotient von 3,0% erzielt werden.

5.5.2. Einfluss der Verschattung durch ein Nachbargebäude auf die Belichtung

Wie schon im Kap. 3 beschrieben, muss in Hinblick auf die Verschattung eines großen Wohnbaues von den Bestimmungen der Bauordnungen ausgegangen werden, wo der Abstand eines Nachbargebäudes in etwa gleich seiner Höhe sein kann, da nur ein Lichteinfallswinkel von 45° eingehalten werden muss. Die daraus resultierende Verschattung hat, speziell in den unteren Geschossen, hohen Einfluss auf die Qualität der Belichtung.

Um die Auswirkungen festzustellen, haben wir in einem Abstand von 12m zur Außenwand des betrachteten Raumes ein Gebäude mit 12m Höhe und einem Reflexionsgrad der Gebäudehülle von 80% angenommen. Die Höhe des verschattenden Gebäudes wurde je nach Lage des betrachteten Geschosses angeglichen.

5.5.2.1. Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im EG, Standardfenster ohne Balkon

Aufbauend auf die Grundvariante 5.4.4 wurde die Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude auf einen, im EG liegenden, Raum betrachtet. Die Fenstergröße wurde wie in der Vergleichsvariante belassen. Der Lichteinfallswinkel beträgt 45°.

Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,32/2,38 \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,14/2,20 \rightarrow 6,9\text{m}^2$

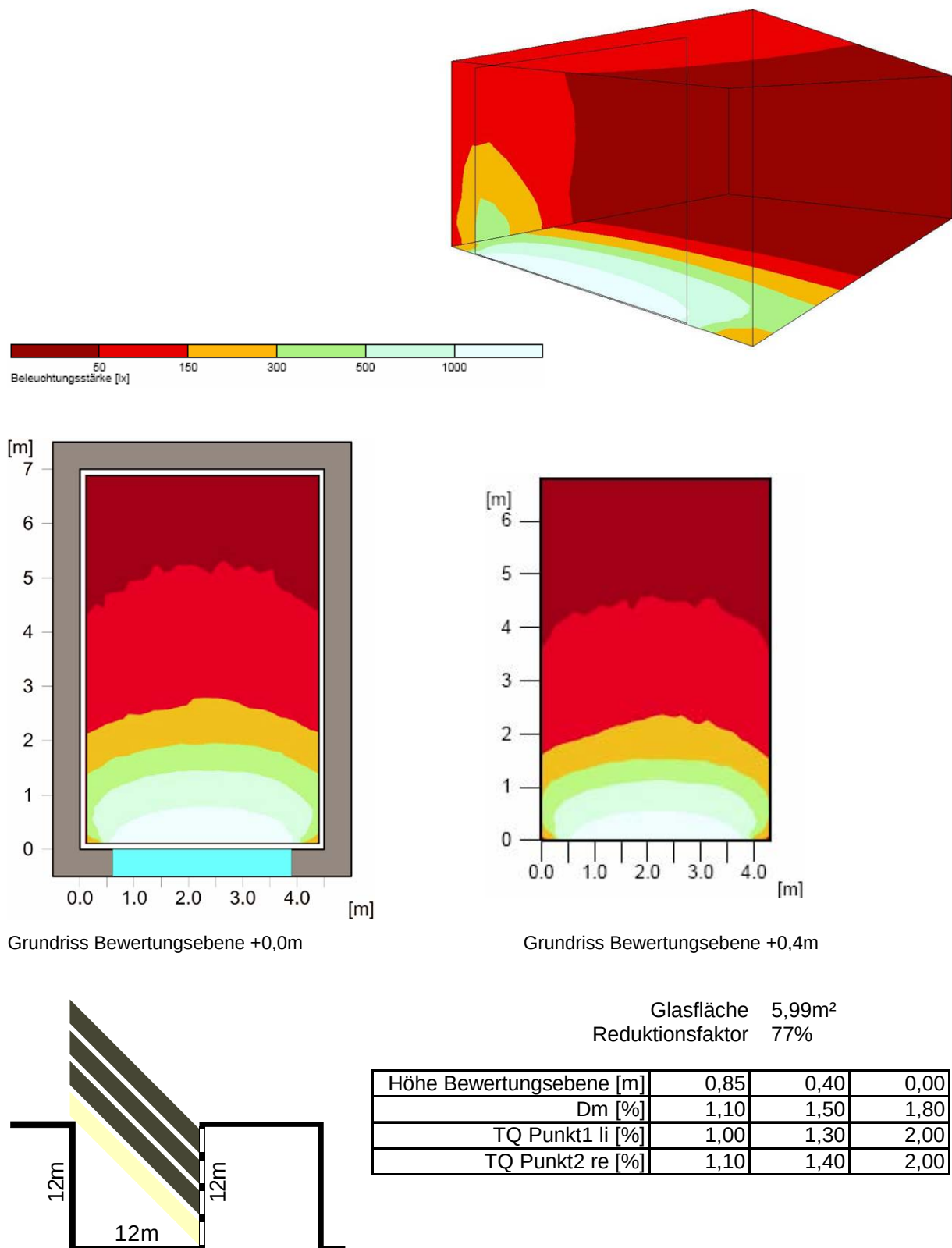


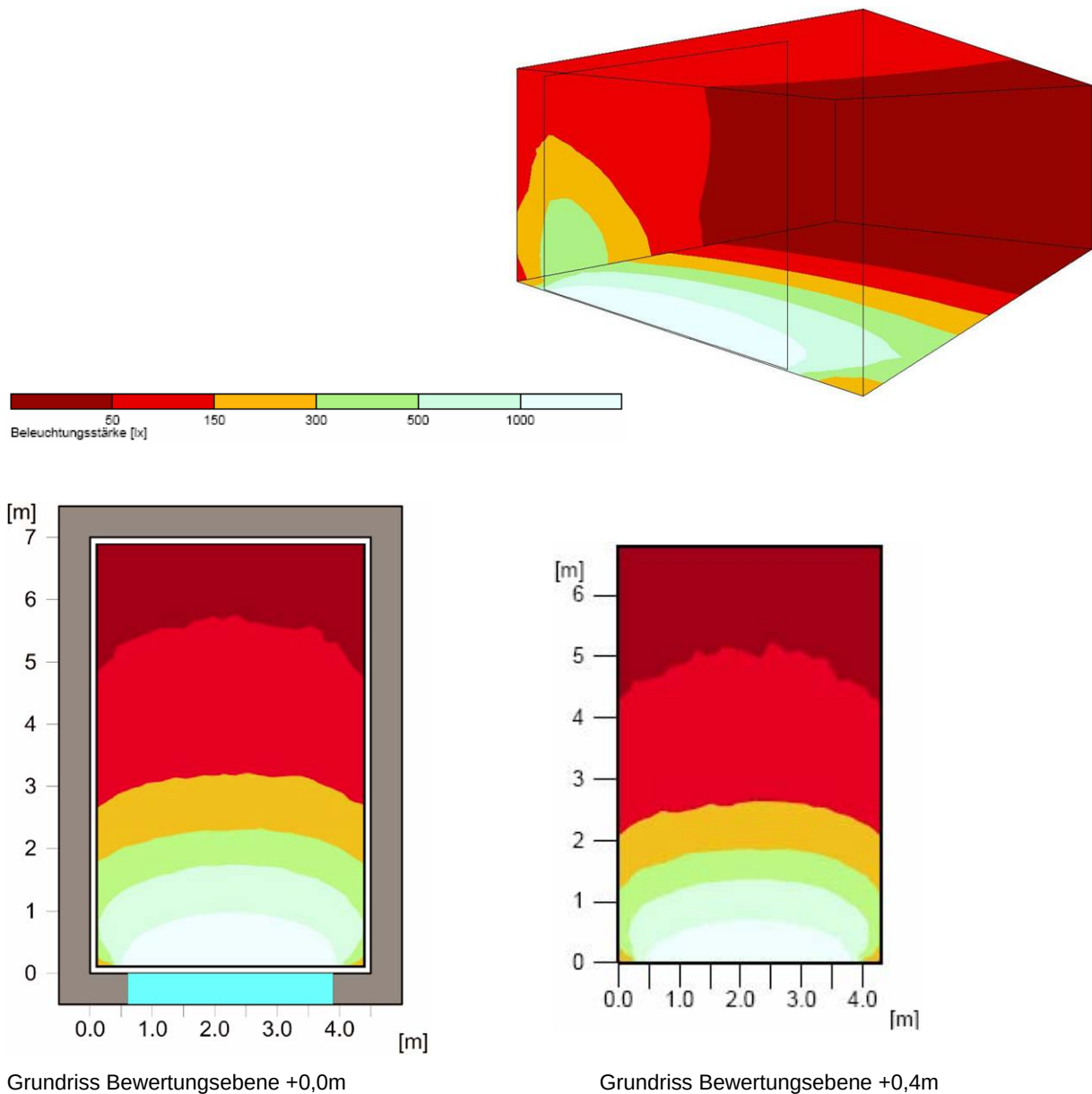
Abb. 122 Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im EG

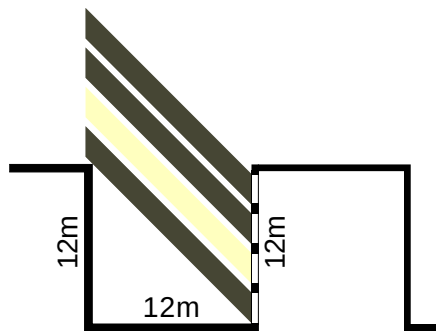
Die Beeinträchtigung durch ein Nachbargebäude auf das Erdgeschoss ist enorm. Vergleicht man die Ergebnisse mit der Variante 5.4.4 zeigen sich deutliche Einbussen bei der

Belichtungsqualität. Ist bei der Vergleichsvariante der Tageslichtquotient auf der Bewertungsebene +0,85 im Punkt1 2,4%, sinkt er hier auf 1,0%.

5.5.2.2. Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im 1.Stock, Standardfenster ohne Balkon

Die Parameter werden wie in der vorangegangenen Variante getroffen. Jedoch wird hier die Verschattung im 1.Stock betrachtet. Der Lichteinfallswinkel beträgt $36,97^\circ$.





Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

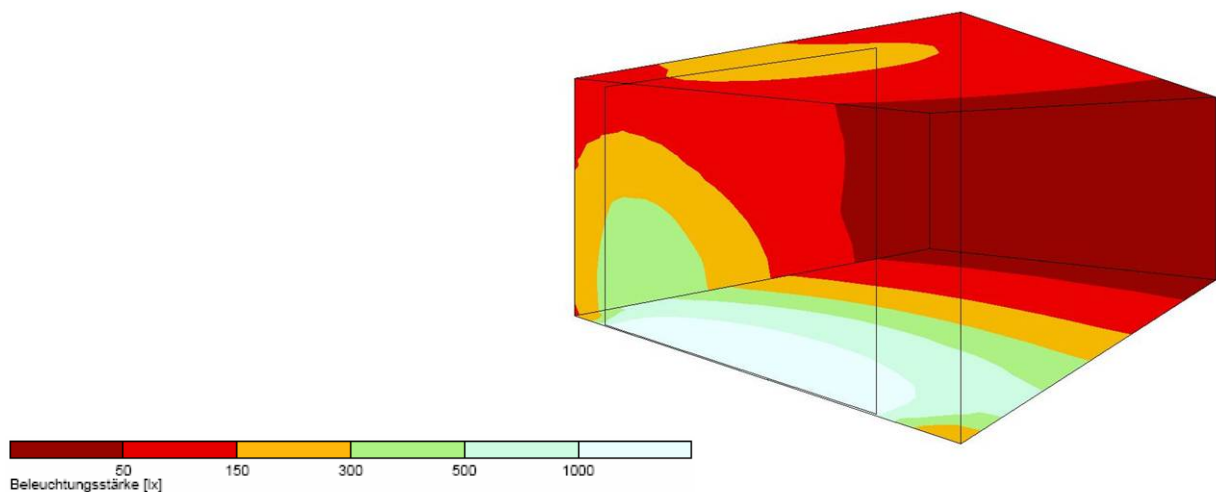
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,40	1,80	2,20
TQ Punkt1 li [%]	1,30	2,00	2,70
TQ Punkt2 re [%]	1,30	2,10	2,80

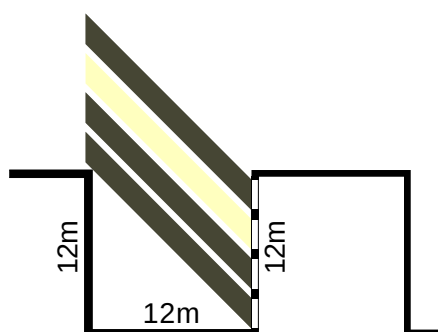
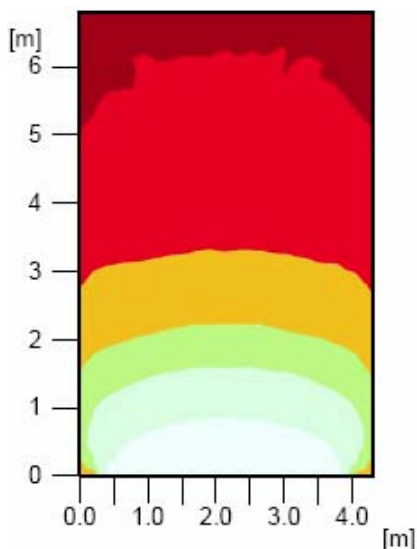
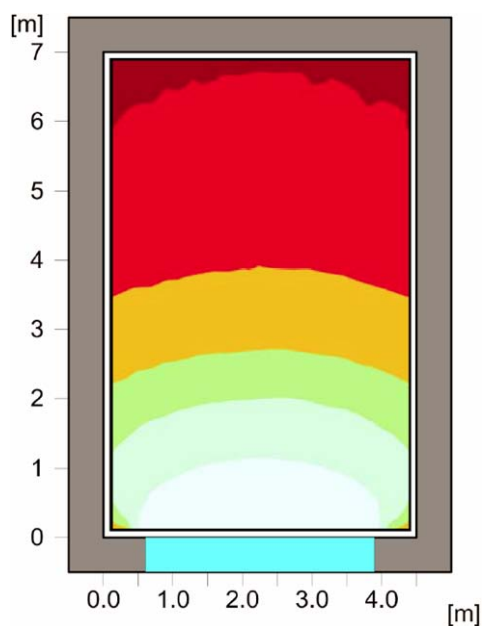
Abb. 123 Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im 1.Stock

Durch die geringere Verschattung durch das Nachbargebäude im 1. Stock steigen hier die Werte wieder geringfügig an. So verbessert sich der Tageslichtquotient auf der Bewertungsebene +0,85 im Punkt1 von 1,0% auf 1,3%. Die Zielvorgaben können noch nicht erreicht werden. Allerdings ist zu vermuten, dass durch Vergrößerung des Fensters ein guter Belichtungszustand hergestellt werden kann.

5.5.2.3. Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im 2.Stock, Standardfenster ohne Balkon

In dieser Variante wurde die Verschattung eines im 2. Stock liegenden Raumes betrachtet. Der Lichteinfallswinkel beträgt 26,82°.





Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	1,70	2,20	2,60
TQ Punkt1 li [%]	1,90	2,70	3,40
TQ Punkt2 re [%]	1,90	2,70	3,50

Abb. 124 Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im 2.Stock

Wie schon im 1.Stock wirkt sich auch im 2.Stock die geringere Verschattung positiv aus. Der Tageslichtquotient steigt im Punkt1 von 1,3% auf 1,9%.

5.5.2.4. Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im DG, Standardfenster ohne Balkon

In dieser Variante wird die Verschattung eines im DG liegenden Raumes betrachtet. Der Lichteinfallswinkel beträgt 14,5°.

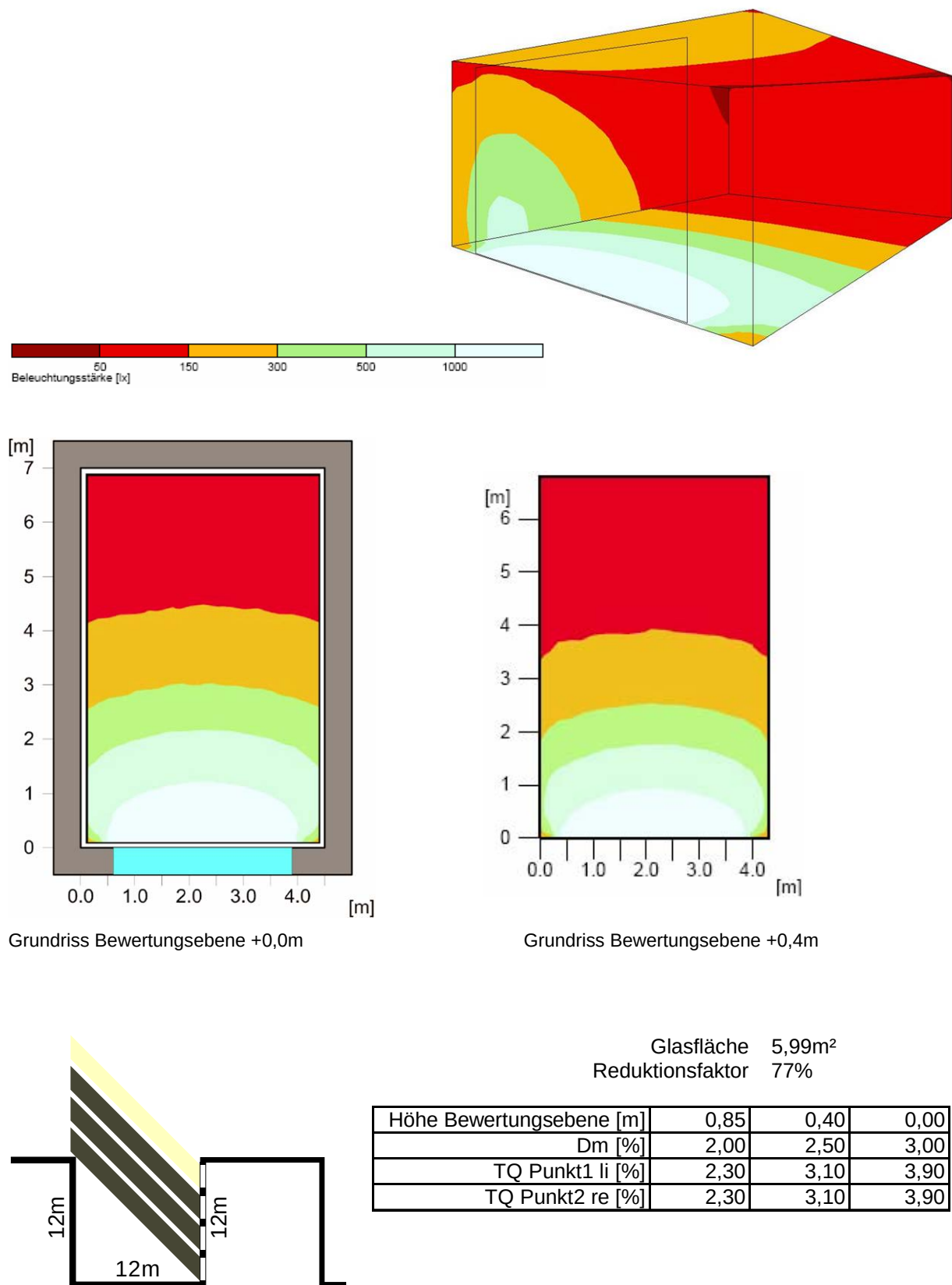


Abb. 125 Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im DG

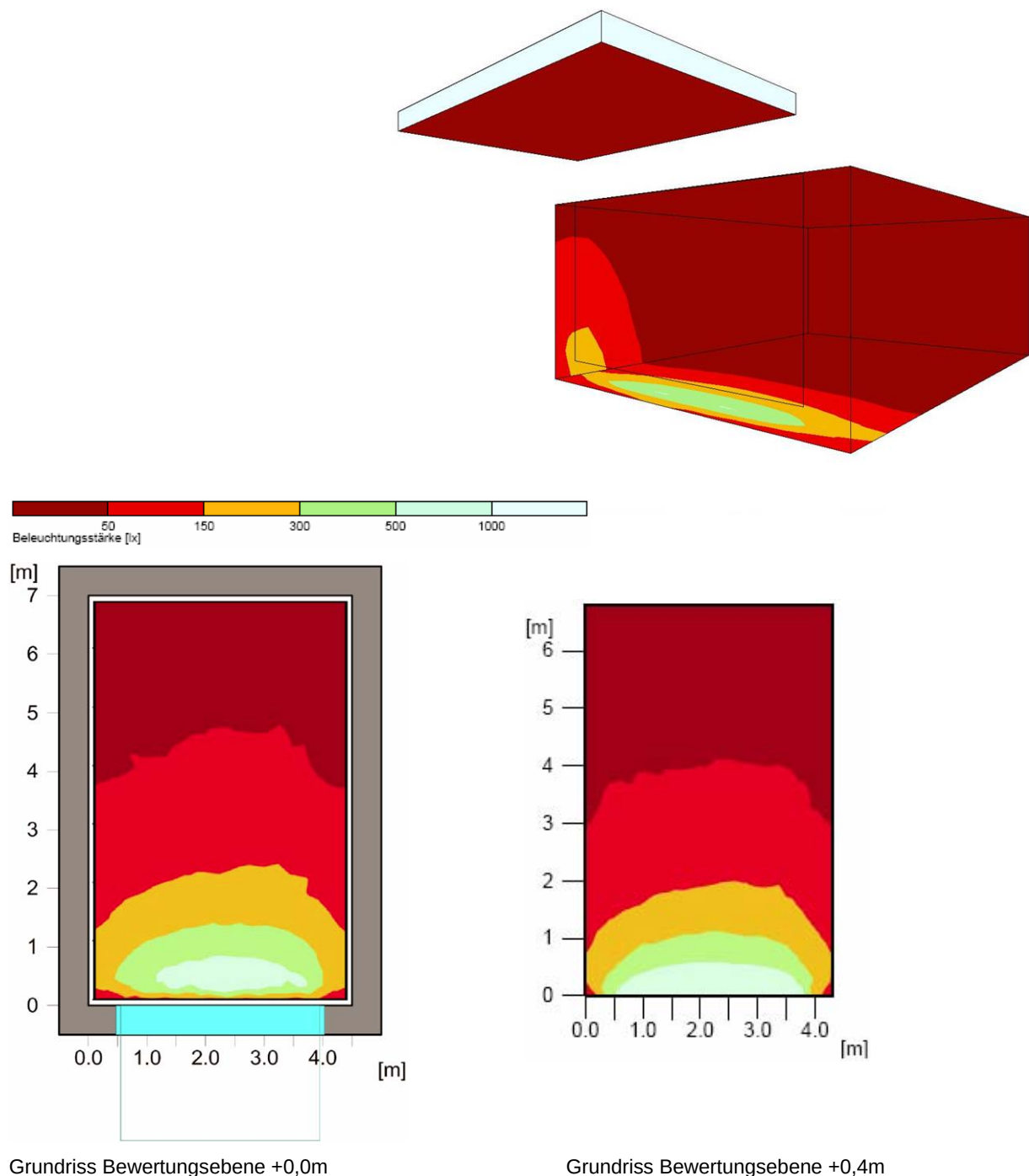
Im Dachgeschoss sind die Werte bereits annähernd gleich wie bei der Variante ohne Verschattung durch ein Nachbargebäude. So erreicht der Tageslichtquotient auf der Ebene +0,85m im Punkt1 bereits 2,3%. Der mittlere Tageslichtquotient ist allerdings geringer als in der Vergleichsvariante. Ebenso sind die Werte auf den beiden anderen Bewertungsebenen niedriger als bei der Vergleichsvariante.

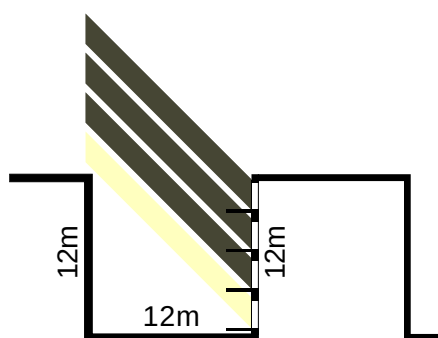
5.5.2.5. Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im EG, Standardfenster mit Balkon 2,3m auf Niveau +0,4m

Wie bei den Varianten davor wurde auch hier die Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude betrachtet. Als Vergleich dient die Variante 5.4.6.1.1. Die Balkonauskragung und Fenstergröße wurde gleich belassen, der Lichteinfallswinkel beträgt 45°.

Die Rohbaumaße sind: $B/H = 3,58/2,19\text{m} \rightarrow 7,875\text{m}^2$

Die resultierende Architekturlichte ist: $B/H = 3,40/2,01\text{m} \rightarrow 6,85\text{m}^2$





Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

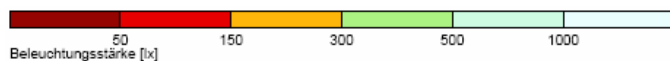
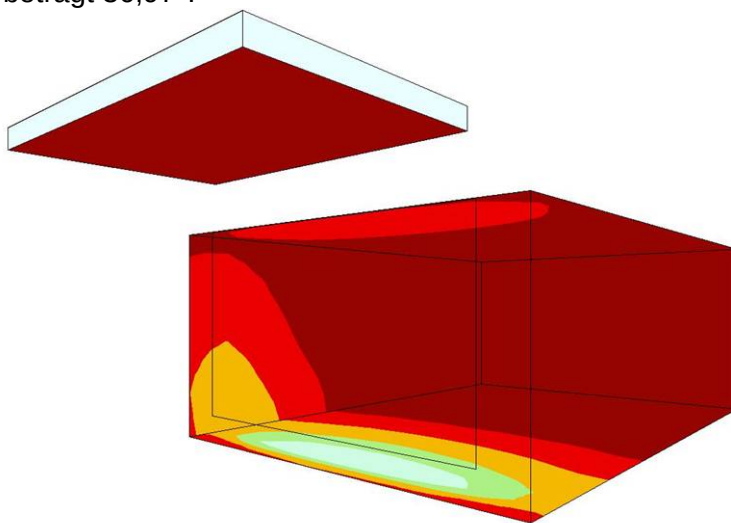
Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	0,67	0,89	0,91
TQ Punkt1 li [%]	0,70	0,93	1,13
TQ Punkt2 re [%]	0,91	1,13	1,30

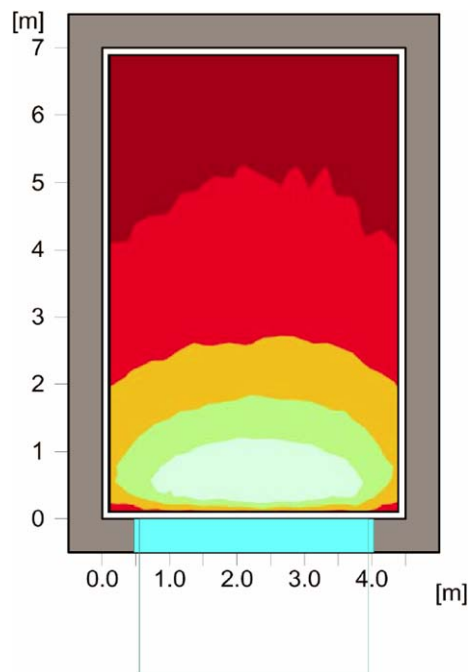
Abb. 126 Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im EG, Standardfenster mit Balkon 2,3m auf Niveau +0,4m

Auch hier reduzieren sich die Werte im Erdgeschoss durch die Verschattung eines Nachbargebäudes auf mehr als die Hälfte. Ist der Tageslichtquotient auf der Ebene +0,85m. Im Punkt1 in der Vergleichsvariante 1,91% sinkt er auf 0,7% ab.

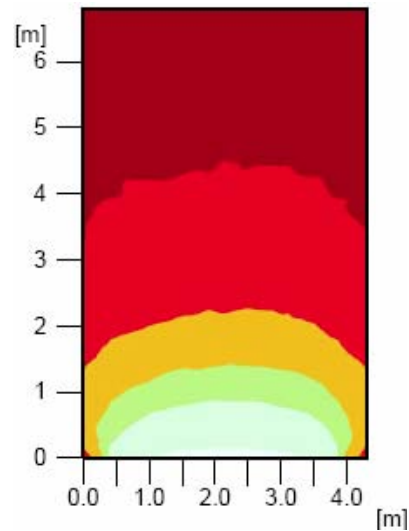
5.5.2.6. Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im 1.Stock, Standardfenster mit Balkon 2,3m auf Niveau +0,4m

Hier wurde in gleicher Weise die Verschattung eines im 1. Stock liegenden Raumes betrachtet. Der Lichteinfallswinkel beträgt 36,97°.

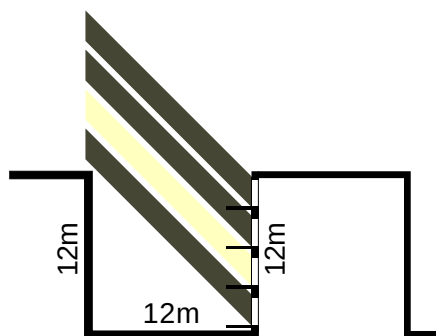




Grundriss Bewertungsebene +0,0m



Grundriss Bewertungsebene +0,4m



Glasfläche 5,99m²
 Reduktionsfaktor 77%

Höhe Bewertungsebene [m]	0,85	0,40	0,00
Dm [%]	0,83	1,12	1,16
TQ Punkt1 li [%]	0,84	1,26	1,63
TQ Punkt2 re [%]	0,96	1,39	1,72

Abb. 127 Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im 1.Stock, Standardfenster mit Balkon 2,3m auf Niveau +0,4m

Im 1.Stock ist die Beeinträchtigung zwar geringer die Werte sind allerdings für einen Wohnraum immer noch zu gering.

5.5.2.7. Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im 2.Stock, Standardfenster mit Balkon 2,3m auf Niveau +0,4m

Als letzte Variante wurde ein im 2. Stock liegender Raum betrachtet. Der Lichteinfallswinkel beträgt 26,82°.

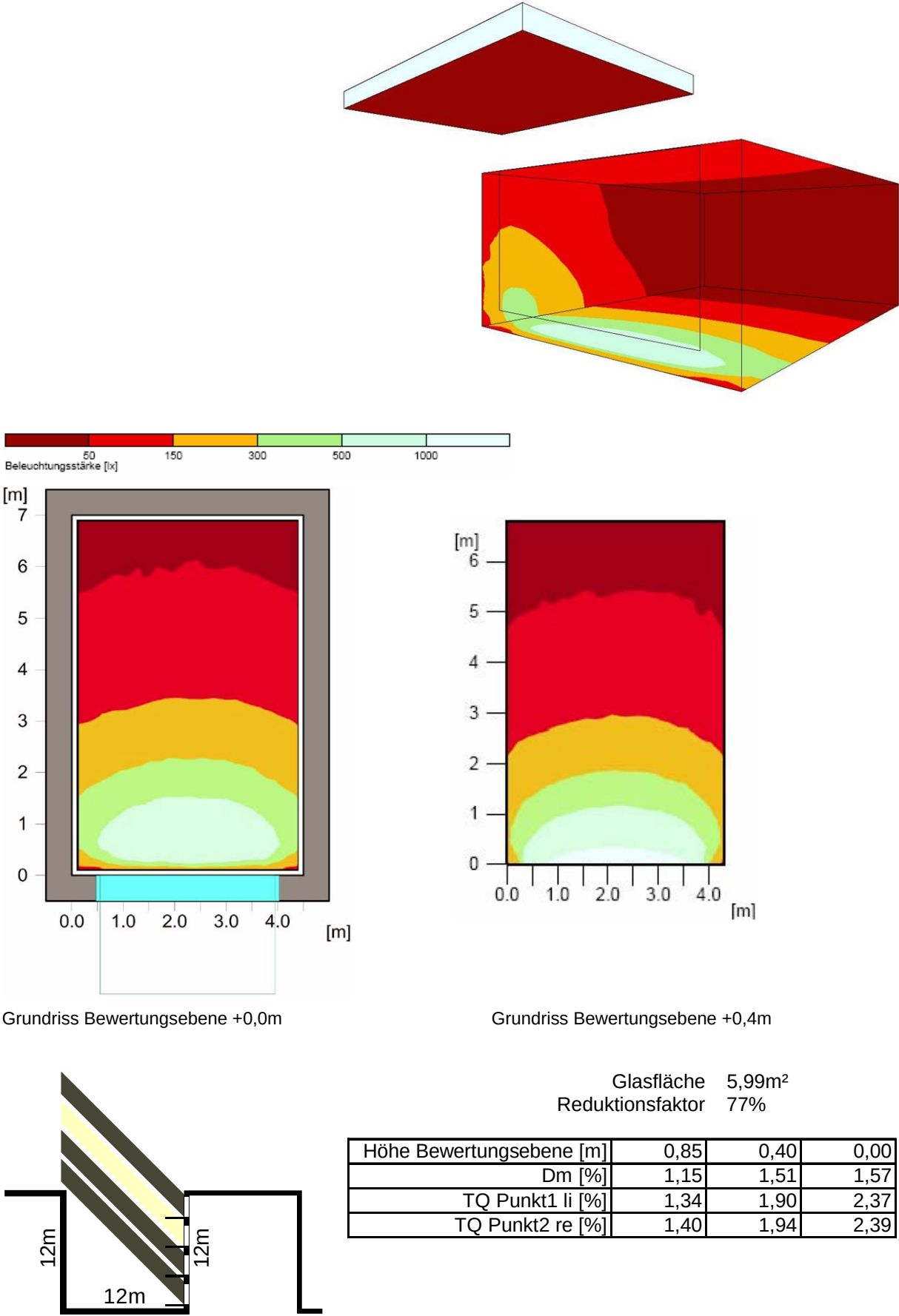


Abb. 128 Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude im 2.Stock, Standardfenster mit Balkon 2,3m auf Niveau +0,4m

Im 2.Stock haben sich die Werte nochmals verbessert. Das Ergebnis ist nun einigermaßen zufriedenstellend und erreicht fast die Zielvorgaben.

5.5.2.8. Bewertung

Betrachtet man die Ergebnisse, wird deutlich, dass eine Kombination aus Nachbarverschattung, Balkonverschattung und großer Raumtiefe im Erdgeschoss eindeutig zu untragbaren Belichtungssituationen führt. Eigentlich kann gesagt werden, dass generell eine Verschattung von 30°, d.h. ca. ein Verhältnis von 1: 2 (Höhe zu Breite), nicht nur aus solartechnischer Sicht nicht überschritten werden sollte.

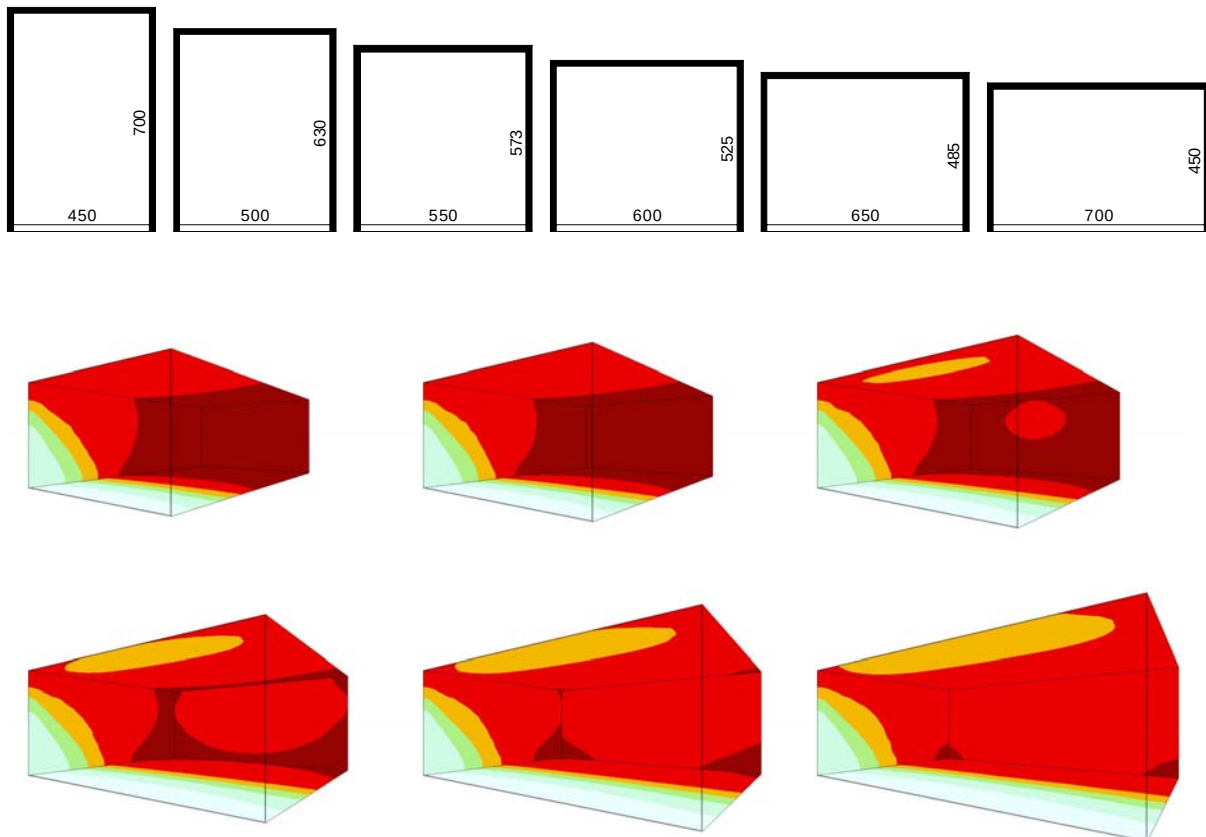
5.5.3. Exkurs: Einfluss der Verschattung durch ein Nachbargebäude im Erdgeschoss - Varianten

Da der Einfluss der Verschattung durch ein Nachbargebäude speziell im Erdgeschoss zu einer nicht unerheblichen Beeinträchtigung der Belichtungsqualität führt, haben wir versucht, durch unterschiedliche Maßnahmen die Qualität der Belichtung zu steigern.

5.5.3.1. Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude in Abhängigkeit der Raumgeometrie und Fenstergröße ohne Balkon

Als ersten Schritt haben wir untersucht, ob alleine durch die Erhöhung der Fenstergröße die Belichtungsqualität wieder auf ein nutzerkonformes Niveau gesteigert werden kann. Dafür wurde einerseits das Fenster über die gesamte Raumansichtsfläche vergrößert und andererseits das Verhältnis von der Raumbreite (B) zur Raumtiefe (T) schrittweise verändert. Die Raumhöhe wurde bei allen Schritten mit 2,5m angenommen.

Betrachtet wurden dabei folgende Raumgeometrien:



Tageslichtquotienten in Abhängigkeit der Raumgeometrie

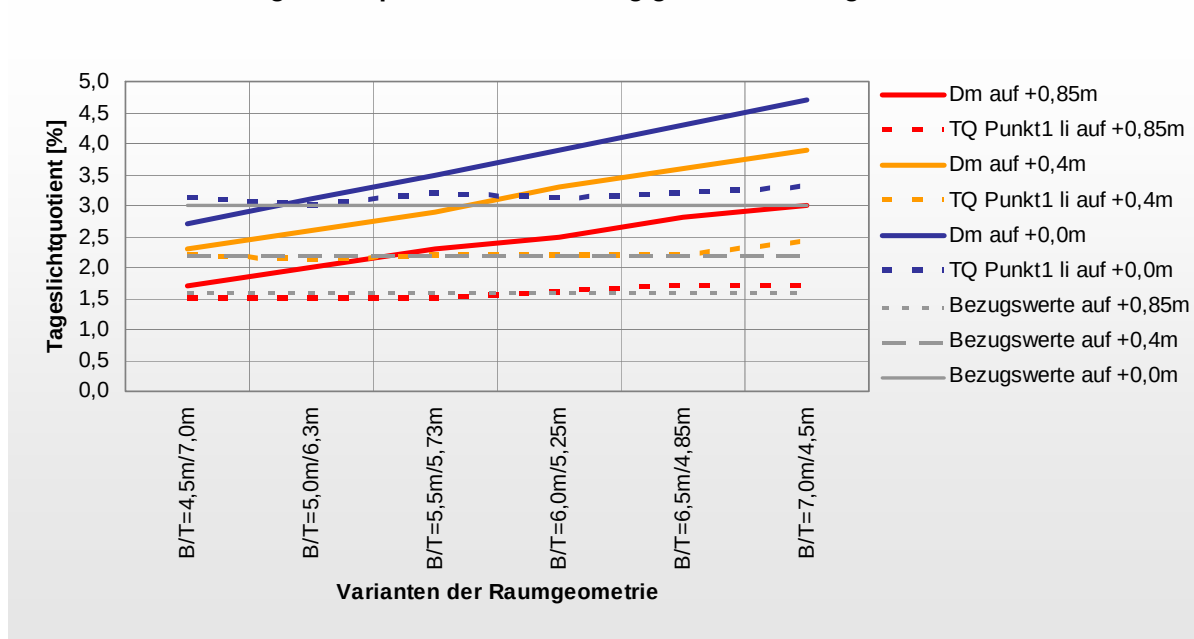


Abb. 129 Belichtung und Raumgeometrien

Obwohl durch diese Annahmen die Verglasungsfläche von 9,1m² auf 14,89m² gesteigert werden konnte veränderte sich der Tageslichtquotient auf den unterschiedlichen Bewertungsebenen nur unwesentlich. Im Punkt1 auf der Bewertungsebene +0,85m wird dadurch nur ein Tageslichtquotient von 1,5% bis 1,7% erreicht. Eine Steigerung durch die Veränderung der Raumgeometrie und der damit verbundenen Steigerung der Fenstergröße kann bei den mittleren Tageslichtquotienten erzielt werden, da mit abnehmender Raumtiefe mehr Licht in den hinteren Bereich des Raumes gelangt.

Die Zielvorgaben können mit dieser Vergrößerung des Fensters knapp erreicht werden.

5.5.3.1.1. TQ bei 2m, eine sinnvolle Einführung?

In der vorangegangenen Studie kann gut festgestellt werden, dass die Festlegung des TQ in 2m Raumtiefe unabhängig von der Gesamttiefe des Raumes nur sehr mittelbar über die Lichtverhältnisse im Raum etwas auszusagen imstande ist. Der Gesamtsituation im Raum würde mit dem mittleren Tageslichtquotienten Dm eindeutig besser erfasst.

5.5.3.2. Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude in Abhängigkeit der Geschosslage ohne Balkon

Untersucht wurde wie sich die Reduktion der Verschattung durch ein Nachbargebäude mit Zunahme der Höhenlage des betrachteten Raumes verändert.

Dazu wurde die Variante mit einem Verhältnis von B/T=7,0/4,5m, ohne Balkonverschattung im EG, OG1, OG2 und DG platziert wodurch sich die verschattende Höhe des Nachbargebäudes reduziert.

Tageslichtquotienten in Abhängigkeit der Geschosslage

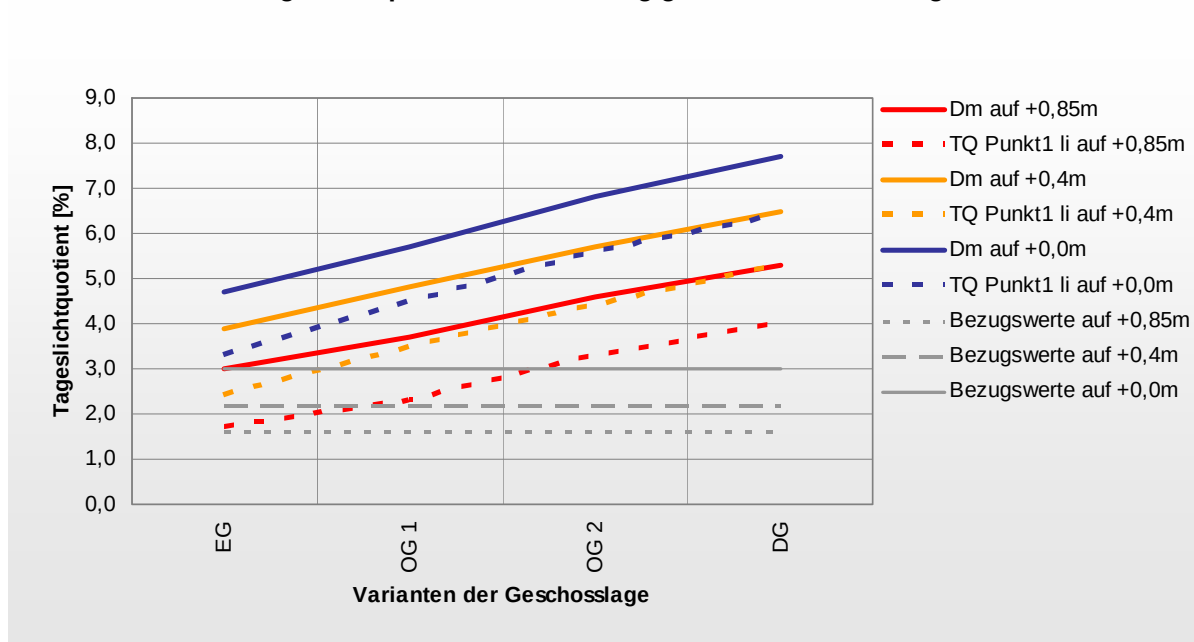


Abb. 130 Verschattung durch ein Nachbargebäude in Abhängigkeit der Geschosslage

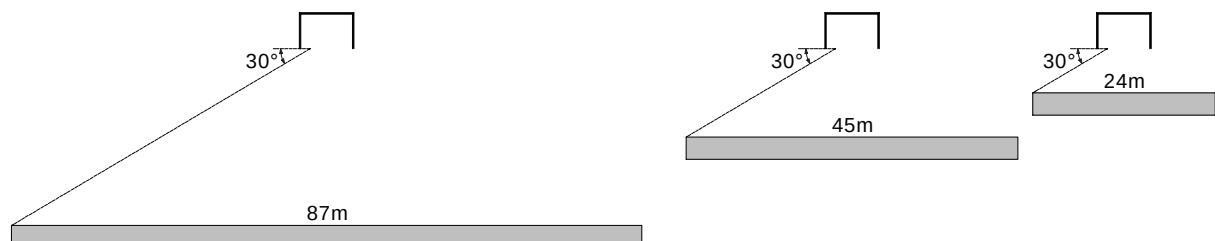
Durch die geringere Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude kann auf diese Weise mit zunehmender Höhe der Geschosslage der Tageslichtquotient gesteigert werden. Vergleicht man die Tageslichtquotienten auf der Bewertungsebene +0,85m, zeigen sich folgende Ergebnisse:

	EG	OG1	OG2	DG
Dm [%]	3,00	3,70	4,60	5,30
TQ Punkt1 li [%]	1,70	2,30	3,30	4,00

5.5.3.3. Auswirkung des Abstandes zwischen betrachteten Raum und verschattenden Gebäude

Bei dieser Variante wurde untersucht welchen Einfluss der Abstand zwischen dem betrachteten Raum und dem verschattenden Gebäude auf die Belichtungsqualität im Erdgeschoss hat.

Dazu wurde die Variante mit einem Verhältnis von $B/T=7,0/4,5m$ und einem Abstand von 12m und einer Höhe des verschattenden Gebäude von ebenfalls 12m mit einer Variante mit 24m Abstand und 24m Gebäudehöhe und einer weiteren Variante mit 6m Abstand und 6m Gebäudehöhe verglichen. Die Länge des verschattenden Gebäude wurde bei allen Varianten im Verhältnis zum Abstand angepasst.



Tageslichtquotienten in Abhängigkeit des Abstandes zum Nachbargebäude

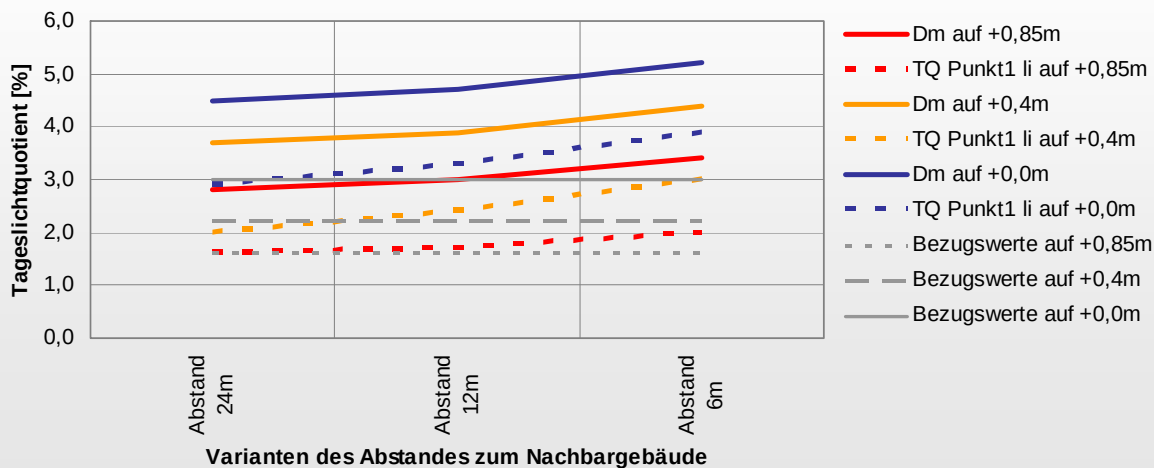


Abb. 131 Auswirkung des Abstandes

Vergleicht man die Tageslichtquotienten auf der Bewertungsebene +0,85m zeigen sich folgende Ergebnisse:

	Abstand 24m	Abstand 12m	Abstand 6m
Dm [%]	2,80	3,00	3,40
TQ Punkt1 li [%]	1,60	1,70	2,00

Erstaunlicherweise bringt die Untersuchung leicht unterschiedliche Ergebnisse, wobei das höchste Nachbargebäude am schlechtesten abschneidet.

5.5.3.4. Auswirkung der Verbesserung des Lichteinfallwinkels auf 30°

Untersucht wurde die Auswirkung der Verbesserung des Lichteinfallwinkels auf 30°.

Dazu wurde bei allen, in Kap. 5.5.3.1 beschriebenen Raumgeometrien, die Verschattung durch ein Nachbargebäude im Erdgeschoss verbessert in dem bei einem gleich bleibenden Abstand von 12m die Höhe des Nachbargebäudes auf 6,93m reduziert wurde.

Tageslichtquotienten bei einem Lichteinfallswinkel von 30°

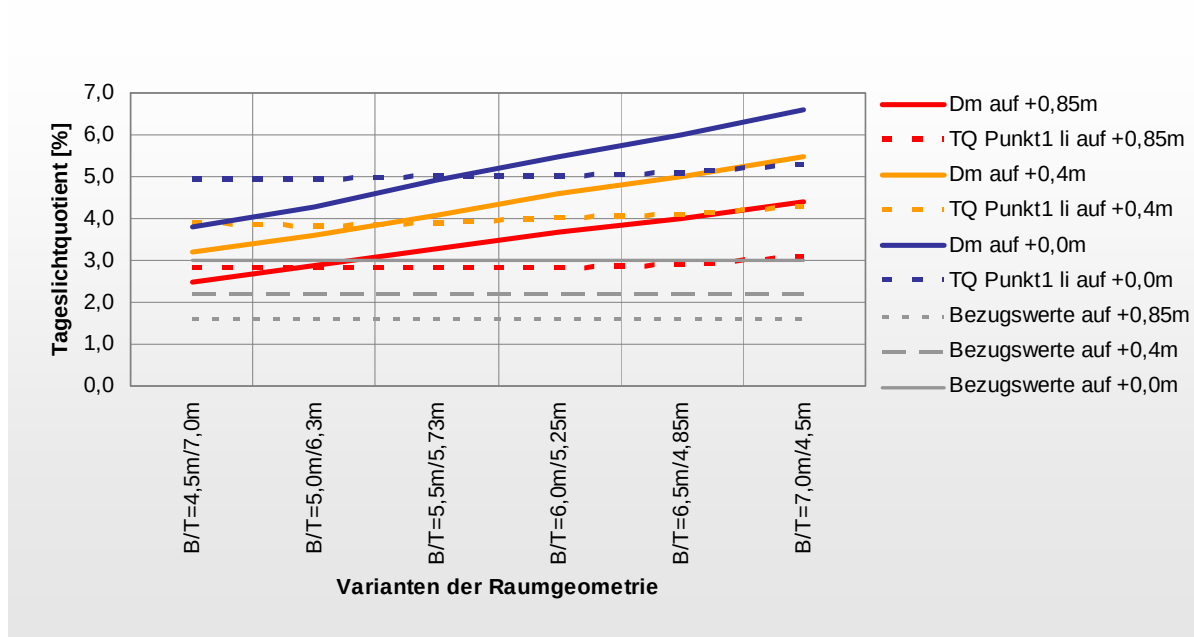


Abb. 132 Verbesserung des Lichteinfallswinkels

Lag der Tageslichtquotient auf der Bewertungsebene +0,85m im Punkt1, bei einem Lichteinfallswinkel von 45°, je nach Raumgeometrie bei 1,5% bis 1,7% kann dieser durch die Verbesserung des Lichteinfallswinkels auf 2,8% bis 3,1% gesteigert werden.

So ergeben sich in Abhängigkeit der Raumgeometrie auf der Bewertungsebene +0,85m folgende Ergebnisse:

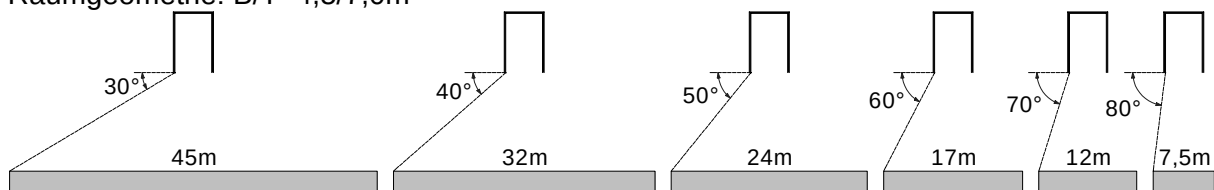
	B/T=4,5m/7,0m	B/T=5,0m/6,3m	B/T=5,5m/5,73m	B/T=6,0m/5,25m	B/T=6,5m/4,85m	B/T=7,0m/4,5m
Dm [%]	2,50	2,90	3,30	3,70	4,00	4,40
TQ Punkt1 li [%]	2,80	2,80	2,80	2,80	2,90	3,10

Es lässt sich mit Sicherheit annehmen, dass bei dieser Höhe des Nachbargebäudes und nicht zu großer Raumtiefe auch ein Balkon über dem EG angeordnet werden kann.

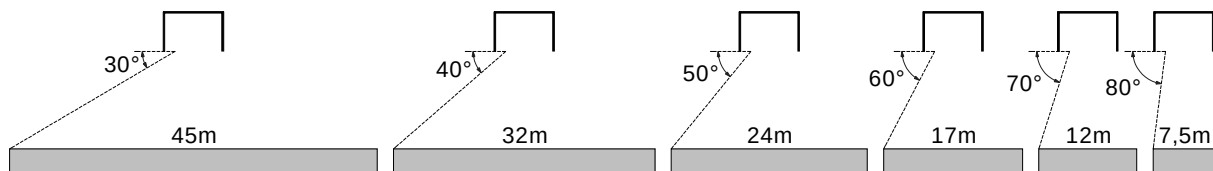
5.5.3.5. Auswirkung des seitlichen Lichteinfallswinkels auf die Belichtungsqualität

Hier wurde untersucht welchen Einfluss der seitliche Lichteinfall auf die Belichtungsqualität hat. Dafür wurde bei den beiden Raumgeometrien, B/T=4,5/7,0m und B/T=7,0/4,5m, der seitliche Lichteinfallswinkel in 10°-Schritten verändert, wodurch sich die Länge des verschattenden Gebäudes verkürzt.

Raumgeometrie: B/T=4,5/7,0m



Raumgeometrie: B/T=7,0/4,5m



**Tageslichtquotienten in Abhängigkeit des seitlichen Lichteinfallwinkels
bei der Raumgeometrie von B/T=4,5m/7,0m**

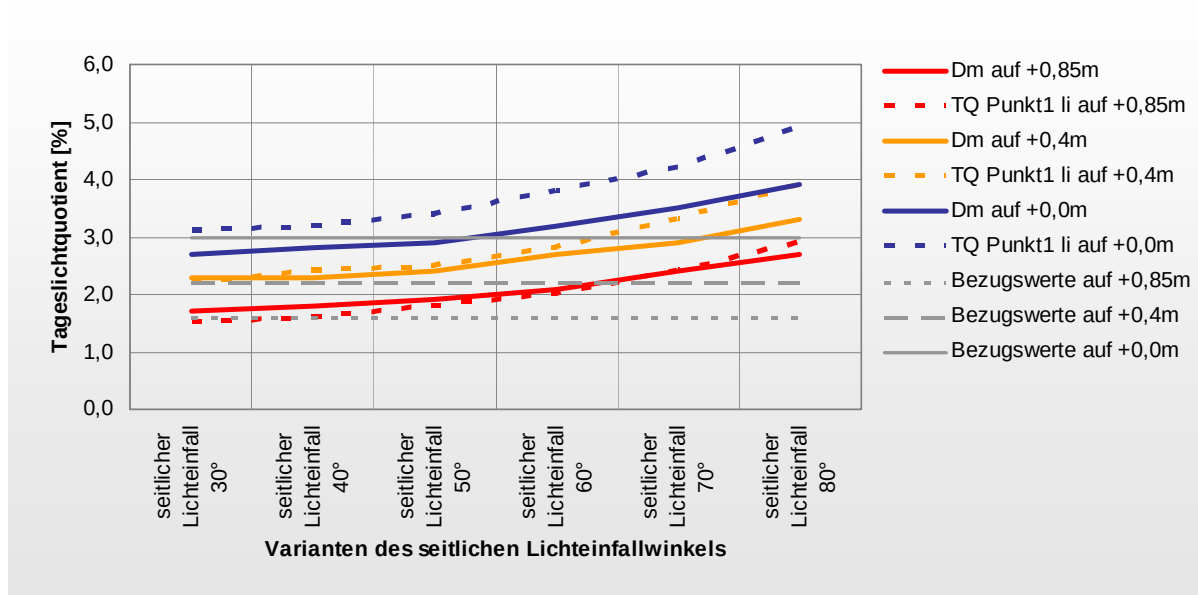


Abb. 133 Auswirkung des seitlichen Lichteinfallwinkels 1

Auf der Bewertungsebene +0,85m ergeben sich folgende Ergebnisse:

	seitlicher Lichteinfall 30°	seitlicher Lichteinfall 40°	seitlicher Lichteinfall 50°	seitlicher Lichteinfall 60°	seitlicher Lichteinfall 70°	seitlicher Lichteinfall 80°
Dm [%]	1,70	1,80	1,90	2,10	2,40	2,70
TQ Punkt1 li [%]	1,50	1,60	1,80	2,00	2,40	2,90

Tageslichtquotienten in Abhängigkeit des seitlichen Lichteinfallwinkels bei der Raumgeometrie von B/T=7,0m/4,5m

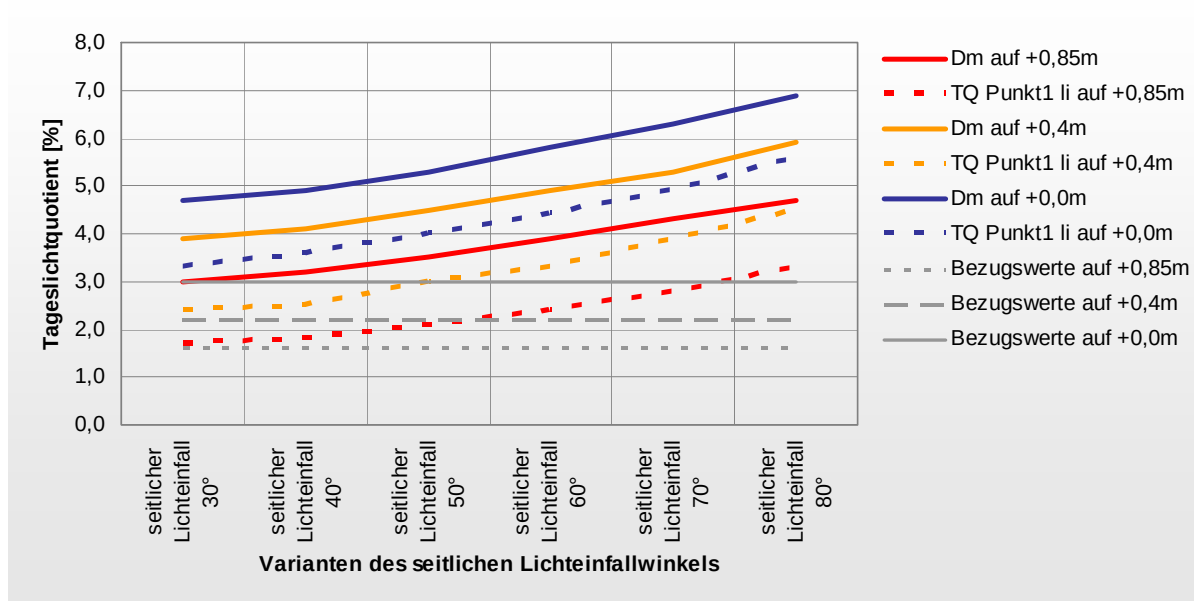


Abb. 134 Auswirkung des seitlichen Lichteinfallwinkels 2

Auf der Bewertungsebene +0,85m ergeben sich folgende Ergebnisse:

	seitlicher Lichteinfall 30°	seitlicher Lichteinfall 40°	seitlicher Lichteinfall 50°	seitlicher Lichteinfall 60°	seitlicher Lichteinfall 70°	seitlicher Lichteinfall 80°
Dm [%]	3,00	3,20	3,50	3,90	4,30	4,70
TQ Punkt1 li [%]	1,70	1,80	2,10	2,40	2,80	3,30

Als Ergebnis zeigt sich ein deutlicher Anstieg des Tageslichtquotienten auf allen Ebenen. Hinsichtlich der Belichtungsqualität von Räumen muss also auf den horizontalen und seitlichen Lichteinfall Rücksicht genommen werden.

5.5.4. Frage nach der maximalen Höhe des Nachbargebäudes bei dem die Belichtungsqualität noch in einem akzeptablen Rahmen bleibt

Bis jetzt wurden im Exkurs zu der Auswirkung der Verschattung durch ein Nachbargebäude alle Varianten ohne Balkon betrachtet. Ziel war es, heraus zu finden, bei welchen Kriterien die Belichtungsqualität in den betrachteten Räumen noch ein akzeptables Niveau erreicht. Darauf aufbauend wird nun, bei der Variante mit einer Raumgeometrie von B/T=7,0/4,5m, eine zusätzliche Verschattung durch einen Balkon mit einer Auskragung von 2,3m, von der Innenseite der Außenwandfläche gemessen, angenommen.

5.5.4.1. Maximale Höhe des Nachbargebäudes bei einer 100%igen Verschattung des Fensters durch einen Balkon

Betrachtet wird die Belichtungsqualität des Raumes im Erdgeschoss bei einer Verschattung durch einen Balkon auf dem Niveau +0,4m, einer Auskragung von 2,3m und einer Breite von 6,84m, was der Breite des verschatteten Fensters entspricht.

Gesucht wird nach der maximal möglichen Höhe des Nachbargebäudes, bei der die Belichtungsqualität des betrachteten Raumes noch ein akzeptables Maß erreicht. Als Vergleich dient eine Variante ohne Verschattung durch ein Nachbargebäude.

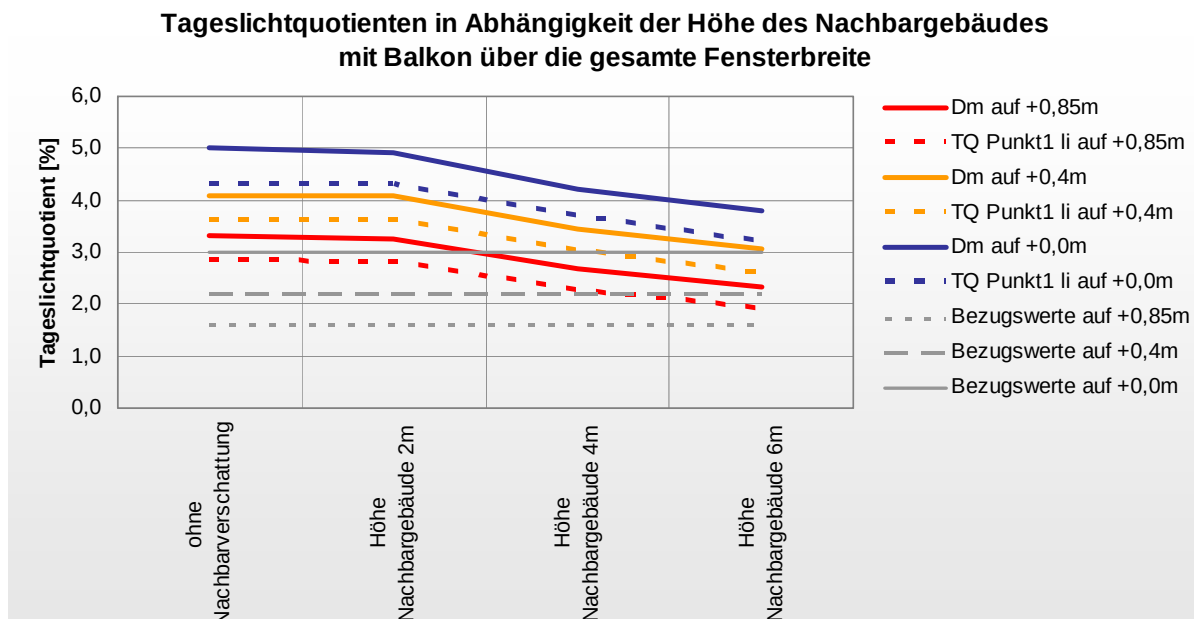


Abb. 135 Maximale Höhe des Nachbargebäudes bei 100%iger Verschattung
Auf der Bewertungsebene +0,85m ergeben sich folgende Ergebnisse:

	ohne Nachbarverschattung	Höhe Nachbargebäude 2m	Höhe Nachbargebäude 4m	Höhe Nachbargebäude 6m
Dm [%]	3,31	3,27	2,67	2,34
TQ Punkt1 li [%]	2,85	2,82	2,28	1,93

5.5.4.2. Maximale Höhe des Nachbargebäudes bei einer 50%igen Verschattung des Fensters durch einen Balkon

Wie bei der vorangegangenen Variante wird die Fragestellung gleichbehalten. Geändert wurde allerdings die Breite des Balkons auf 3,42m wodurch nur noch die Hälfte des darunter liegenden Fensters verschattet wird.

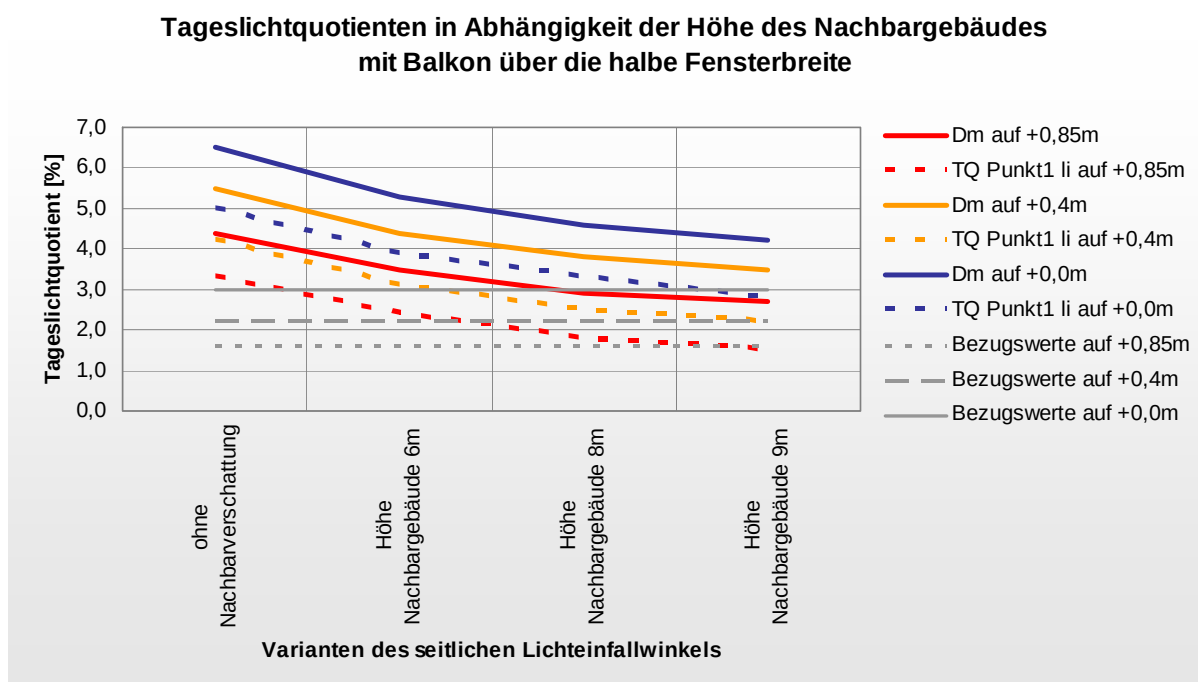


Abb. 136 Maximale Höhe des Nachbargebäudes bei 50%iger Verschattung

Auf der Bewertungsebene +0,85m ergeben sich folgende Ergebnisse:

	ohne Nachbarverschattung	Höhe Nachbargebäude 6m	Höhe Nachbargebäude 8m	Höhe Nachbargebäude 9m
Dm [%]	4,40	3,50	2,90	2,70
TQ Punkt1 li [%]	3,30	2,40	1,80	1,50
TQ Punkt2 re [%]	3,80	2,90	2,40	2,00

5.5.4.3. Bewertung

Bei den verschiedenen Varianten folgendes festgestellt werden. Bewirkt die Veränderung der Geometrie und die damit verbunden Vergrößerung des Fensters im Punkt1 relativ wenig, kann der mittlere Tageslichtquotient durch die geringere Raumtiefe deutlich gesteigert werden. Am meisten Einfluss hat allerdings der Lichteinfallswinkel. Je niedriger die Höhe oder je kürzer die Länge des Nachbargebäudes ist desto besser ist die Belichtungsqualität.

Nachbarverschattungen mit einem Winkel von 45 ° zur Horizontalen sind aus Gründen der Belichtungseinbußen abzulehnen, Verschattungen bis 30° können durch größere Fenster in den unteren Geschossen aufgefangen werden.

6. professionelle Bauwerksbegrünung

Unter dem Begriff Bauwerksbegrünung werden üblicherweise Dachbegrünung, Fassadenbegrünung und Innenraumbegrünung zusammengefasst. Wie den Definitionen und Grundlagen in den folgenden Kapiteln zu entnehmen ist, gibt es Überschneidungen zwischen den einzelnen Begrünungsarten.

Die Planung von Bauwerksbegrünung muss sich an den unterschiedlichen gegebenen ökologischen, ökonomischen und psychosozialen Rahmenbedingungen ebenso orientieren wie an technischen Richtlinien. Individuelle Lösungen für einzelne Objekte oder Objekttypen erfordern wesentlich mehr Fachwissen und Erfahrung als die Anwendung standardisierter Begrünungsweisen, wie sie derzeit bei Dachbegrünungen oder Hydrokulturlösungen für Innenräume ausgeführt werden.

Für diese Studie scheint es wichtig, darauf hinzuweisen, dass z.B. „Balkonbegrünung“ keine eigene Begrünungsform darstellt, sondern im Aufbau einer – meist intensiven - Dachbegrünung entspricht. In der Pflanzenauswahl können Vegetationselemente aller drei Begrünungsformen vorkommen: Neben typischen Dachpflanzen wie Sedum, Kräutern und robusten Gehölzen werden natürlich auch viele Kletterpflanzen zur Begrünung von Geländern und Rankgerüsten eingesetzt.



Abb. 137 Kombination aus intensiver Dachbegrünung mit Rasen, Fassadenbegrünung und Begrünung wohnungseigener Balkone

Ein weiterer Punkt ist, dass viele Balkonpflanzen, die bei uns als Einjährige kultiviert werden, in ihren Heimatländern mehrjährige Gehölze oder Stauden sind. Bei einer Überwinterung in geeigneten Räumen können sie über mehrere Jahre sowohl eine Funktion als Innenraumbefeuchter als auch Balkonbegrüner erfüllen. Typische Beispiele dafür sind Geraniumarten, Rosmarin oder alle Zimmerpflanzen, die den Sommer auf dem Balkon verbringen. Das ist insofern von Bedeutung, da durch eine überlegte Pflanzen- und Substratauswahl Kosten (Pflanzgefäße, Substrat, Transportkosten), Platz und auch Arbeit (Gießen, Umtopfen, Pflanzenschutz) eingespart werden können.

Der Übergang zwischen winterharten und nicht winterharten Pflanzen ist ein fließender. Da in Großstädten mildere Klimaverhältnisse als in der Umgebung vorherrschen, können dort Pflanzen verwendet werden, die in ländlichen Gärten nur mit entsprechendem Winterschutz wachsen. Andererseits sorgen Windexposition auf Dächern und Balkonen sowie schlecht isolierte Pflanzgefäße für frostbedingte Ausfälle bei sonst unproblematischen Gewächsen. Der eigentliche Grund für den Ausfall der Pflanzen liegt oft in der sogenannten Frostrocknis. Dabei verdunsten die Blätter an windigen, warmen Wintertagen Wasser und vertrocknen, da sie aus dem gefrorenen Wurzelbereich keine Feuchtigkeit bekommen können.

Die Unterteilung in die drei Begrünungsarten – Dachbegrünung, Fassadenbegrünung und Begrünung wohnungseigener Freiräume - ist eher als Hilfe für die Gliederung und Einarbeitung vorhandener Unterlagen (Normen, FII-Richtlinien, Fachliteratur) gedacht. In der Praxis sind genau die Übergangsbereiche zwischen Dach- Fassaden- Balkon- und auch Indoorbegrünung die Basis für die besten, das heißt kostengünstigsten und gut funktionierenden Bepflanzungsvorschläge.

Wichtige Forschungsarbeiten werden fast ausschließlich für Dachbegrünungssysteme größerer Anbieter durchgeführt. Dabei nehmen Substrate und Drainschichten einen

wichtigen Stellenwert ein, da sie den größten Wirtschaftsfaktor aus der Sicht der Betriebe darstellen. Je nach Anbieter und Stärken des jeweiligen Produktes dominieren dabei Wasserrückhalt, Verdunstung, Zoologie (optigrün) oder Wärmedämmung und Wirtschaftlichkeit (zinco, Bauda) als Themenschwerpunkt.

Fassadenbegrünungen haben im Vergleich zu Gründächern nur eine geringe wirtschaftliche Bedeutung. Die erforderlichen Produkte und Dienstleistungen sind bei größeren Fassadenbegrünungen auf unterschiedliche Gewerke verteilt. Das bedeutet wesentlich weniger Forschungsmittel für Fassadenbegrünung seitens der Wirtschaft und damit auch weniger aktuelle Daten, die die zweifellos große Bedeutung für die Ökologie dokumentieren könnten.

Dass wirtschaftliche Interessen über intensive Forschung zu besseren Produkten hinsichtlich Ökologie, Ökonomie und Lebensqualität führen kann, zeigen die nachfolgenden Daten zur Dachbegrünung. Wo vorhanden, wurden Daten aus der Pionierzeit der Gebäudebegrünung (1970 – 85) den aktuellen Werten gegenübergestellt.

6.1. Ökologische Aspekte der Bauwerksbegrünung

Die ökologischen Aspekte der Bauwerksbegrünung werden hier als erstes angesprochen, da diese Argumente in der Regel auch als erste angeführt werden, um den Wert von begrünten Bauwerken zu demonstrieren. Fassaden- und Dachbegrünungen sind ein Symbol für den Wunsch nach mehr „Natur“ in bebauten Gebieten. Sie stellen einen Versuch dar, Umweltschäden, die durch Bebauung entstehen, durch weitere Baumaßnahmen und Bepflanzung zu reparieren.

Die Bedeutung von Dach- und Fassadenbegrünungen aus stadtökologischer Sicht wird normalerweise weder von Bauträgern noch von Bewohnern oder Planern in Frage gestellt, da alle beteiligten Parteien von einem positiven Image der grünen Häuser profitieren.

6.1.1. Verbesserung des Mikroklimas durch Verdunstung und Beschattung

Die Sommerliche Überwärmung kann in dicht bebauten Innenstadtbereichen im Vergleich zur Umgebung im Sommer 4-6°C und im Extremfall bis zu 10 °C betragen.

Die ausgleichende Wirkung von begrünten Bereichen beruht auf Abkühlung durch Verdunstung und auf der Beschattung von erwärmbaren Oberflächen. Ein weiteres Kriterium stellt die geringere Wärmespeicherung von bewachsenen Böden und die damit verbundene geringere Wärmeabgabe in der Nacht dar. (Meyer 1977)

Trotz der großen subjektiven Bedeutung der Klimaverbesserung für Stadtbewohner ist es schwierig, diese Effekte in Zahlen zu fassen. Verschiedene Messwerte von unterschiedlichen Autoren helfen, Größenordnungen abzuschätzen und Faustzahlen als Argumentationshilfen zu erhalten:

Meyer gibt als Beispiel für die kühlende Wirkung von Vegetation einen Unterschied in der Oberflächentemperatur einer Asphalt- und Rasenfläche an einem sonnigen Sommertag von bis zu 15°C an.

Kolb und Schwarz zit. in Krupka (1992) haben Temperaturunterschiede zwischen Dachbegrünungen mit Gräser- Kräutermischung und bekiesten Dachflächen von bis zu 25°C gemessen. Die maximale Lufttemperatur über der Dachbegrünung betrug in diesem Fall etwa 25°C.

Aus Messungen an der RWS – Versuchsanlage der Fa. optigrün zum Dämmverhalten unterschiedlicher Systemaufbauten wurden folgende Höchsttemperaturen an den jeweiligen Oberflächen gemessen:

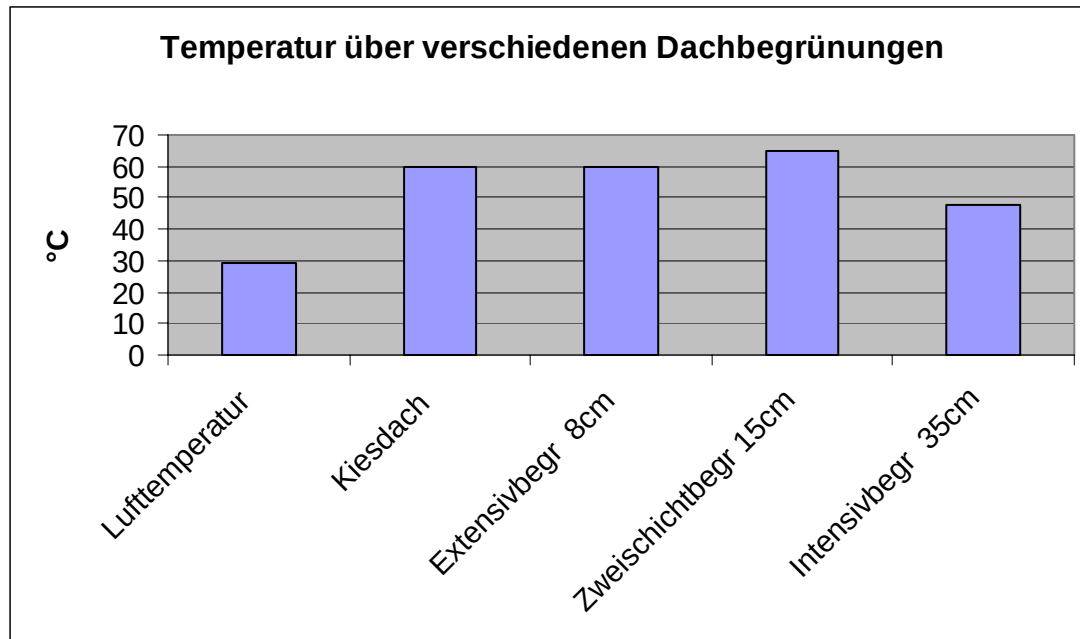


Abb. 138 Temperatur über Dachbegrünungen

Diese Werte könnte man so interpretieren, dass bei extensiven Dachbegrünungen sogar höhere Oberflächentemperaturen entstehen können als bei Kiesdächern. Die Verdunstungsleistung der (trockenheitsangepassten) Vegetation kann anscheinend die höhere Erwärmung des dunklen Substrates in Kombination mit der schlechten Wärmeleitung (Dämmwirkung) nicht wettmachen. Bei intensiven Begrünungsvarianten überwiegt die Kühlwirkung der Vegetation die anderen Faktoren und die Oberflächentemperatur ist deutlich geringer als beim unbegrünten Kiesdach. Für das oben zitierte Beispiel fehlen leider genauere Angaben zur Vegetationsausstattung.

Entscheidend für die Kühlleistung von Dachbegrünungen sind neben der Pflanzenausstattung natürlich auch die Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und die zur Verfügung stehende Wassermenge.

Aktuelle Daten aus Regenwassersimulationsprogrammen bestätigen einen Wasserrückhalt von bis zu 70% der Niederschläge. Dieses Wasser steht den Pflanzen einer Dachbegrünung für Wachstum und Verdunstung zur Verfügung. Vergl. Kapitel Regenwasserrückhalt.

Krupka zitiert als Vergleichswerte für die Transpirationsleistung von Dachbegrünungen Pisek und Cartellier (1941):

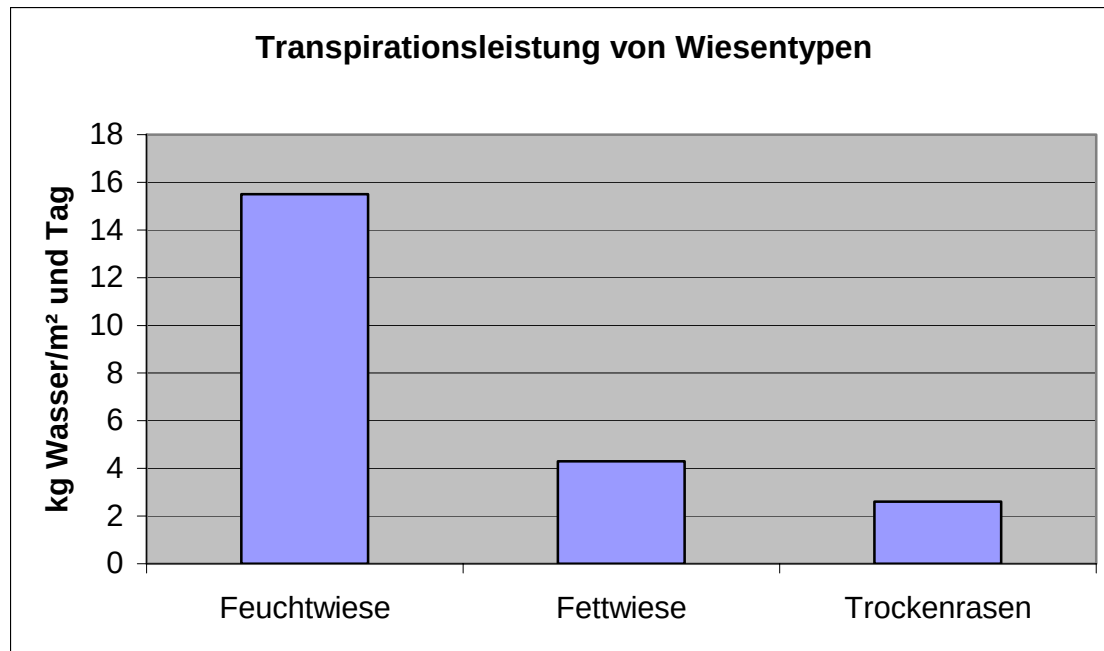


Abb. 139 Transpiration von Wiesentypen

Diese Werte entsprechen in etwa eignen Beobachtungen über den durchschnittlichen Wasserverbrauch beim Bewässern von Dachbegrünungsmodellen und verschiedenen Pflanzcontainern und zeigen recht anschaulich, wie im privaten Bereich bzw. durch Bewässerung die Verdunstungsleistung und damit der Kühleffekt noch gesteigert werden kann.

Pflanzcontainer ohne Überlauf, üppig bepflanzt mit feuchtigkeitsliebenden Pflanzen (Cyperngras, Calla, Oleander, Grönlilie, Tomaten). 10-20 kg Wasser je m² und Tag (bezogen auf eine Substrathöhe von 30 cm).

Modell einer extensiven Dachbegrünung, bepflanzt mit Sedumarten. (Das Modell benötigt eigentlich keine zusätzliche Bewässerung, wird aber gelegentlich mit anderen Pflanzen mitgegossen.) 1-2 kg Wasser pro Tag können vom Substrat und den Sedumpflanzen gut verdunstet werden. (Die Pflanzen bleiben durch die Zusatzbewässerung schön grün, sind aber nicht so widerstandsfähig gegen mechanische Beeinträchtigungen wie nicht gegossene Sedumpflanzen, die Verdunstungsleistung gilt nur für sonnige, trockene Tage.)

Krupka (1992) weist auch darauf hin, dass nach seiner Einschätzung bodengebundene Fassadenbegrünungen einen größeren klimatischen Effekt besitzen als Extensivbegrünungen, da erstere keine trockenheitsbedingte Ruhepause im Hochsommer haben.

Weiters unterstreicht er, dass der Wirkungsgrad hinsichtlich Kühlung von der Biomasse und dem vorhandenen Wasserangebot abhängt. Die meiste lebensaktive Biomasse und damit die beste Wirkung in Bezug auf Klima und auch Staubfilterung haben daher seiner Meinung nach die Ausbildungsformen der intensiven Dachbegrünung.

6.1.2. Aktive Staubbinding durch die Blätter und Reduktion von Schadstoffen

Spätestens seit den Versuchen der NASA 1980 ist nachgewiesen, welche Bedeutung Pflanzen beim Festlegen und Abbauen von Luftschadstoffen zukommt.

In Versuchsreihen wurden verschiedenen Zimmerpflanzen auf ihre Fähigkeit zum Abbau von Formaldehyd, Ammoniak, verschiedenen organischen Verbindungen (verschiedenen Alkohole, Aceton, Ethylacetat) untersucht. In geschlossenen Versuchsräumen konnte eine deutliche Reduktion der unterschiedlichen Schadstoffe gemessen werden.

Der Abbau der Schadstoffe erfolgt dabei überwiegend durch Mikroorganismen im Wurzelbereich. Um dorthin zu gelangen werden die gasförmigen Stoffe durch die Spaltöffnungen absorbiert und im Saftstrom transportiert oder durch Konvektionsströme, die durch die Transpiration der Blätter ausgelöst werden, in den Wurzelraum gesaugt.

Daraus lässt sich folgern, dass die Blattmasse einer Bauwerksbegrünung nur indirekt für den Abbau von gasförmigen Schadstoffen relevant ist. Wichtig ist die Größe, Struktur und biologische Aktivität des Wurzelraumes der Pflanzen. Es kann angenommen werden, dass feuchte, gut durchlüftete und intensiv durchwurzelte Dachsubstrate hier wertvolle Dienste leisten. Für die Wirkung von erdgebundenen Fassadenbegrünungen kann hier auch nur vermutet werden, dass die Abbauleistung in großzügig bemessenen, und entsprechend verbesserten Bodenbereichen größer ist.

(Vergleiche mit Wurzelraumkläranlagen bieten sich an, deren Wirkung durch die Ausbildung engmaschiger Verflechtungen von aeroben und anaeroben Bereichen gesteigert wird).

Anders verhält es sich bei der aktiven Staubbindung durch Blätter. Manfred Thönnessen vom Geografischen Institut der Uni Köln entwickelte ein neues Verfahren, um abgelagerte Staubpartikel aus der Kutikula von Blättern des wilden Weins (*Parthenocissus tricuspidata*) abzulösen. Bei dieser „Stripping-Technik“ wird eine Schicht Polyvinylbutyral-Lack aufgetragen und später mit Hilfe eines Klebefilms wieder abgezogen. Thönnessen konnte damit die überwiegend aus dem Straßenverkehr stammenden Schadstoffe Blei, Cadmium, Zink, Kobalt, Aluminium, Eisen, Platin und Antimon zu sehr hohen Anteilen von den Blättern lösen. Mit diesen Untersuchungen konnte dokumentiert werden, wie sich im Laufe der Vegetationsperiode Schadstoffpartikel auf den Blättern anreichern. Kurz vor dem herbstlichen Laubfall ist der Belag so dicht, dass die Blattoberfläche unter dem Mikroskop nicht mehr zu erkennen ist.

Interessant scheint in diesem Zusammenhang der Hinweis von Meyer, dass verstaubte Blätter an Straßenbäumen sich stärker erwärmen und durch gesteigerte Transpiration diese Wärme abzuführen versuchen.

Für die Elimination von staubförmigen Luftschadstoffen ist also die Blattmasse genauer gesagt die Blattoberfläche ein wesentliches Kriterium. Die Wirkung unterschiedlicher Ausbildungen der Kutikula (Haare, verschiedene Dicke, Lufteinlagerungen usw.) kann nur vermutet werden.

6.1.3. Bauwerksbegrünung als Lebensraum für verschiedenste Tiere

Die Anzahl verschiedener Arten von Lebewesen wird in Untersuchungen häufig als grobes Maß für den ökologischen „Wert“ einzelner Biotope herangezogen. Kleine, isolierte Biotope weisen im Allgemeinen geringe Artenzahlen mit einem hohen Anteil häufiger Arten auf. Andererseits können sehr kleine Inselbiotope bei ausreichenden Mikrohabitaten und Ressourcen eine relativ hohe Anzahl an Tierarten aufweisen. Die Zoozönose setzt sich dann aus standorttreuen Arten, Pionierarten und temporären Zuwanderern zusammen. Der Biotop Gründach ist im Vergleich zu ebenerdigen Standorten hinsichtlich seines Ressourcenangebots instabiler, stör anfälliger und Umweltfluktuationen stärker ausgesetzt (Mader, Klausnitzer 1993, zit. in Mann 1997).

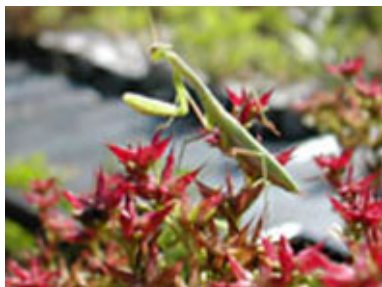


Abb. 140 Tagpfauenauge und Gottesanbeterin auf Gründächern

Flachgründige Extensivbegrünungen beherbergen fast ausschließlich flugfähige Blütenbesucher und nur vereinzelt Tiere der oberen Bodenschichten wie Käfer, Ameisen, Wanzen, Zikaden sowie Larven von Dipteren und Marienkäfern. Die Artenzahlen sind geringer als in höherschichtigen Dachbegrünungen. Vielen Bodenlebewesen wird durch sommerliche Austrocknung und winterliches Durchfrieren eine dauerhafte Besiedelung unmöglich gemacht. Andererseits ist durch eine dünne Substratschichte auch die Pflanzenauswahl und damit das Nahrungsangebot eingeschränkt (durch geschickte Artenauswahl lässt sich das Blütenangebot über einen längeren Zeitraum streuen).



Abb. 141 Einfache Intensivbegrünung mit Steinen als Lebensraum für viele Kleinlebewesen.

Günstiger schneiden Kombinationen aus intensiven und extensiv begrünten Dachflächen ab. Substratschichten zwischen 10 und 40 cm ermöglichen eine breit gestreute Vegetation und frostfreie sowie hitzegeschützte Bodenbereiche. Eine große Vielfalt an Pflanzenarten und Strukturen zieht eine größere Artenvielfalt der Fauna nach sich. Unter anderem können sich auch Bodenbildner wie Asseln, Schnecken, Regenwürmer, Hundert- und Tausendfüßler ansiedeln, die eine Voraussetzung für die Stoffumsetzung des Fallaubs und dauerhafte Remineralisierung von Pflanzennährstoffen sind. Eine Dauerbesiedelung solcher Standorte ist möglich.

Festzuhalten ist, dass reine Intensivbegrünungen im Stil der 80er Jahre mit einem hohen Anteil an Monokulturen von Bodendeckern nur einen relativ geringen ökologischen Wert besitzen.

Auf flachgründigen, nicht strukturierten Extensivbegrünungen (Sedum-Vegetation) dominieren Fluginsekten und Spinnen.

Extensiv – Intensiv-Begrünungen (Sedum/Gras/Kräuter – Gebüschvegetation) beherbergen als dominante Gruppe Schnecken. Auch Bodenbildner (s.o.) sind vorhanden. Unterschiedliche Vegetationshöhen werden auch von verschiedenen Tiergruppen besiedelt.

Intensivbegrünungen (Sträucher/Kräuter – Vegetation) sind am stärksten von Ameisen und Asseln bewohnt (Mann, 1997).

Aus der Sicht von menschlichen Stadtbewohnern betrachtet stellt die Förderung dieser Tiergruppen nicht unbedingt eine Motivation für die Begrünung von Dächern dar. Anders denken hier vermutlich Vögel, die sich von diesen Kleinlebewesen ernähren können. Sie stellen zusammen mit Kleinsäugetieren die dominanten Tiergruppen in Fassadenbegrünungen dar. Geschützte Schlaf- und Nistplätze in schwer erreichbaren Kletterpflanzen sind für sie ein interessantes Angebot.

Mann weist in seiner Arbeit auch noch auf die Bedeutung von Strukturelementen auf Dachbegrünungen und deren Vernetzung mit Fassadenbegrünungen und anderen städtischen Biotopen hin.

Bereits durch einfache Maßnahmen wie kleine Anhögelungen, Tothölzer, Feucht- und Trockenbereiche, Nistkästen für Vögel und Hautflügler (z.B. Hummeln) lässt sich die ökologische Bedeutung von üblichen extensiven Dachbegrünungen entscheidend verbessern.

6.1.4. Zusätzliche Wärmedämmung des Gebäudes durch Substratschichten und Biomasse

6.1.4.1. U- Werte

Die Wärmedurchlasswiderstände der meisten Substratbestandteile und Schüttstoffe sind relativ gering oder schwanken wie die von Oberboden ($0,1 - 2,0 \text{ m}^2\text{K/W}$ bei einer 20 cm dicken Schicht) in Abhängigkeit von ihrer Durchfeuchtung. Deshalb schien es lange Zeit gerechtfertigt, die Dämmwirkung von Dachsubstraten zu vernachlässigen. Eggenberger wies 1981 eine Verbesserung des U-Wertes von ursprünglich $0,62$ auf $0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ für einen Optima-System-Aufbau von 30 cm Schichthöhe nach. Die Wirkung der Vegetation blieb dabei unberücksichtigt.

Durch gezielte Forschung und Verbesserung der verwendeten Substratbestandteile konnten seither wesentlich höhere Dämmwerte erreicht werden.

Kolb und Klein (1995) untersuchten die Dämmwirkung unterschiedlicher Pflanzenbestände. Durch den Vergleich von Temperaturganglinien an verschiedenen Stellen des Schichtaufbaus von Dächern mit Grasvegetation, Gras/Krautvegetation und unbegrüntem Dächern konnten U-Werte für diese Vegetationsformen ermittelt werden. Die Werte für die Substratschichte wurden dazu mit einer mittleren Durchfeuchtung angenommen.

Bei einer Gras/Kräuter Vegetation ergab sich ein U-Wert von $0,318 \text{ W/m}^2\text{K}$ im Winter (Verbesserung des thermischen Widerstandes um ca. 10%) und $0,097 \text{ W/m}^2\text{K}$ im Sommer (Verringerung der Kühllast um 72%). Den wesentlich besseren Wert im Sommer führen Kolb und Klein auf die Rückbildung der Kräuter und den dadurch kleineren Luftpolster in der Vegetationsschicht im Winter zurück.

Besser schnitten bei der Untersuchung reine Gräsermischungen mit einem U-Wert von $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Verbesserung um 30%) ab. Im Sommer wurde bei dieser Variante eine Verbesserung des k-Wertes um 58% erzielt.

Gute Werte erreichten auch flächige Begrünungen mit *Vinca minor* (Immergrün). Bei einer Bestandshöhe von 6cm ergab sich eine Verbesserung des U-Wertes um ca. 24% im Winter und bei einer Bestandshöhe von 19 cm eine Verbesserung von 52% im Sommer.

Bei einem Bestand von *Hypericum calycinum* hingegen waren die beobachteten Amplitudendämpfungen so gering, dass keine Änderung des U-Wertes daraus abgeleitet werden konnte. Die Ursache dafür lag vermutlich in einer geringen Bestandsdichte (und dem mangelnden Luftpolster).

Aus den Messungen zogen Kolb und Klein den Schluss, dass durch die Begrünung in Abhängigkeit von der Stabilität des von den Pflanzen eingeschlossenen Luftpolsters auf einen Teil der Wärmedämmkonstruktion verzichtet werden könne.

Besonders in Gebäuden, die im Sommer gekühlt werden müssen, bietet sich ein Gründach an, da die Vegetation die Kühllast verringern kann.

Zum Vergleich werden in dieser Untersuchung auch Angaben zum Wärmedurchlaßwiderstand von anderen Untersuchungen zitiert, die hier auch erwähnt werden sollen:

Tebart (1983) gibt für einen 20-40 cm hohen Gräserbestand den Wärmedurchlaßwiderstand mit $1,5-3 \text{ m}^2\text{K/W}$ an. Das ist etwa vergleichbar mit einer ca. 8 cm dicken Wärmedämmplatte 035.

Minke (1984) berücksichtigt bei den Berechnungen für sein System einen Durchlaßwiderstand von $1,0 \text{ m}^2\text{K/W}$. Angenommen wird eine 10 cm dicke Grasschicht im Winter.

Baumann (1983) ermittelte bei einem 35 cm dicken Efeupolster einen Wärmedurchlaßwiderstand von $0,11 - 0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$, mit dessen Hilfe er für verschiedene Baukonstruktionen eine Verbesserung des U-Wertes von 3-18% nachweisen konnte.

6.1.4.2. Dämpfung von Temperaturextremen

Ebenso wichtig wie die zusätzliche Wärmedämmung durch Gründachaufbauten ist die Dämpfung von Temperaturextremen und Schwankungen durch das Dachsubstrat. Zusammen mit mechanischen Schutz und Abschirmung von UV-Licht trägt diese wesentlich zur Verlängerung der Lebensdauer der Dachabdichtung bei.

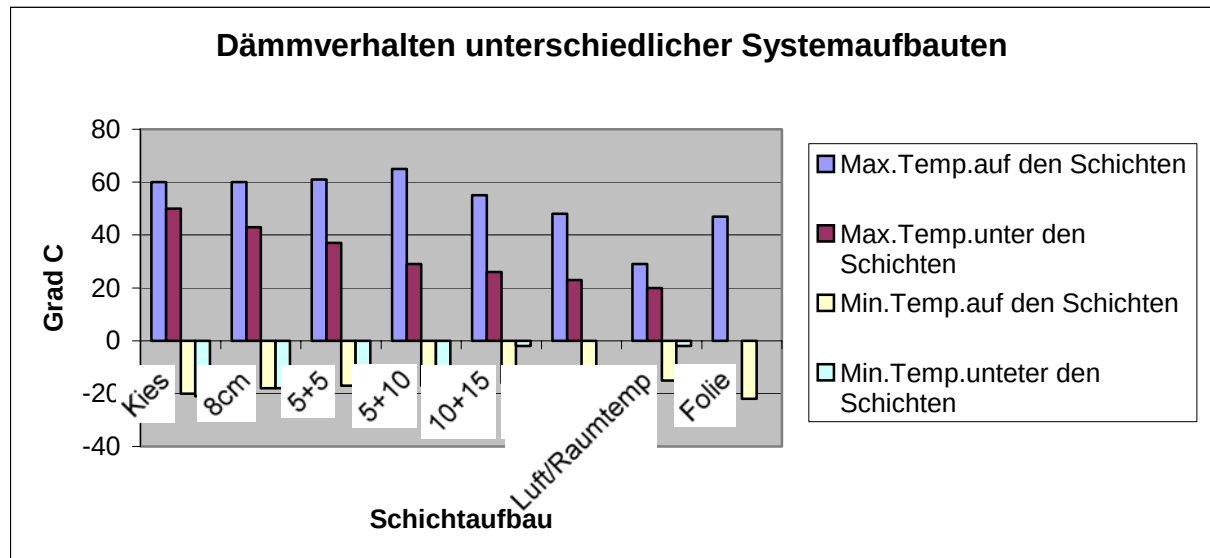


Abb. 142 Dämmverhalten unterschiedlicher Systemaufbauten

6.1.5. Wasserrückhaltung von Bauwerksbegrünungen

Bereits dünnsschichtige Dachbegrünungen halten im Jahresmittel zwischen 40-70% des anfallenden Niederschlagswassers zurück. Die Restmengen werden mit Verzögerung abgeführt und Niederschlagsspitzen dadurch um etwa 50% reduziert. Die Retentionswirkung begrünter Dächer entlastet das Kanalsystem, Kläranlagen und Vorfluter. In Erinnerung an die Hochwässer der letzten Jahre kann die Bedeutung der Wasserretention in dicht verbauten Gebieten nicht genügend betont werden.

Die Verringerung der Abflussspitzen hat auch dort besondere Bedeutung, wo Versickerungsanlagen in wenig drainagierendem Gelände gebaut werden müssen, da Einsparungen in der Dimensionierung der Sickerflächen möglich sind.

Aus der seit 1995 von der Fa. Harzmann GmbH (optima – Zentrale Süd in Göggingen) betriebenen Versuchsanlage konnten über drei Jahre exakte Daten zu Abflussbeiwerten und Spitzenabflüssen unterschiedlicher Begrünungsvarianten und Dachneigungen ermittelt werden. Auf diesen Daten basiert das RWS – Simulationsprogramm mit dem sich für geplante Projekte auf der Basis lokaler Wetterdaten die zu erwartenden Abflussspitzen, Abflussmengen und die sich in einigen deutschen Städten ergebenden Einsparungen für die Kanalgebühr errechnen lassen. Die Daten dienen auch als Berechnungsbasis für die Dimensionierung und Planung von Abflussrohren, Kanalisation, Versickerungsanlagen oder Zisternen.

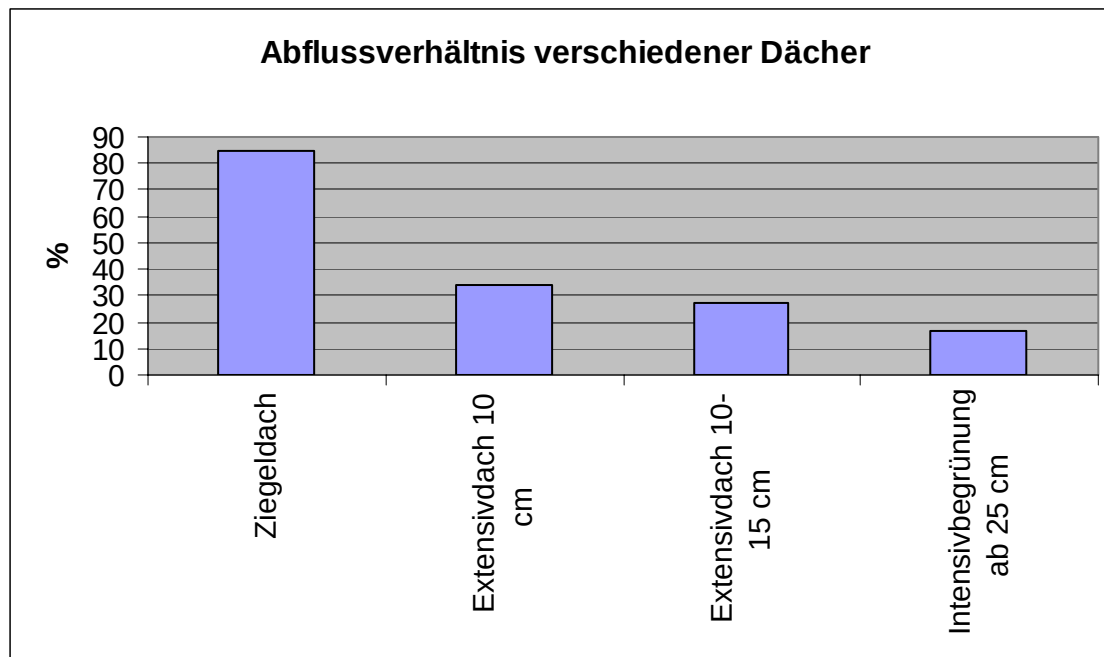


Abb. 143 Abflussverhalten aus Vortrag Regenwassersimulationsanlage Fa. Optigrün

Die Versuche zeigten, dass offensichtlich die Aufbaustärke und Speicherkapazität des Substrates und nicht unbedingt der Schichtaufbau oder die Dachneigung entscheidend sind. Es wurde sogar beobachtet, dass bei gleicher Schichthöhe der Abflussbeiwert bei der Schrägdachvariante (15°) günstiger war als beim Flachdach (1,14°)!

6.2. Ökonomische Aspekte der Bauwerksbegrünung

Bauwerksbegrünungen haben eine Reihe von positiven Auswirkungen auf Ökologie und Lebensqualität. Die Entscheidung eines Bauträgers, eine Bauwerksbegrünung durchzuführen hängt in vielen Fällen aber davon ab, ob sich diese Maßnahmen auch rechnen.

6.2.1. Wirtschaftlichkeit von begrünten Dächern

Ein zentrales Thema von Publikationen über Dachbegrünungen war daher in den letzten 5 Jahren die Wirtschaftlichkeit von Gründächern.

Hämmerle (1999) setzt Kosten und Nutzen für eine 1000m² große und 11 cm dicke Extensivbegrünung so an:

Kosten des Begrünungsaufbaus bis zum	
abnahmefähigen Zustand	33,00 DM/m ²
Aufwendungen für die Pflege und Wartung (40 Jahre)	33,00 DM/m ²
Zusätzlicher Aufwand für die Statik	20,00 DM/m ²
Gesamtkosten:	86,00 DM/m ²

Dämmwirkung bei Gleichsetzen der Dachbegrünung	
mit 2,5 cm Dämmstoff	6,00 DM/m ²
Verringerung der Reparaturkosten (angenommener Wert)	8,00 DM/m ²
Einsparungen durch verlängerte Lebensdauer von Abdichtung,	
Dämmung und anderen bet. Gewerken (Hämmerle setzt dafür 60%)	

der Gesamtkosten für alle anfallenden Sanierungskosten an, die sich bei dem	
Beispiel auf 110 DM/m ² belaufen)	66,00 DM/m ²
Summe der möglichen Einsparungen:	80,00 DM/m ²

Interessant an diesem Rechenansatz ist, dass sich das konkrete Beispiel sogar ohne Förderung und reduzierte Abwasserkosten rechnet.

Einige deutsche Städte fördern über eine Reduktion der Kanalgebühr begrünte Dächer. Die erforderlichen Nachweise für die Regenwasserretention eines Projekts können über die Berechnung mittels RWS – Simulationsprogramm erbracht werden.

Darüber hinaus lassen sich auch andere mögliche Einsparungen damit berechnen.

Gunter Mann stellt in der DDH Edition Gründach einen Vergleich der Ergebnisse der Kosten-Nutzen-Analysen verschiedener Autoren an. Vor allem die längere Haltbarkeit der Dachabdichtung schlägt dabei positiv zu Buche. (Im Vergleich wird eine Betrachtungsdauer von 30-40 Jahren (Extremfall 75 Jahre) gewählt, die der Haltbarkeitsdauer der Gründachabdichtung entspricht).

In der Gegenüberstellung wird auch recht deutlich, welche zentrale Bedeutung der Umweltpolitik unterschiedlicher Gemeinden und Länder zukommt. Die Berücksichtigung von volkswirtschaftlichen Vorteilen der Gründächer in Form von Direktförderungen oder reduzierten Abwassersätzen stellt einen wichtigen Punkt für deren Wirtschaftlichkeit aus Sicht der Bauherren dar.

Für die Fassadenbegrünung liegen keine Untersuchungen in vergleichbarer Form vor. Das liegt zum Teil daran, dass positive Effekte auf Umwelt und Gesundheit schwer in Geld zu bewerten sind, während alle Kosten (Herstellung, Pflege, eventuelle Fassadebeschäden) recht genau berechenbar sind.

Aus wirtschaftlicher Sicht interessant sind allerdings folgende Überlegungen:

Bei rechtzeitiger Planung und Berücksichtigung der Begrünung im Bauablauf lassen sich Fassadenbegrünungen recht kostengünstig herstellen und pflegen. Viele Pflegemaßnahmen und Bauschäden lassen sich vermeiden, wenn Fassade, Wurzelraum, Klettergerüst und Pflanzen aufeinander abgestimmt werden.

Die Tatsache, dass Fassadenbegrünungen aus Sicht der Ausführungsfirmen nur mäßig interessant sind (da auf mehrere Gewerke aufgeteilt) bedeutet andererseits, dass durch kleine Zusatzpositionen bei Handwerkern, die ohnehin auf der Baustelle sind, ein großer positiver Effekt erzielt werden kann.

6.2.2. Werbeeffekt von Bauwerksbegrünungen

Dach- und Fassadenbegrünung ist verhältnismäßig kostengünstiges Grünvolumen mit einem beträchtlichen Werbeeffekt. Kletterpflanzen an Straßenfronten sind gut sichtbar und damit eine deutliche Aussage in Richtung Wohnqualität und Umweltschutz.



Abb. 144 Durch Pflanzenwachstum und Jahreszeiten entstehen laufend neue (selbstreinigende!) Bilder, die sich positiv vom verstaubten Grau anderer Gebäude abheben.

Viele Menschen verbinden mit Begrünung ein entspannteres und besseres Wohnklima. Das gilt nicht nur für Umwelt- und Gesundheitsaspekte sondern auch für zwischenmenschliche Belange. Eine Hausgemeinschaft und eine Hausverwaltung, die Pflanzen mitsamt den anfallenden Blättern toleriert oder sogar neu anschafft, gibt sich ein menschen- und umweltfreundliches Image. Andererseits lässt sich vermuten, dass Menschen, die sich um ihre Pflanzen kümmern auch eine gewisse Sensibilität im Umgang mit Nachbarn und Bausubstanz besitzen und damit angenehme Mitbewohner sind.

6.3. Psychologische und therapeutische Aspekte

6.3.1. Schallreduktion durch Bauwerksbegrünungen

Ein gern verwendetes Argument für die Begrünung von Flachdächern ist die Dämpfung von Regen- und Hagelgeräuschen im Vergleich zu Blech- und Glasdächern. Für diesen Effekt liegen keine Messwerte vor, wohl aber für die Verbesserung hinsichtlich Fluglärms.

In Abhängigkeit von der Schichthöhe kann durch eine Dachbegrünung eine Luftschalldämmung von 5-46dB erreicht werden. Die Schallreflexion wird durch die Pflanzendecke um etwa 2-3 dB vermindert (Mann 2000).

Wie bei Hecken entlang von starkbefahrenen Straßen sollte der psychologische Effekt bei der Lärmreduktion durch Pflanzen nicht unterschätzt werden. Allein die weitverbreitete Meinung, dass Grünpflanzen Lärm reduzieren, kann entspannend wirken. Positive Wirkungen lassen sich auch durch die Vermischung von Windgeräuschen in der Vegetation mit gedämpftem Verkehrslärm beobachten, da sich der Geräuschpegel nicht mehr eindeutig den (störenden) Autos zuordnen lässt.

Der Lärm einer entfernten Autobahn ist erträglicher, wenn dazu Blätter rascheln, Zweige wackeln und Vögel zwitschern.

6.3.2. Dachbegrünung und hochfrequente Strahlung

Eine Untersuchung des Forschungslabors für Experimentelles Bauen an der Gesamthochschule Kassel und des Instituts für Hochfrequenz – und Radartechnik der Bundeswehruniversität München erwiesen eine Dämpfung von hochfrequenter Strahlung durch Dachbegrünung. Gründächer mit 15 cm Leichtsubstrat ergaben für die Frequenzbereiche von 1,8 bis 1,9 GHz des Mobilfunk-E- Netzes und der schnurlosen DEOT-Telefone eine Strahlungsdämpfung von etwa 22 dB = 99,4%.

Übertroffen werden diese Werte laut Bericht lediglich von einer Kombination aus Lehmgewölbe und Grasdach. Ein normales Ziegeldach kommt demgegenüber nur auf eine 50%ige Abschirmung.

(CMA, Gartenpraxis Nr2/2003)

6.3.3. Balkonbegrünung und Dachterrassen als Anreiz zu Bewegung an der frischen Luft

„Nie ist Bewegung wichtiger, als in den ersten und letzten 10 Jahren des Lebens“ (Man weiß nie, wann die letzten 10 Jahre beginnen). Mit diesem Zitat wurde das Spielplatzsymposium 2004 in Wien zur Bedeutung von Bewegung für die geistige Entwicklung von Kindern eingeleitet.

Nun wäre es übertrieben, von einem 6m² Balkon zu verlangen, dem Bewegungsbedürfnis eines Volksschulkindes ausreichend Platz zu bieten. Während eine großzügige Dachterrasse vielleicht noch Platz für einen Basketballkorb oder eine Schaukel bietet, übt sich Radfahren und Skaten besser im Hof oder im Park.



Abb. 145 Eine Sandkiste oder ein Planschi lassen sich auch auf kleinen Balkonen aufstellen

Interessant ist ein Balkon sicherlich für ganz kleine Kinder. Sich am Geländer hochziehen, um einen besseren Blick in die Umgebung zu haben oder Wasserspiele im aufblasbaren Planschi gehören mit zu den wichtigen Erlebnissen in diesem Alter.

Der Vorteil von Balkon oder Terrasse liegt auch darin, dass die Kinder bei entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen, diese Umgebung selbständig erkunden können.

In einer Studie zur Bewirtschaftung und Nutzung NÖ Gärten (Bauer, Rottenbacher, 1988) wurden auch die Arbeitszeiten und Aufenthaltsdauer der Befragten in ihren Gärten erhoben:

So verbringen jeweils ca. 1/3 der Frauen weniger als 1 Std., ca. 1 Std. oder mehr als eine Std. Arbeitszeit im Garten.

Bei den gartenarbeitenden Männern ist der Anteil mit unter einer Stunde und rund 20% kleiner. Wenn Männer im Garten arbeiten, dann gleich länger.

Die Studie untersuchte allerdings auch, wer für Gartenpflege zuständig ist:

Bei der grundsätzlichen Frage wer für die Gartenpflege zuständig ist, wurde angekreuzt, dass 87 Frauen und 20 Männer den Garten betreuen.

(Von den 75 befragten Frauen wurden 68 Frauen und 7 Männer für Zuständig erklärt, von den befragten Männern erklärten 19 Frauen und 13 Männer für zuständig. Die Selbsteinschätzung der Betreffenden kann auch mit der Arbeitszeit im Garten korrigiert werden.)



Abb. 146 Die Pflege von Zierpflanzen ist auch auf Balkon und Terrasse möglich

Betrachtet man nun auch die Zeitaufwendung für einzelne Bereiche liegt Pflege des Ziergartens an erster Stelle vor Rasenmähen, Gießen und Gemüse jäten.

Diese Umfrageergebnisse lassen sich natürlich nicht einfach auf Bauwerksbegrünungen und die dafür nötigen Pflegearbeiten umlegen. Detailliert betrachtet können aber doch Schlüsse gezogen werden:

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass Rasenmähen überwiegend Männersache ist (oben genannte Studie), verbleiben überwiegend Arbeiten, die bevorzugt von Frauen und durchaus auch in kleinen Zeiteinheiten durchgeführt werden. Die oben genannten Arbeiten wie Pflegen, Gießen und Jäten von Gemüse (Kräuter) können in bescheidenem Umfang durchaus auf einem Balkon, begrünten Dach, einer Terrasse oder in einem begrünten Innenhof durchgeführt werden.

Wichtig ist auch die Überlegung, dass diese Arbeiten nebenbei erledigt werden können und zwar in kleinen Zeiteinheiten, neben lernenden oder zu beaufsichtigenden Kindern, neben pflegebedürftigen Familienmitgliedern und auch als Ausgleich zu sitzender Tätigkeit (Computer, Fernsehen).

Die Erkenntnis, dass von den gartenpflegenden Personen in der angeführten Studie ein etwa gleich großer Teil berufstätig wie pensioniert war (Hausfrauen, Arbeitslose sind aufgrund der Auswahl der Haushalte wenig berücksichtigt) zeigt, dass Leute, die gerne Pflanzen pflegen, das lebenslang tun und sich dafür Zeit nehmen oder auch körperliche Anstrengungen in Kauf nehmen.



Abb. 147 Kinder lieben die Arbeit mit Pflanzen

6.3.4. Bauwerksbegrünung und Gartentherapie

In der Gartentherapie wird die Freude am Gärtnern gezielt eingesetzt, um Beweglichkeit im Alter oder nach Unfällen und Krankheiten zu verbessern und zu erhalten. Das Spektrum reicht dabei von Gehschulen mit verschiedenen Bodenbelägen, Stufen und Geländern zum Anhalten (Balkon!) bis zu speziellen Arbeitstischen mit Angeboten zum Umtopfen, gießen und Ernten von Kräutern, Blumen usw.. Neben dem Training der Feinmotorik durch Pflücken, schneiden, umtopfen und Samen aussäen ist für alte oder kranke Personen vor allem die Motivation zu irgendeiner Form von Bewegung ein entscheidender Punkt.



Abb. 148 Arbeitstisch und Gehschule im Geriatriezentrum Lainz

In Anbetracht der demografischen Entwicklung in Österreich sind die Erfahrungen von Altenheimen, Rehabilitationseinrichtungen und gartentherapeutischen Sozialprojekten eine wichtige Informationsquelle für benutzerorientierte Wohnformen.

Besonders die Gestaltung von Balkonen, Dachterrassen oder Innenhöfen kann entscheidend zur Wohnqualität von älteren Personen und deren Angehörigen beitragen.

Laut Aussage von Heimleiterin und Gärtner eines großen Wiener Altenheimes (Am Rosenhügel) schätzen diese den Anteil ihrer Schützlinge, die den parkähnlichen Garten besuchen auf ca. 5%! Das ist recht wenig angesichts der vielen geöffneten Fenster und der Leute, die aus ihren Zimmern in den Park schauen, vom Fenster aus die Vögel (und Ratten) füttern oder einander zurufen. Mit zunehmendem Alter wird der Gang in einen über Treppen und Lift erreichbaren Garten sehr anstrengend und angsteinflößend, auch wenn genügend Betreuer als Begleitung vorhanden sind. Ein eigener Balkon oder eine Terrasse mit Blumenkistchen und Vogelfutterhäuschen kann hier eine enorme Steigerung der Lebensqualität bedeuten, da dieser Außenraum vertraut ist und auch selbständig besucht werden kann.

Andere Altenheime versuchen, garteninteressierte Personen in eigenen Trakten zusammenzulegen und dort gezielt Gartentherapie anzubieten (Lainz, Pavillon 6 und 7). Neben verschiedenen Einrichtungen im Garten spielt auch hier der Balkon eine große Rolle. Dort befinden sich neben diversen Sitzmöglichkeiten auch Blumenkästen in verschiedenen Höhen, Futterkästen usw.. Ein wichtiger Aspekt ist in diesem Fall auch Beschäftigungstherapie in Form von Bastelarbeiten mit selbst geernteten Naturmaterialien.

Ein weiteres Beispiel für Gebäudebegrünung als Therapieeinrichtung befindet sich in der Alzheimerstation des Caritas – Pflegeheimes in der Pramergasse im 9. Wiener Gemeindebezirk. Die Abteilung muss geschlossen geführt werden, da sich die Pfleglinge im Haus und auf der Straße nicht zurechtfinden können. Um dem großen Bewegungsbedürfnis einiger Patienten entgegen zu kommen, wurde eine Dachterrasse mit Schlängelwegen angelegt, die die Leute wieder zurück zum Eingang führt. Die Bepflanzung mit duftenden Pflanzen kann bei Bedarf auch Bastelmaterial liefern. Der Pflegeaufwand der Dachbegrünung ist dank der exakt auf diesen Standort abgestimmten Bepflanzung wesentlich geringer als in einem vergleichbaren Garten.

6.3.5. Optische Wirkungen von Gebäudebegrünung auf Gesundheit und Wohlbefinden.

Der entscheidende Unterschied zwischen dem Anblick eines Gebäudes mit und ohne Begrünung ist sicher die Veränderung der Vegetation im Jahresablauf. Fassaden ohne Begrünung weisen im Optimalfall eine optisch gelungene Gestaltung auf, die sich unter verschiedenen Lichtverhältnissen auch unterschiedlich präsentiert. Die Realität in dicht verbauten Wohngebieten beinhaltet allerdings auch Ausblicke auf Feuermauern, eintönige Fassaden und große, monotone Dachflächen. Dass solche Flächen durch Begrünung optisch aufgewertet werden können braucht nicht mehr betont werden. Es geht hier natürlich eher darum, diejenigen Argumente aufzuzeigen, die Entscheidungsträger während der Planungs- und Bauphase dazu veranlassen, die nötigen Budgetmittel für diese Maßnahmen bereitzustellen.



Abb. 149 Der Blick auf begrünte Dachflächen entspannt

Aus volkswirtschaftlicher Sicht summieren sich die positiven Effekte vom Grünblick vor allem in geringeren Kosten für die Behandlung von Depressionen, raschere Genesungszeiten nach Krankheiten, gesundheitliche Effekte in der Vorbeugung von Herz- Kreislauferkrankungen (vor allem auch die benutzbaren Varianten von Begrünung, siehe Kapitel Bewegungsanreiz). Dazu gibt es eine Reihe von Untersuchungen in Krankenhäusern, die zeigen, dass Patienten in Zimmern mit Blick auf einen Park mit Bäumen, Vögeln und Eichkätzchen wesentlich schneller genesen und nach Operationen weniger Komplikationen auftreten

In Schweden gibt es Untersuchungen, welche Art von Ausblick die Genesung von Krankenhauspatienten positiv beeinflusst. Dabei wurden verschiedene Bilder vor den Betten der Kranken befestigt. Während abstrakte Bilder in Rottönen (mit spitzen, eckigen Formen) rasch wieder entfernt werden mussten, weil die Patienten negativ darauf reagierten, zeigten Poster mit einer Seenlandschaft, Bäumen und fröhlichen Menschen die besten Ergebnisse. Reine Waldlandschaften oder Nadelbäume hatten recht unterschiedliche Wirkungen, je nach persönlichen Präferenzen der Personen.

Umgelegt auf die Gestaltung und Begrünung von Gebäuden könnte das so aussehen, das eine Fassade mit Balkonen eine strukturierte Begrünung aus unterschiedlichen Pflanzen erhält, die je nach Jahreszeiten verschiedene Blütenaspekte, Herbstfärbung, unterschiedlichen Blattfarben und Formen zeigt. Optimiert wird das Bild aus Sicht der Betrachter durch Leute, die die Balkone benutzen und Tiere, die in der Fassade leben.

Aus Sicht der Balkonbenutzer müsste es allerdings noch eine Sichtschutzbepflanzung geben um eine gewisse Privatsphäre zu bewahren.

(Für viele Menschen gibt es einen gewaltigen Unterschied zwischen einer Bauwerksbegrünung am Nachbarhaus, die sie betrachten können und der Begrünung am eigenen Wohnhaus, die man nur kurz beim Nachhausekommen sieht, deren Pflegekosten sich in den Betriebskosten aber unter Umständen niederschlagen. Wesentlich anders liegt der Fall bei begehbaren Dächern, begrünten Innenhöfen oder eigenen Balkonen.)

Begrünte Dächer sind aus Sicht der Beobachter prinzipiell positiv, solange die Pflanzen vital wirken und das Dach einsehbar ist. Ähnlich wie bei den oben erwähnten Bildern im Krankenhaus lassen sich bei der Gestaltung von Gründächern große Unterschiede in den persönlichen Vorlieben von unterschiedlichen Menschen feststellen.



Abb. 150 Dachbegrünungen in zwei Extremausbildungen

Die mögliche Palette reicht von extensiven Sedumdächern auf rötlich gefärbtem Dachsubstrat bis zu saftiggrünen Rasenflächen mit üppigen Stauden- und Gehölzpflanzungen.

Dazwischen befinden sich extensive Grasdächer, deren Farbe von Grün im Frühling über Goldgelb im Sommer zu Strohgelb im Herbst und Graubeigeschwarz im Winter wechselt. Was einige Betrachter als naturnah, ökologisch, bunt, abwechslungsreich, strukturiert und ansprechend gestaltet bezeichnen ist für andere schlicht ungepflegt.



Abb. 151 Kräftige Farben und kontrastierende Blattstrukturen sind besonders beliebt

Ähnlich wie bei den Bildern im Krankenhaus lassen sich aber auch hier Faktoren finden, die auf besonders breite Akzeptanz und positive Gefühle bei unterschiedlichen Betrachtern stoßen. Dazu zählen Blütenaspekte in kräftigen Farben (Rot, Orange, Gelb, Blau, Violett), Blattkontraste, die auch für „Pflanzenmuffel“ erkennbar sind (Efeu – Bambus, Immergrün – Farne), die Verwendung von vertrauten Pflanzen (Flieder, Rosen, Schwertlilie, Lavendel), tierfreundliche Bepflanzung wie Schmetterlingsflieder, essbare Pflanzen wie Kräuter und Pflanzen deren Überlebenskünste faszinierend sind (Birken, Flieder, Paulownien....).

6.3.6. Begrünung als Werbemaßnahme

Wichtig ist, zu bedenken, dass die optischen Wirkungen eines „Grünblicks“ zu einem großen Teil auf damit verbundene positive Assoziationen und Gefühle zurückzuführen ist. Es liegt daher nahe, neben den gesundheitlichen Auswirkungen dieser Zusammenhänge auch die Rolle von Begrünungsmaßnahmen als Werbemöglichkeit zu betrachten.

Dabei interessiert Entscheidungsträger vor allem, ob sich Wohnungen rascher vermieten und verkaufen lassen, wenn sie über Balkon, Gründach oder Fassadenbegrünung verfügen und ob sich die bessere Wohnqualität in höheren Preisen niederschlägt.

Anders betrachtet, ob wohnungsnahes Grün einen so großen Zusatznutzen für (potentielle) Mieter und Wohnungseigentümer bedeutet, dass dafür andere Nachteile wie schlechtere Lage, oder höhere Verschattung der Gebäude in Kauf genommen werden können.

Art und Ausstattung von wohnungsnahen Grünräumen sind auch als Instrument zur Ansprache bestimmter Zielgruppen als Mieter oder Käufer gut geeignet. Durch attraktive Spielmöglichkeiten auf einem begrünten Dach bzw. Innenhof werden gezielt Mieter mit Kindern angesprochen. Viele Mieter mit Kindern in einem Wohnhaus bedeutet positive Effekte wie Freunde und Spielkameraden in der Nähe, gute Kontakte zwischen den Bewohnern, Verständnis für besondere Bedürfnisse dieser Bewohnergruppe. Das Haus wird zunehmend für Leute mit Kindern interessant.

Lift und kleine Balkone oder Terrassen mit angenehmem Ausblick werten eine Wohnung für gehbehinderte oder ältere Personen auf. Neben allen gartentherapeutischen Vorteilen, die Balkone für diese Menschen bringen stellen liebevoll phantasievoll gestaltete und gut gepflegte Balkonbepflanzungen auch für Passanten und Wohnungsinteressenten einen wertvollen Hinweis auf das Wohnklima in einem Haus dar. Unabhängig vom tatsächlichen baulichen Standard hat ein Haus mit attraktiven Balkonen oder Fassadenbegrünung ein positives, freundliches Image.

Pflanzen auf Balkonen, Terrassen und in Innenhöfen brauchen laufende Pflege. Aus Sicht einer Hausverwaltung kann das durchaus mit Vorteilen verbunden sein. Durch die regelmäßigen Pflegemaßnahmen können auftretende Mängel am Bauwerk erkannt werden, bevor große Schäden auftreten. Das gilt in besonderem Maße für Dachbegrünungen, die mindestens einmal im Jahr auf Pflanzensämlinge mit aggressivem Wurzelwerk abgesucht werden. Auf Kiesdächern können diese Pflanzen wesentlich länger unentdeckt wachsen und mit einer größeren Wahrscheinlichkeit Schäden in der Dachabdichtung bewirken.

Im privaten Bereich bedeutet der Pflegebedarf der Pflanzen eine regelmäßige Kontrolle von Wohnungen während der Urlaubszeit oder Krankenhausaufenthalten ihrer Besitzer.

Mit der regelmäßigen Betreuung von wohnungsnahen Freiflächen ist eine wesentliche Verbesserung der Sicherheit im Haus und im gesamten Wohnumfeld verbunden.

6.4. Fassadenbegrünung

Als Fassadenbegrünung wird die flächige oder teilweise Bedeckung von vertikalen Bauwerksoberflächen (Gebäudeaußenflächen, Mauern und Wänden) mit mehrjährigen Kletterpflanzen bezeichnet.

Vorgestellte Pflanzungen oder Spaliere sowie Begrünungen mit einjährigen Kletterpflanzen werden in der Fachliteratur z.B. „Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen“ nicht weiter behandelt. Da sie für die Studie in Hinblick auf die Pflanzenverwendung auf privaten Balkonen und wohnungsnahen Freiräumen von großer Bedeutung sind, werden sie soweit es sinnvoll scheint miteinbezogen. Im Kapitel Balkonbegrünung wird noch näher auf Besonderheiten dieser Begrünungsformen eingegangen.

Aus Wuchsform und Oberflächenhaftung der Kletterpflanzen ergeben sich funktionale Unterschiede:

1. Direktbegrünung der Fassade durch selbstklimmende Pflanzen, die in der Regel flächig erfolgt.



Abb. 152 Direktbegrünung mit „Veitschi“

2. Abstandsbegrünungen der Fassade mittels konstruktiver Rank- und Kletterhilfen für Schlinger und Winder in flächiger oder linienförmiger Anwendung.



Abb. 153 Begrünte Rankgerüste in der Brünnerstraße, Projekt Reinberg, Treberspurg, Raith

3. Hängende Fassadenbegrünung, die ohne konstruktive Hilfen auskommt. Die Kletterpflanzen wurzeln in Pflanzbehälter oder auf begrünten Dachflächen.



Abb. 154 Teilweise herabhängende Begrünung (Projekt „Hängende Gärten, Rüdiger Lainer)

Wird ein Gebäude großflächig von einer Fassadenbegrünung bedeckt, spricht man von einer allgemeinen Fassadenbegrünung, Begrünungen vom Balkon oder von der Terrasse aus werden individuell gestaltet und auch als solche bezeichnet.

Bei bodengebundenen Standorten lassen sich Fassaden bis zu einer Höhe von ca. 24 Metern, dies entspricht ungefähr acht Stockwerken, begrünen.

Begrünungen von Balkonen und Loggien aus, oder vom Dach herab sind ebenfalls möglich.

Grundvoraussetzung für eine dauerhaft funktionierende Begrünung ist jedoch die optimale Abstimmung von zu begrünendem Gebäudeteil und Begrünungsform. Das heißt, dass geeignete Pflanzen mit geeigneten Kletterhilfen an dafür geeigneten Standorten gepflanzt werden und eine fortlaufende Pflege gewährleistet ist.

6.4.1. Vegetationsmodul

6.4.1.1. Pflanzenauswahl

Kletterpflanzen stellen für die Fassadenbegrünung die wichtigste Pflanzengruppe dar. Sie benötigen für ihren aufrechten Wuchs Kletterhilfen und werden nach der Art des Kletterns eingeteilt. Diese Einteilung stellt neben der Größe und den Standortsansprüchen das wichtigste Auswahlkriterium für die Pflanzenauswahl bei der Fassadenbegrünung dar.

6.4.1.1.1. Gerüstkletterpflanzen:



Abb. 155 Schlinger und Winder (S) winden ihre Triebe bevorzugt um senkrechte Drähte oder Stäbe.



Abb. 156 Ranker (R) verwenden speziell geformte Organe um sich festzuhalten. Man unterscheidet Blattranker (RB) und Sprossranker (RS).



Abb. 157 Spreizklimmer (K) bilden lange, dünne Triebe, die sich an Kletterhilfen anlehnen oder diese durchdringen.

6.4.1.1.2. Selbstklimmer:

Wurzelkletterer (WK) bilden auf der lichtabgewandten Seite der Triebe kleine, unverzweigte Haftwurzeln aus.



Haftscheibenranker (RH) stellen eine spezielle Form der Sprossranker dar. Die Rankspitzen scheiden bei Berührung einer Oberfläche ein Haftsekret aus und bilden Haftscheiben, die sich zapfenförmig in kleinste Unebenheiten des Untergrundes verankern.

6.4.1.2. Auswahlkriterien für Kletterpflanzen:

erreichbare Wuchshöhe und Wuchsstärke (Schnelligkeit des Wachstums) der Pflanze

Wuchsform der Pflanze (z.B. vorhangartiger Wuchs)

Kletterform der Pflanze (abhängig davon die Kletterhilfe)

erreichbarer Durchmesser der Triebe am Wurzelhals

Klimazone und Exposition der zu begrünenden Fläche

Ökologische Bedeutung

Pflegemöglichkeiten und –aufwand

6.4.1.3. Einschränkungen für Fassadenbegrünungen

6.4.1.3.1. Standortbelastende Faktoren:

Standortbelastende Faktoren entstehen aufgrund von baubedingten Gegebenheiten und Veränderungen der Bodenverhältnisse und führen letztendlich dazu, dass diese Vegetationsflächen zu Extremstandorten für Pflanzen werden.

6.4.1.3.2. Ungeeignete Bodenverhältnisse

Für bodengebundene Fassadenbegrünungen richtet sich die Herstellung des Wurzelraumes nach den Bodenverhältnissen der Umgebung. Es ist zwischen Standortverbesserung und Standortneuerstellung zu unterscheiden. Ungeeignete Böden oder Substrate, tieferreichende Bodenverdichtung und Bodenverunreinigungen verursachen Störungen im Wasser- und Lufthaushalt und das führt zu Fehlschlägen bei der Begrünung. Gerade deshalb versucht man den zukünftigen Standort bestmöglich vorzubereiten um die Vitalität und Lebenserwartung der Kletterpflanzen zu erhöhen, die lockere nährstoff- und humusreiche Böden benötigen. Kommt es zu keiner Verbesserung des Durchwurzelungsraumes kann das Wachstum um 60 bis 80 % gehemmt werden.

6.4.1.3.3. Regenschattenlagen, wasserdurchlässige Böden

Für die Existenz der Pflanzen ist es notwendig pflanzenverfügbares Wasser zu gewährleisten. Ist der Boden am Standort stark wasserdurchlässig werden wasserspeichernde Stoffe in die Vegetationstragschicht eingearbeitet. Andererseits müssen die Wasserabfluss- und Versickerungsverhältnisse der angrenzenden Flächen ermittelt werden, um eine mögliche Vernässung des Standortes rechtzeitig zu erkennen. Ist nicht genug Wasser vorhanden, muss während der Vegetationsperiode, bei immergrünem Bewuchs auch im Winter künstlich bewässert werden.

6.4.1.3.4. Windexponierte Lagen

Maßgebend für die Intensität der Windgeschwindigkeit und die Windrichtung sind die Höhe der Gebäude und ihre Ausrichtung (Exposition) zur Hauptwindrichtung. Ist der Winddruck groß, das vor allem an den Rändern und zwischen den Gebäuden (Düsenwirkung), kann es zu mechanischen Beschädigungen sowie Austrocknung und Frostschäden kommen. Bei entsprechender Bauweise der Kletterhilfen und sorgfältiger Pflege sind keine statischen Probleme zu befürchten. Zu beachten ist, dass der Überhang von Kletterpflanzen umso stärker zum tragen kommt, je schmaler die Kletterhilfe ist. Den Extremfall stellen Rankseile mit windenden Pflanzen dar. Statistisch sicherer ist die Verwendung von gitterartigen Konstruktionen mit Querverbindungen und vielen Verankerungen. (Vergleiche Thorwald Brandwein, Kapitel Statik)

6.4.1.3.5. Schattenlagen

Bei nordseitig ausgerichteten Bauwerken oder im Vollschatten benachbarter Bauwerke wird Licht zum Minimumfaktor. Hier ist es sinnvoll nur vollschattenverträgliche Kletterpflanzen zu verwenden (Bsp: *Lonicera x brownii* - Geißblatt, *Lonicera henryi* - Geißblatt, *Hedera helix* in Sorten - Efeu, *Hydrangea anomala petiolaris* - Kletterhortensie, *Clematis alpina* - Waldrebe, *Clematis macropetala* - Waldrebe).

6.4.1.3.6. Rückstrahlende Bauwerke

An südexponierten Fassaden, bei spiegelnden Fassadenelementen oder bei Wärmedämm-Verbundsystemen mit dunklem Anstrich können durch Rückstrahlung bzw. Aufheizung Verbrennungen an Kletterpflanzen entstehen. Auch Verblechungen sowie Geländer aus Glas können durch extreme Temperaturschwankungen Pflanzen schädigen.

6.4.1.3.7. Emittierende Bauwerke

Im Nahbereich von Entlüftungsanlagen können durch meist warme Abluft Trockenschäden und Wuchsdepressionen an Pflanzenteilen entstehen. Durch frühen Austrieb sind Pflanzen an solchen Standorten besonders Spätfrostgefährdet. Darüber hinaus können Luftschadstoffe auf Pflanzen toxisch wirken.

6.4.1.4. Pflanzsubstrate

Ungeeignete Bodenverhältnisse stellen eine häufige Ursache für Fehlschläge in der Fassadenbegrünung dar. Kletterpflanzen benötigen einen ausreichend großen, durchwurzelbaren Raum, der frei von Bodenverdichtungen und Störungen des Luft- und Wasserhaushaltes ist. Das Substrat muss dauerhaft strukturstabil sein. Durch die unmittelbare Nähe zu Bauwerken und damit zu Beeinflussung des Standortes durch Bau- und Sanierungsmaßnahmen ist eine Sanierung des Pflanzenstandortes durch Bodenaustausch oft die einzig sinnvolle Maßnahme um einen geeigneten Standort zu erhalten.

Die Fll für die Planung, Ausführung und Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen schlägt folgende Regelungen für Boden und Pflanzsubstrate vor:

Als Grenzwerte für Substrate gelten:

Anteil an organischer Substanz max. 8 Massenprozent

Gesamtporenvolumen mindestens 40 Volumsprozent, davon Anteil an Grobporen im Bereich pF 1,8 mindestens 20 Volumsprozent

Anteil der Schluff- und Tonfraktion (abschlämmbare Teile < 0,063 mm) max. 20 Massenprozent

Für bodengebundene Standorte gilt:

ungeeigneter Boden ist zu verbessern oder auszutauschen

das Pflanzloch soll mindestens 0,5 m² groß und 0,5 m tief sein; der durchwurzelbare Raum soll so groß wie möglich sein und mindestens 1m³ betragen

Weiters wird auf den Vorteil von zusammenhängenden Pflanzstreifen, dauerhaft wasser- und luftdurchlässigen Bodenbelägen und die Vermeidung von Staunässe sowie einen ausreichenden Schutz des Fundamentbereichs hingewiesen.

Für nicht bodengebundene Standorte wird auf die entsprechenden FLL-Richtlinien für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen hingewiesen.

Für die Fassadenbegrünung an innerstädtischen Objekten nach Sanierungsmaßnahmen bedeutet das konkret, dass der benötigte Wurzelraum für die Bepflanzung von Anfang an miteingeplant und bei der Umsetzung (Abdichtung, Entsorgung von Bauschutt und Resten, Maschineneinsatz) berücksichtigt werden muss.

Trotzdem lässt sich bei Pflanzgruben der sogenannte „Blumentopfeffekt“ (die umgebende, stark verdichtete Erde bildet rund um das ausgetauschte Substrat eine nicht durchwurzelbare Abgrenzung) oft nicht vermeiden. Es scheint überlegenswert, beim Bodenaustausch ähnliche Substratmischungen und Schichtaufbauten wie bei der intensiven Dachbegrünung zu verwenden. Aus Kostengründen kann der Ersatz von teuren, leichten Zuschlagstoffen durch Recyclingprodukte wie geprüfter Ziegelsplitt erfolgen. Die Verwendung von Torf als Mischungsbestandteil ist aus ökologischen Gründen (Zerstörung von Mooren, Transport), wegen der raschen Zersetzung und seiner ungünstigen Wasserspeichereigenschaften nicht zu empfehlen.

6.4.2. Technikmodul

6.4.2.1. Abdichtung

Althaus setzt sich in seinen Arbeiten mit der Wirkung von Kletterpflanzen (Efeu) auf feuchtes Mauerwerk und Fundamente auseinander. Er stellt verschiedene Meinungen aus der Literatur gegenüber und kommt zu dem Schluss, dass die Wirkung von Fassadenbegrünung auf die Wandfeuchte entgegen anderen Darstellungen einfach ungeklärt ist.

Auch hier gilt, dass sich die Pflanzeigenschaften recht gut abschätzen lassen. Bausubstanz verschiedener Zeitepochen in Kombination mit unterschiedlichsten Sanierungsmaßnahmen (Wärmedämmung, Drainage, Verputz, ...) bietet jedoch eine Vielzahl von Schadensmöglichkeiten in Kombination mit Selbstklimmern.

Für den Fundamentbereich gilt ebenfalls, dass eine Reihe von Einflussfaktoren berücksichtigt werden müssen.

Direkte Schäden an Fundamenten durch Wurzeln sind nur dann zu erwarten, wenn in der Abdichtung oder im Mauerwerk mehr Feuchtigkeit als im anschließenden Boden ist.

Indirekt können Fundamente oder Kellerwände durch Kletterpflanzen beeinträchtigt werden, wenn Drainagen durch Wurzeln oder Laub verstopft werden. Schäden an Fallrohren können durch eine Begrünung verursacht oder versteckt werden. Austretendes Regenwasser kann Feuchtigkeitsschäden im Kellerbereich verursachen. Ähnliches gilt für unsachgemäße Bewässerung wie z.B. schadhafte oder schlecht eingestellte Tropfleitungen entlang der Außenwand. Abhilfe schafft hier ein entsprechender Abstand von Bewässerung und Fassade. Die Kletterpflanzen können schräg gepflanzt werden.

6.4.2.2. Kletterhilfen

6.4.2.2.1. Materialauswahl

Für die Konstruktion von Kletterhilfen steht eine Reihe von Materialien zur Verfügung. Wichtig ist es, darauf zu achten, dass Art und Dauerhaftigkeit der gewählten Konstruktion auf das Begrünungsziel abgestimmt sind. Das heißt, das Klettergerüst muss im Regelfall länger leben als die gewählte Pflanze. In der Praxis sind auch Anstrich- und Reparaturarbeiten

begrünter Konstruktionen schwierig durchzuführen ohne die Pflanzen zu schädigen. Andererseits bedeuten statisch sichere und haltbare Kletterhilfen einen beträchtlichen finanziellen Aufwand, der oft ein Hindernis für die Begrünung von Fassaden darstellt.

Vorhandene Strukturen wie Geländer oder Säulen können für die Begrünung oft gut geeignet sein und in Kombination mit dem überlegten und verantwortungsvollen Einsatz von flächig wachsenden Selbstklimmern funktionieren. Bei dieser Variante muss sich die Auswahl der Kletterpflanzen eben nach den zur Verfügung stehenden Möglichkeiten und Materialeigenschaften richten.

6.4.2.2.1.1. Holz

Ein natürlicher Rohstoff, der in vielen Arten erhältlich und zudem leicht bearbeitbar ist. Holzarten wie die heimische Lärche, Robinie oder Tropenhölzer (Bangkirai) besitzen eine hohe Resistenz gegenüber Pilzen und sind von daher gut für eine Gerüstkonstruktion geeignet. Die Dauerhaftigkeit des Materials ist jedoch häufig geringer als die der Pflanzen.

Geeignet ist Holz überall dort, wo Bereiche zwischen Verankerungen vorübergehend überbrückt werden müssen. Ein grobrahmiges Metallgerüst könnte z.B. Zwischenfelder aus Holz bekommen, die der jungen Pflanze die gleichmäßige Verteilung auf der Fläche erleichtert. Weitere Einsatzgebiete stellen Rankhilfen im Privatbereich (Balkon, Terrasse, Fenster) dar oder Kletterhilfen für z.B. Clematisarten, die regelmäßig komplett zurückgeschnitten werden müssen.



Abb. 158 Rankgerüst aus Holz

6.4.2.2.1.2. Metall

Metallkonstruktionen weisen eine lange Lebensdauer und eine hohe Funktionalität auf. Kletterhilfen aus Spanndrähten, Drahtseilnetze und Gitter stellen den Hauptanteil professionell verwendeter Kletterhilfen dar. Ein wesentlicher Nachteil dieses Stoffes ist das Verursachen von Frostschäden an Pflanzen.



Abb. 159 Balkongeländer aus Metall als Rankhilfe für eine Wisterie

In der FII Richtlinie für Fassadenbegrünung befindet sich eine Liste der geeigneten Metallbaustoffe für Kletterpflanzen.

6.4.2.2.1.3. *Kunststoff*

Bei sämtlichen Kunst- oder Verbundwerkstoffen (z.B. GFK) müssen mechanische Eigenschaften und deren Änderungen durch Last-, Temperatur-, Witterungs- und Lichteinflüsse berücksichtigt werden. So spielt die UV-Beständigkeit bei Kunststoffen für Klettergerüste und Seilverbindungen eine wichtige Rolle. Der Einsatz beschränkt sich auf Sonderkonstruktionen und den kleinflächigen Einsatz im privaten Bereich (z.B. Balkone, Fenster).



Abb. 160 Beispiel für eine Kletterhilfe aus Kunststoff für sehr leichte Pflanzen (BUGA München 2005)

6.4.2.2.2. *Konstruktion von Kletterhilfen*

Der Abstand der Kletterhilfen zur Wand bzw. zwischen den einzelnen Drähten untereinander hängt im Wesentlichen von den ausgewählten Pflanzen ab. Er soll so groß berechnet werden, dass die Pflanzen artgerecht winden oder ranken können und Druckstellen vermieden werden. Wird der Abstand zu klein gewählt, kann die Pflanze ohne fremde Unterstützung nicht ranken.

Aus diesem Grund soll der Abstand mindestens zwei Zentimeter mehr betragen als der zu erwartende Triebdurchmesser in der Höhe der Kletterhilfe. Bei Mischpflanzungen wird von jener Art ausgegangen, die die größte Triebstärke erreicht.

Bei manchen Arten bewegen sich die Triebspitzen kreisförmig um die Kletterhilfe und reagieren auf Berührungsreize mit einer Veränderung der Triebform. Für diese Pflanzen ist es nicht möglich um einen Spanndraht zu wachsen, wenn zu wenig Abstand zur Fassade besteht. (z. B. Glycinie)

6.4.2.2.3. *Statik und Befestigung*

Die statische Bemessung gewährleistet nicht nur sicheren Halt von Kletterhilfen und Bewuchs, sondern dient auch dazu um Schäden speziell an der Fassade zu vermeiden. Aufbauend auf statische Aspekte, wie Gewicht von Kletterhilfen und Bewuchs unter Berücksichtigung von Früchten, Schnee und Eis, Windlasten, wechselnde Spannungszustände aufgrund witterungsbedingter Einflüsse, pflanzenverursachte Spannungszustände wegen des sekundären Dickenwachstums kann letztendlich ein Maximalgewicht errechnet werden, das die Kletterpflanze und die Kletterhilfe nicht überschreiten darf.

6.4.2.2.3.1. *Vertikallasten*

Als vertikal wirkende Lasten werden die Gewichte aller Komponenten einer Fassadenbegrünung angesehen. Es können jedoch, je nach Ausführung der Kletterhilfen und Art des Bewuchses, zusätzlich weitere Lasten vertikal wirken. Besonders zu beachten sind hier die Einflüsse auf Spannseile durch Witterung (Temperatur) oder den Pflanzenwuchs (Verkürzung durch das Einwachsen von Pflanzenteilen).

Weitere Punkte sind zusätzliches Gewicht durch Niederschläge (Regen, Schnee) Fruchtgewichte oder Wind.

Während sich die Massen von Kletterhilfen genau berechnen lassen, basiert die Ermittlung des Pflanzengewichtes auf Schätzungen und Berechnungsformeln, denen Beobachtungen

und Messungen an vergleichbaren Kletterpflanzen zugrunde liegen. Die genaue Wuchsform und Endgröße von Pflanzen lässt sich jedoch nie genau vorhersagen.

Eine Näherungsformel für die Abschätzung von Pflanzengewichten stellt z.B. Thorwald Brandwein auf seiner Website vor. Er geht davon aus, dass das Holzgewicht von Kletterpflanzen je nach Art etwa 1/10 des von Bäumen gebildeten Nutzholzes (Stamm) wiegt. Das Laubgewicht nimmt er aufgrund der identischen Funktion als relativ ähnlich an.

Er weist darauf hin, dass das Holzgewicht neben Art- und altersspezifischen Faktoren auch durch Schnitt- und Pflegemaßnahmen beeinflusst wird. Da sich der Schnitt jedoch vorwiegend auf junge (dünne) Triebe beschränkt, ist seiner Meinung nach davon auszugehen, dass auch geschnittene Kletterpflanzen über kurz oder lang das artspezifische Maximalholzgewicht erreichen.

Der Autor legt seinen Berechnungen daher folgende Annahmen zugrunde:

Das absolute Laubgewicht ist proportional der lichtzugewandten Oberfläche. Das Gewicht des an der Oberfläche exponierten Laubes wird durch Niederschläge beeinflusst. Auch Fruchtgewichte sind zu berücksichtigen.

Das maximale absolute Holzgewicht entspricht maßgeblich der potentiellen Größe von Triebdurchmesser und Höhe. Das Wuchstempo hat Einfluss auf die Holzdichte, schnellerer Wuchs = geringere Dichte.

Zur besseren Illustration von Größenverhältnissen seien hier noch einige Gewichtsdaten wiedergegeben, die Brandwein in seinem Text anführt und die teilweise aus seinen Messungen stammen oder von anderen Autoren übernommen wurden:

Bei einer übergrünten Fläche von jeweils 25 m² betrug das Holzgewicht von ca. 70 Jahre alten Wisterien um 2,5 kN, für eine 40 Jahre alte Aristolochia jedoch nur 0,25 kN.

Das Laubgewicht von sommergrünen Kletterpflanzen übersteigt im normal feuchtem Zustand (trockenes Wetter, vitale Pflanze) 0,015 kN/m² nicht.

Als Nasslaubgewicht hält Brandwein 0,03 kN/m² für vertretbar, verwendet sicherheitshalber in seinen Berechnungen jedoch einen relativ hohen Wert von 0,045 kN/m², der sich aus Eintauchversuchen von Laub ergibt. (gerundeter Faktor 3,0 ergibt sich aus Messungen von Althaus 1992 von z.B. Aristolochia 2,56, Wisteria sinensis 1,86).

Wichtig scheinen auch die Hinweise des Autors darauf, dass die sommerlichen Laubgewichte nur dann von statischer Bedeutung sind, wenn zusätzlich Windlasten zu vertikaler Belastung führen. Das ist vorrangig bei Kletterpflanzen an Seilen abhängig vom Abstand der Windsicherung (Zwischenstützen) der Fall. Für die Statik wichtig ist das Wintergewicht von Begrünungen, das das Sommergewicht gegebenenfalls übersteigt.

Eine Übersicht über geschätzte Pflanzengewichte der häufigsten Arten findet sich auch im Anhang der Fll für Fassadenbegrünung.

6.4.2.2.3.2. Horizontallasten

Fassadenbegrünungen werden in horizontaler Richtung in erster Linie durch Wind belastet. Da diese Querkräfte sehr stark werden können, müssen steife Klettergerüste (Gitter) horizontal mindestens so tragfähig verankert werden wie vertikal. Biegsame Kletterhilfen (Seile, Stäbe), die nicht in Stützen oder Abstandhalter eingeleitet sind, werden in vertikaler Richtung wesentlich höher beansprucht.

Ein Verkleinern der Angriffsfläche durch Schnittmaßnahmen an den Kletterpflanzen reduziert die Windlasten.

6.4.2.3. Vermeidung von Fassadenschäden

6.4.2.3.1. Baumängelbedingte und pflanzenbedingte Schäden

Schäden an oder durch Fassadenbegrünungen treten fast ausschließlich auf, weil die Abstimmung von Pflanze und Bauwerk verabsäumt wurde. Bei den Schäden werden bauwerksbedingte und pflanzenbedingte Schäden unterschieden.

6.4.2.3.1.1. *Ursächlich baumängelbedingte Schäden*

Sie entstehen dann, wenn offensichtliche oder versteckte Baumängel bei der Begrünung unbeachtet bleiben (z.B. Putzrisse oder ausgewitterte Mörtelfugen bei der Verwendung von Efeu oder Pfeifenwinde)

6.4.2.3.1.2. *Ursächlich pflanzenbedingte Schäden*

Diese Schäden können nur bei unzureichender Abstimmung von Pflanzeigenschaften (z.B. Wuchs, lichtfliehende Triebe und Haftorgane, Dickenwachstum der Triebe, Fähigkeit zur Bildung von sprossbürtigen Wurzeln) auf die Bauwerkeigenschaften (Konstruktion, Bauteile, Baustoffe) entstehen. Als häufigste Beispiele sind hier das Zerquetschen oder Absprengen von Regenfallrohren durch Wisteria oder die Durchwurzelung von filmbildenden Beschichtungen (z.B. Dispersionsfarben) durch Efeu anzuführen.



Abb. 161 Freischneiden einer Dachrinne um Schäden durch eine Wisteria zu vermeiden

6.4.2.3.2. Vorsorgeprinzipien, Empfehlungen zur Schadensverhütung

In der Fll für Bauwerksbegrünung sind die wichtigsten Punkte für die Vermeidung von Schäden durch Bauwerksbegrünung zusammengestellt und aufgegliedert.

Neben der bereits erwähnten Abstimmung von Bauwerk und Bepflanzung kommt vor allem der periodischen Bauwerksunterhaltung und laufenden Pflege der Begrünung eine enorme Bedeutung zu.

Christoph Althaus setzt sich in seiner Arbeit mit der Idealisierung von Fassadenbegrünung auseinander. Der Begrünungsboom zwischen 1970 und 1990 (mehr in Deutschland als in Österreich) und das hohe Ansehen von Fassadenbegrünung als urbanes Grün führten zu einer Bagatellisierung von Schäden und einer größeren Gefahr von schadensträchtigen Fehlentscheidungen. Langfristig wird dadurch der Einsatz von Fassadenbegrünungen eher gefährdet als gefördert. Der Autor setzt sich mit Fehlinformationen, widersprüchlichen Angaben und der „mangelnden wissenschaftlichen Durchdringung“ der Schadensfrage bei Fassadenbegrünungen auseinander und gibt konkrete Hinweise zur Einschätzung und Vermeidung von Schadensursachen.

Die Arbeit hat hinsichtlich der Schadensrelevanz von Pflanzeigenschaften bis heute Gültigkeit. Besonders im Bereich der Sanierung von Gebäuden sind seine Untersuchungen vom Zusammenspiel verschiedener Selbstklimmer mit unterschiedlichen Putz- und Fassadeigenschaften durchaus aktuell. Für den Einsatz von Begrünung an aktueller Architektur fehlen Untersuchungen. Hier muss auf der Basis von bisherigen Erfahrungen und Einschätzung von Pflanzeigenschaften auf Schadenspotentiale geschlossen werden.

Eine Direktbegrünung von Gebäudefassaden ist aus Gründen einer präventiven Schadensverhütung in vielen Fällen nicht möglich. Gerüstkletterpflanzen stellen in vielen Fällen eine sichere, einschätzbare und langfristige Alternative dazu dar. Der Verweis durch Pflegemaßnahmen, wie regelmäßigen Schnitt könne man Schäden vermeiden, ist nicht akzeptabel, weil die Kontinuität von solchen Maßnahmen nie gesichert und die gleichmäßig Sorgfalt der Arbeiten nicht voraussehbar ist.

6.4.3. Pflegemodul

Die Kletterform, die vorgesehene Funktion und Wirkung, aber vor allem die Wuchseigenschaft der Pflanze geben ihre Verwendungsmöglichkeit vor. Je weniger die natürlichen Wuchseigenschaften mit den gestalterischen und technischen Erfordernissen übereinstimmen, desto höher ist der Pflegeaufwand.

Für die professionelle Bauwerksbegrünung ist es sinnvoll, die Pflege in drei zeitlich abgegrenzte Abschnitte zu unterteilen:

6.4.3.1. Fertigstellungshilfe

Die Fertigstellungspflege hat die Erreichung eines abnahmefähigen Zustandes der Begrünung zum Ziel. Typische Arbeiten können Lockern und Säubern der Arbeitsflächen, Wässern, Düngen und Ergänzung und Kontrolle der Anbindungen sein. Zu Beachten ist besonders, da frisch gesetzte Kletterpflanzen die vorgesehenen Kletterhilfen erst nach einiger Zeit fest umschlingen und sich ausreichend festhalten können. Hier sind laufende Kontrollen und zusätzliche Anbindungen erforderlich. Diese dürfen nicht ins Holz der Pflanzen einwachsen!

6.4.3.2. Entwicklungs- und Unterhaltspflege

Die Entwicklungs- und Unterhaltspflege erfolgt nach den jeweils gültigen Länder- bzw. EN – Normen. Ziel ist die Erzielung eines funktionsfähigen Zustandes und die Dauer beträgt in der Regel 2 Jahre. Typische Arbeitsgänge sind Wässern, Düngen Kontrolle der Kletterhilfen, Spannen und Lockern von Spanndrähten.

6.4.3.3. Unterhaltspflege

Die Unterhaltspflege dient der Erhaltung eines funktionsfähigen Zustandes. Die wesentlichen Arbeiten sind Wässern, Düngen, Kontrolle von Kletterhilfen, Spanndrähten und erforderliche Schnittmaßnahmen.

Alle diese Maßnahmen erfordern ein großes Maß an Erfahrung und Fingerspitzengefühl und sollten nur von ausgebildeten Gartenbaufachleuten durchgeführt werden.

6.4.3.4. Regenwassernutzung

Die Nutzung von Regenwasser für die Fassadenbegrünung ist prinzipiell möglich. Der Vorteil liegt in der Einsparung von Trinkwasser und dem pflanzenfreundlichen pH – Wert des Wassers. Bei differenzierter Betrachtung einzelner Begrünungsfälle lassen sich jedoch auch eine Reihe von negativen Aspekten erkennen, deren Bedeutung jeweils abgewogen werden muss.

Regenwasser lässt sich überall dort gut verwenden, wo bei Neubauten eine Speichermöglichkeit in Form von großen Zisternen und die entsprechende Leitungs- und Pumpeninfrastruktur eingeplant und gebaut werden. Sofern die Speichermöglichkeiten groß genug sind, steht auch im Sommer bei langanhaltender Trockenheit genug Gießwasser mit einem ausreichenden Druck zur Verfügung.

Im kleineren Maßstab stellt auch eine Regentonne mit händischer Bewässerung eine Form der Regenwassernutzung dar. Umgerechnet auf viele Privatbalkone ist diese Variante durchaus sinnvoll.

Weniger brauchbar ist die Kombination von automatischer Tropfbewässerung mit Regenwasser, da der gleichbleibende Druck und die Qualität der öffentlichen Wasserleitung einen reibungslosen Betrieb unterstützt. In Ostösterreich ist darüber hinaus zu bedenken, dass besonders während der langen sommerlichen Trockenperioden besonders viel Wasser benötigt wird, aber nur wenig Regenwasser vorhanden ist. Die großen Niederschlagsmengen im Frühling, Herbst und Winter bleiben ungenützt.

Hier scheint die Verwendung des Regenwassers für WC – Spülungen sinnvoller, da sie Angebot und Nachfrage etwas besser miteinander verbinden. Aus stadttökologischer und klimatischer Sicht ist die Bewässerung von Dachbegrünungen bei entsprechender Begrünungsart (trockenheitsverträgliche Pflanzenauswahl) ebenfalls meist sinnvoller als die Bewässerung von Fassadenpflanzen (vergleiche Kapitel Ökologische Aspekte der Bauwerksbegrünung).

6.4.3.5. Biomasse

Bei Fassadenbegrünungen im dichtverbauten Gebiet stellt sich immer wieder die Frage nach der Entsorgung der anfallenden Biomasse. Holz und Triebe, die bei Schnittmaßnahmen anfallen werden meist durch die beauftragten Fachfirmen abtransportiert und entsorgt. Je nach Größe und Art der verwendeten Kletterpflanzen fällt im Herbst auch eine Menge an Falllaub an.

Die beste Möglichkeit, damit umzugehen ist, das Laub in Pflanzbeeten als Winterschutz und Mulch liegen zu lassen. Voraussetzung dafür ist, dass diese Flächen ausreichend groß sind und das Laub bei der Verrottung keine Phytotoxine freisetzt.

Bei einer Bepflanzung mit schattenverträglichen Bodendeckern wie z.B. Efeu oder Immergrün können Pflanzflächen schätzungsweise das Laub der dreifachen Fläche an Fassadenbegrünung entsorgen.



Abb. 162 Efeu als Bodendecker auf einem Pflanzstreifen mit Kletterpflanzen (Brünnerstraße)

Während viele Waldpflanzen an den herbstlichen Laubfall angepasst sind und davon profitieren, müssen Laubmassen von Rasenflächen oder befestigten Flächen entfernt werden. Ideal wären die Kompostierung des Materials und die Verwendung des Kompostes als Dünger. Wenn vor Ort nicht möglich ist, stellt die kommunale Kompostierung eine gute Alternative dar.

6.5. Dachbegrünung

Als Dachbegrünung werden die Begrünung von Dächern, Dachterrassen, Tiefgaragen und anderen Bauwerksdecken mit einer Überdeckung bis zu etwa 2m bezeichnet. Man unterscheidet hinsichtlich Nutzung, bautechnischen Gegebenheiten und der Bauweise drei Ausbildungsformen:

1. Intensivbegrünung

Intensivbegrünungen umfassen die Pflanzung von Stauden, Gehölzen oder auch Kletterpflanzen und Rasenflächen. Die Pflanzen stellen hohe Ansprüche an den Schichtaufbau (Substratstärke: 25-100 cm), und an eine regelmäßige Wasser- und Nährstoffversorgung. Sie können flächig, höhendifferenziert oder punktuell angeordnet sein und sind nur durch regelmäßige Pflege dauerhaft zu erhalten.

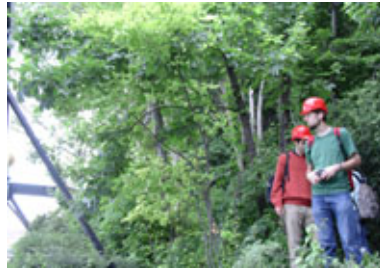


Abb. 163 Beispiele für Intensivbegrünung

2. Einfache Intensivbegrünung

Die Nutzungs- und Gestaltungsvielfalt ist im Gegensatz zur reinen Intensivbegrünung eingeschränkt. Die bodendeckende Begrünung (Gräser, Stauden und Gehölze) stellt geringere Ansprüche an den Schichtaufbau (Substratstärke: 15-25 cm), die Wasser- und Nährstoffversorgung sowie an die Pflege.



Abb. 164 Beispiele für einfache Intensivbegrünung

3. Extensivbegrünung

Extensivbegrünungen sind naturnah angelegte Vegetationsformen, die sich weitgehend selbst erhalten und weiterentwickeln. Es werden Pflanzen mit besonderer Anpassung an die extremen Standortbedingungen und mit hoher Regenerationsfähigkeit verwendet. Die Pflanzen sollten dem mitteleuropäischen Florenraum entstammen oder eingebürgert sein. Die Unterhaltungspflege beschränkt sich auf 1-2 Durchgänge jährlich.

Möglich ist die extensive Dachbegrünung sowohl auf Flachdächern, als auch auf Schrägdächern.



Abb. 165 Beispiele für extensive Dachbegrünung mit Sedum

6.5.1. Vegetationsmodul

Anders als bei der Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen steht für die verschiedenen Arten von Dachbegrünung prinzipiell eine größere Anzahl von geeigneten Pflanzen zur Verfügung. Welche Auswahl für ein bestimmtes Projekt letztendlich getroffen wird hängt von den vorhandenen Standortbedingungen ebenso wie von der gewünschten Gestaltung bzw. Nutzung oder Pflege ab. Unter standortgerechter Vegetation wird in dieser Studie auch eine Anpassung an die erwünschte Nutzung verstanden. Nur so ist eine dauerhafte und sinnvolle Begrünung möglich.



Abb. 166 Bestimmung von Artenzusammensetzung und Deckungsgrad auf einem Extensivdach

Obwohl begrünte Dächer teilweise ähnliche Funktionen und Vegetationsformen aufweisen wie erdgebundene Freiräume sind bei der Pflanzenauswahl einige Kriterien besonders zu berücksichtigen. (Vergl. FII Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen)

1. Klimatische und witterungsbedingte Faktoren:

regionale Klimaverhältnisse und örtliches Kleinklima

Niederschlag (Menge und jahreszeitliche Verteilung)

Mittlere Sonnenscheindauer

Trockenperioden

Frostperioden mit und ohne Schneebedeckung

Hauptwindrichtung

2. Bauwerkspezifische Faktoren:

Sonnen-, Schatten- und Wechsellichtbereiche

Ablenken von Niederschlägen durch das Bauwerk

Windströmungsverhältnisse

Exposition der Dachfläche und Gefälle bzw. Neigung der Dachfläche

Stärke des Schichtaufbaus

3. Pflanzenspezifische Faktoren bei Intensivbegrünung:

eingeschränkte Winterfestigkeit einzelner Arten

Windfestigkeit von Stauden und Gehölzen

Empfindlichkeit gegen Rückstrahlung und Wärmestau

Empfindlichkeit der Vegetation gegen chemisch belastete Abluft, Warm- und Kaltluftermissionen

4. Pflanzenspezifische Faktoren bei Extensivbegrünung:

Einfluss von Windeinwirkung und Intensität der Sonneneinstrahlung auf den Wasserhaushalt

Ansprüche der Vegetation an den Lufthaushalt im Schichtaufbau

Empfindlichkeit auch dieser Vegetationsformen gegen chemisch belasteter Abluft, Warm- und Kaltluftermission

5. Nutzungsspezifische Faktoren:

beschränktes Platzangebot

Zugangsmöglichkeit für Pflegemaßnahmen

Eingeschränkte Zugangsmöglichkeit bei An- und Abtransporten

hohe Beanspruchung

hohe Erwartungen an Optik und Pflanzengesundheit

6.5.1.1. Pflanzenarten

Für die einzelnen Formen der Dachbegrünung liegen mittlerweile recht umfangreiche Pflanzenlisten mit Angaben zu geeigneten Arten und Sorten vor. In Kombination mit Systemaufbauten und unter Berücksichtigung der oben angeführten Faktoren lassen sich abwechslungsreiche Gestaltungsvarianten herausarbeiten.

In der nachfolgenden Pflanzenliste für Extensivdächer erfolgte die Zusammenstellung der Arten nach Blütenfarben bzw. charakteristischen Blattstrukturen (Gräser, Sedum). Bei entsprechender Pflege lassen sich auch große Extensivdachflächen mit Mustern, Logos usw. gestalten.

Besonders durch die Verwendung von Kräutern und robusten Gemüsepflanzen können einfache Extensivbegrünungen zu duftenden Gärten werden.



Abb. 167 Kräutergarten auf dem Dach einer Apotheke und auf einer Garage

In der Praxis ergeben sich jedoch immer wieder Standorte, die sich recht schwierig für eine dauerhaft funktionierende und optisch ansprechende Begrünung erweisen. Bekannte Beispiele für solche Situationen sind Extensivbegrünungen im Schatten oder üppige Intensivbegrünungen bei starker Windexposition oder wechselnden, extremen Lichtverhältnissen.

Der Grund für die Probleme liegt in der Überlagerung von Standortsfaktoren, die in dieser Kombination in der Natur nicht oft vorkommen oder eben auch dort kaum Pflanzenwachstum in einer für Dächer geeigneten Art zulassen.

6.5.1.1.1. Exkurs: Praktische Lösungsansätze für schattige Extensivstandorte

Die erste Frage bei der Auswahl standortgerechter Pflanzen lautet:

Wie sieht ein vergleichbarer Standort in der Natur aus und was wächst dort?

Für das oben genannte Beispiel der schattigen Extensivbegrünung können die Vorbilder so aussehen:



Abb. 168 Cyclamen als typischer Unterwuchs an trockenen Stellen im Wienerwald, Euphorbien an schattigen Felsenhängen in Cres

Trockene Hänge an beschatteten Stellen von Schluchten und Steinbrüchen oder Unterwuchs in trockenen Eichen- Misch- und Kiefernwäldern mit dichtem Baumbestand.

Die nächste Überlegung gilt den besonderen Eigenschaften der dort vorkommenden Pflanzen und wieweit diese auf einem Dach von Bedeutung sind:

Bäume, Sträucher und viele krautige Gewächse überleben an diesen Extremstandorten, weil sie besonders tief in Felsspalten wurzeln können. Diese Möglichkeit wird auf Dächern durch die Wurzelsperre (hoffentlich) unterbunden. Solche Pflanzen eignen sich für die Verwendung auf schattigen Dächern nur mit einer besonders stabilen Abdichtung, einer mechanischen Befestigung (Baumverankerung) und zusätzlicher Wasserversorgung – also nicht für extensive Begrünungsvarianten.

Ein Lösungsansatz wäre in diesem Fall Substratanhügelungen vorzunehmen und eine zusätzliche Bewässerung einzubauen. Eine Verbesserung des Standortes lässt sich auch durch die Verwendung von Plattenbelägen erzielen, die anfallende Niederschläge gezielt zur Vegetation leiten. Ein durchwurzelbarer Unterbau der Wege könnte bei kleineren Gewächsen günstig sein, da die Platten wie Mulchmaterial wirken und Feuchtigkeit nicht so rasch verdunstet.

Häufig auf trocken-schattigen Standorten sind auch Pflanzen, die als eher zierlich gebaute Einzelexemplare mit großem Abstand zueinander oder in recht lockeren Gruppen wachsen. Diese hübschen Gewächse eignen sich für die Verwendung auf kleinen, schattigen Dachbegrünungen, wie z.B. vor Fenstern, wo sie aus der Nähe betrachtet werden. Auch die Bepflanzung von schmalen Streifen oder Zwischenräumen ist möglich. Mit Kies, Steinen oder anderen Mulchmaterialien kombiniert lassen sich sehr schöne Aspekte gestalten. Eine ausgeprägte Farb- oder Fernwirkung besitzen diese Pflanzen nicht.

Für flächige und bodendeckende Bepflanzung schattiger Dachbereiche stehen eine Reihe von Wald- und Waldrandpflanzen zur Verfügung, die für gärtnerische Zwecke züchterisch bearbeitet worden sind. Pauschal könnte man es so ausdrücken, dass die Gartensorten dichter und üppiger wachsen oder schöner und länger blühen, dafür aber größere Ansprüche an den Standort stellen als ihre Verwandten im Wald. Für optisch und pflegetechnisch befriedigende Bodendecker wird man daher um eine intensive Begrünungsform nur in wenigen Fällen herumkommen.



Abb. 169 Bodendecker für trockene, schattige Stellen: Maiglöckchen, Immergrün, Bergenie und Lärchensporn (für Pflasterfugen)

Weil schattige Extensivbegrünungen bei Nebengebäuden oder in Innenhöfen öfter vorkommen, wurde von der HBLA Schönbrunn ein Versuch durchgeführt, in dem mehrere Pflanzenarten auf ihre Tauglichkeit und ihre Eigenschaften in der gärtnerischen Kultur untersucht wurden. Als Grundlage für die Versuchsanordnung diente eine Arbeit von Jörg Fricke (unveröffentlicht), die sich mit Anforderungen an ein für diese Zwecke geeignetes Substrat befasste. Weiters wurde eine Vorauswahl an für schattige Extensivdächer geeigneten Pflanzen erstellt. Aus Vegetationsaufnahmen bestehender schattiger Gründächer und Beobachtungen auf Versuchsflächen wurden zwei Gruppen zusammengestellt:

Pflanzen für preiswerte Ansaaten großer Flächen

Pflanzen mit optisch interessanten Eigenschaften für gärtnerische Vermehrung und Einzelpflanzung auf kleineren Flächen.

Die Versuche sind aus Sicht der Gärtner und Gartengestalter sehr interessant, weil für Topfstauden und Saatgut derzeit Bedarf besteht und gute Preise erzielt werden können.

Aus Sicht der Nutzer rechtfertigen liebevoll gestaltete Schattenbereiche wie begrünte Vordächer vor Fenstern oder extensiv begrünte Dächer auf Nebengebäuden durchaus auch einen Mehraufwand an Pflanzenmaterial, Bewässerung oder Pflege.

Probleme mit schwierigen Begrünungssituationen und damit verbundene Mehrkosten lassen sich aber meist vermeiden wenn sie bereits frühzeitig erkannt werden und bei der Planung entsprechend reagiert wird.

Während bei den klimatischen und witterungsbedingten Einflüssen nur wenig Spielraum für eine Verbesserung der Standortbedingungen bestehen, lassen sich bei den bauwerksbedingten Aspekten, wie die konkreten Beispiele zeigen, viele Verbesserungen einplanen.

6.5.1.2. Pflanzsubstrate und Wurzelraum

Je nach der Tragfähigkeit der Unterkonstruktion werden die Grundsubstrate in einer Standard- und in einer Leichtvariante angeboten. Aufgrund der unterschiedlichen Zuschlagstoffe sehen diese verschieden aus, sind auch unterschiedlich im Preis, jedoch nahezu identisch in ihrer Funktionsfähigkeit. Auf Dächern, die stark windexponiert sind, kann es notwendig sein, ein Substrat mit höherem Gewicht zu wählen, das nicht so leicht verblasen wird.

6.5.1.2.1. Extensivsubstrate

Extensivsubstrate (Mineralsubstrate) im Einschichtaufbau lassen vor allem bei Schichtstärken unter 10cm nur eine eingeschränkte Pflanzenvielfalt zu. Sie bestehen überwiegend aus mineralischen Bestandteilen und funktionieren als Drain- und Vegetationsschicht in einem. Einschichtsubstrate, die vollständig aus mineralischem Schüttgut bestehen, werden in der Regel mit Keimsubstrat abgedeckt (Zwei-Schicht-Aufbau), um ein Mindestmaß an organischen Komponenten und Bodenhilfsstoffen einzubringen. Das Material bietet eine hohe Lagestabilität (gegen Wasser- und Winderosion) und eine abgestufte Körnung, die eine hohe Durchlässigkeit bei knapper, aber gerade noch ausreichender Wasserrückhaltung bewirkt.

Anwendungsbereich: Flachdach mit 0°-5° Dachneigung.

Extensivsubstrate in Mehrschichtbauweise ermöglichen eine mittlere Pflanzenvielfalt. Sie besitzen aufgrund einer anderen Materialzusammensetzung und Kornabstufung eine höhere Wasserspeicherkapazität als die mineralischen Einschichtsubstrate. Eine separate Drainschicht ist bei Dachneigungen unter 5° erforderlich.

Anwendungsbereich: Dächer mit 0°-30° Dachneigung.

6.5.1.2.2. Intensivsubstrate

Intensivsubstrate eignen sich für die Bepflanzung mit Stauden und Gehölzen. Sie sind strukturstabil, trittfest, haben ein großes Porenvolumen und ein gutes Speichervermögen für Wasser, Nährstoffe und Spurenelemente. Die Schichtdicken variieren von 15-80 cm (ohne Drainschicht).

6.5.1.2.3. Spezialsubstrate

Spezialsubstrate werden vor allem bei intensiven Begrünungen zur Aufzucht spezieller Pflanzenarten oder bei hohen Schichtdicken verwendet.

Rasensubstrate sind besonders trittfest, kornabgestuft für einen optimalen Wasserhaushalt und besitzen ein hohes Volumen an Luftporen.

Bei allen Substraten müssen Pflanzen- und Umweltverträglichkeit gewährleistet sein! Im Sinne der Naturgartenidee verwendet man torffreie Substrate, die außerdem frei von pflanzenschädlichen Recyclingkomponenten und von Wurzelunkräutern sein sollen.

Industriell hergestellte Substrate werden meist in regionalen Erdenwerken gemischt. Damit können Kosten gespart und regional verfügbare Materialien bzw. Recyclingmaterial verwendet werden. Extensivsubstrate werden (entsprechend große Mengen vorausgesetzt) mittels Druckluft aus Silo - LKWs schnell und kostengünstig aufs Dach geblasen. Intensivsubstrate besitzen einen höheren Anteil an organischer Substanz und sind schwer oder nur mit Spezialgebläsen blasbar, da sie leicht verkleben bzw. sich entmischen. Sie können in speziellen Behältern oder in Big-Bags (Kunststoffsäcke mit 1-2 m³ Fassungsvermögen) per Kran aufs Dach gehoben werden.

6.5.1.2.4. Oberboden

Die Verwendung von Oberboden (im Allgemeinen handelt es sich bei geliefertem Oberboden um Ackerboden mit schlechter Krümelstruktur) kann aufgrund seines hohen Gewichtes, der nicht geprüften Rückstände von Spritzmitteln und des Vorhandenseins von Beikräutern problematisch sein. Die schlechte Wasserdurchlässigkeit und das Zusetzen (Verschlämmen) des Filtervlieses durch Feinanteile sind weitere Unwägbarkeiten und führen nicht selten zu Wasserschäden an Bauwerk und Pflanzen.

Einen Sonderfall stellt der absichtliche Einsatz vorhandenen Oberbodens zur Gestaltung von Dächern als Ersatzlebensraum dar. Beispiele wie das Gründach des Universitätsspitals in Basel oder die Begrünung eines Privathauses in Eisenstadt zeigen, dass es durchaus sinnvoll sein kann, lokale Besonderheiten der Flora und Fauna auf Dächern anzusiedeln. Voraussetzung dafür sind geeignete Substrataufbauten, die vorhandene Materialien und deren Eigenschaften berücksichtigen.

Das eidgenössische Natur- und Heimatschutzgesetz verlangt von den Behörden, geeignete Maßnahmen zum Schutz gefährdeter Tier- und Pflanzenarten vorzusehen. Wie diese auszusehen haben, wurde aufgrund biogeografisch- faunistischer Untersuchungen des geografischen Instituts der Universität Basel festgelegt. Unter Anderem wurde die Dachbegrünung mit Substraten aus natürlichen Ober- und Unterböden der Region gefordert.

Beim Projekt in Basel wurde krümeliger (!) Oberboden aus angrenzenden Trockenrasen als Vegetationsschicht verwendet. In einer Schichtstärke von 2 – 15 cm wurde dieser auf einen Unterbau aus 6 – 12 cm sandigen Kies aufgebracht. Angesät wurden Saatgutmischungen aus lokal vorkommenden Arten. Zusätzlich kann auch noch mit dem Samenvorrat des verwendeten Oberbodens gerechnet werden (Vergleiche Brenneisen in Dach+Grün4/ 2004).

6.5.1.3. Einbringung der Begrünung

6.5.1.3.1. Extensivbegrünung

Auf extensiven Dächern kann man je nach Begrünungsziel, Kostenrahmen und Zugänglichkeit Pflanzen auf unterschiedliche Weise aufbringen:

Saatgut von Kräutern und Gräsern und / oder Sedumsprossen ausbringen.

Klein- oder Flachballenstauden (3x3cm, 5x5cm, 7x7cm) pflanzen.

Vorkultivierte Vegetationsmatten verlegen.

6.5.1.3.1.1. Ansaatverfahren

Die preiswerteste Form der Begrünung ist die Trockenansaat. Sedumsprossen werden allein (ca.70g/m²) oder gemischt mit Kräuter- und Gräsersaatgut (ca.30g / m²) ausgestreut.

Die Trockenansaat eignet sich besonders für kleine Flächen.

Beim Nassansaatverfahren wird Saatgut, Kleber und Wasser vermischt und ausgespritzt. Sedumsprossen werden zuvor lose aufgestreut. Die Nassansaat bietet einen guten Schutz vor Wind- und Regenerosion, besonders bei geneigten Dächern bis ca. 15°.

Dieses Verfahren eignet sich für größere Flächen, ab ca. 1000m².

6.5.1.3.1.2. Pflanzung von Kleinballenstauden

Die Pflanzung bietet unterschiedliche Blattstrukturen, Blütenfarben und somit vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten. Die Bestände schließen sich relativ schnell. Gepflanzt werden ca. 10-20 Stk./m².

6.5.1.3.1.3. Vegetationsmatten

Vorkultivierte Vegetationsmatten eignen sich zur schnellen Flächenbegrünung, auf windexponierten Flächen und bei Schrägdächern ab 15°.

6.5.1.3.2. Intensivbegrünung

Bäume und Sträucher werden mit oder ohne Ballen, als Topf- oder als Containerqualität gesetzt. Stauden, Kleingehölze und Kräuter können ebenso als Topfware gesetzt werden. Für Rasenflächen ist die Verwendung von Rollrasen zu empfehlen, um eine gleichmäßige Grasnarbe zu erhalten.

6.5.1.3.3. Gründach-Pakete zum Selbsteinbau

Einige Hersteller bieten komplette Begrünungspakete, bestehend aus Trennlage, Drainschicht, Filter- und Substratschicht und Kleinballenpflanzen in Standardabmessungen oder in den gewünschten Maßen an. Hier wird jede Schicht einzeln aufgebracht, die Pflanzendecke ist nach zwei bis drei Jahren weitgehend geschlossen. Erhältlich sind auch Fertiggründach-Elemente zum Selbstverlegen, bestehend aus Drainelementen und vorkultivierten Vegetationsmatten. Der fertige Schichtaufbau wird in Einzelmodulen geliefert, die nebeneinander verlegt werden. Die Pflanzendecke ist sofort geschlossen.

6.5.2. Technikmodul

6.5.2.1. Vermeidung von Schäden der Dachhaut

Für die Vermeidung von Schäden an der Dachhaut sind eine Reihe von Punkten relevant. Die richtige Abstimmung von Begrünungsart, technischen Voraussetzungen und Gründachaufbau lässt sich am elegantesten durch die Verwendung von Systemaufbauten erreichen. Für diese Produkte gibt es langjährige Erfahrungen in Hinblick auf mögliche Schadensfälle, deren Behebung oder besser Vermeidung. Genaue Messdaten und ein relativ kalkulierbares Verhalten von Vegetation, Substrat, Wasserhaushalt, Abdichtung usw. erleichtern die Planung. Für Systemaufbauten liegen auch erprobte und ausgefeilte Detaillösungen für Anschlüsse, Gullis, Hochzüge, Schubswellen usw. vor. Die meisten Anbieter von Dachbegrünungssystemen arbeiten mit kompetenten Beratern, die in Einzelfällen bei der Lösung von technischen Problemen behilflich sind.

Neben Fehlern bei Hochzügen und im Schichtaufbau stellt der Schutz der einzelnen Schichten während der Bauphase die größte Herausforderung dar.

Eine detaillierte Ablaufplanung befasst sich mit der zeitgerechten Materialanlieferung, der lastausgleichenden Lagerung schwerer Gegenstände und dem (vorübergehenden) Schutz der bereits eingebauten Schichten. Besonders zu erwähnen sind die Fixierung von Dämm- und Substratbestandteilen gegen Windsog und der Schutz der Dachabdichtung gegen mechanische Beschädigung.

Laut Schätzung eines Gründachherstellers liegen die Ursachen für Schäden an der Dachhaut an:

20% Planungsfehler:

Falsch dimensionierte Hochzüge und unpassender Schichtaufbau

Durchdringungen der Dachhaut wie Gullis, Hochzüge, Rauchfänge usw. liegen zu eng nebeneinander um eine fachgerechte Einbindung zu ermöglichen

50% Ausführungsmängel:

Mängel im Einbau der Materialien

Mangelhafte Verschweißung der Wurzelschutzbahn

Beschädigung der Dachhaut bei der Arbeit (Werkzeug, Schrauben, Funkenflug...)

Mangelnder Schutz der einzelnen Schichten während der Bauphase

20% Bauschäden:

Beschädigung der Dachabdichtung durch andere Gewerke (Leitern, Funkenflug...)

Unbedachte Manipulationen an der Dachabdichtung durch nachfolgende Gewerke

10% Sonstige Ursachen, wobei Schäden durch Pflanzenwurzeln vernachlässigbar sind, da es sich im Allgemeinen um Folgeschäden handelt.

6.5.2.2. Statik, Nutzung und Ökonomie

Um die Auswahl der geeignetsten Begrünungsvariante zu erleichtern werden von einigen Systemanbietern für Gründächer Übersichtstafeln mit den wichtigsten Eckdaten zusammengestellt. Durch den zunehmenden Wettbewerb sind alle Anbieter bemüht, den Anforderungen ihrer Kunden möglichst kostengünstig gerecht zu werden. Das Angebot wird zunehmend ähnlicher und kostengünstiger. Aktuelle Richtpreise sind daher am besten bei den Herstellern zu erfragen und werden in der nachfolgenden Zusammenfassung bewusst weggelassen.

Eine besonders übersichtliche Zusammenstellung findet sich in den Planungsunterlagen der Firma Optigrün.

6.5.2.2.1. Extensivbegrünung:

Extensivbegrünungen sind dünn-schichtige Aufbauten, bei denen sich die ausgewählte Vegetation weitgehend selbst erhalten kann. Eine zusätzliche Wasser- oder Nährstoffzufuhr ist nicht erforderlich. Die Pflanzen sind an die extremen Standortbedingungen angepasst und besitzen eine hohe Regenerationsfähigkeit wie Moose, Sukkulente (Dickblattgewächse), Kräuter und Gräser.

Der Wert der Begrünung besteht vor allem in der Wasserrückhaltung bei größeren Flächen und in optischer Hinsicht. Lärmdämpfung, Minderung von Lichtreflexionen und Werbeeffekte stellen im Wohnbau weitere wichtige Gründe für eine Begrünung dar.

Zur Erhaltungspflege sind ein bis zwei Kontrollgänge pro Jahr notwendig. Gehölzsämlinge müssen regelmäßig entfernt werden, da sie sonst mit ihren Wurzeln die Dachhaut beschädigen könnten.

Substratstärke: 10-15cm

Gewicht: 100-270 kg/m².

Wasserrückhaltefähigkeit: 40-60%

6.5.2.2.2. Reduzierte Extensivbegrünung:

Die Reduzierte Extensivbegrünung wird im Gegensatz zur Extensivbegrünung in geringerer Schichtstärke, ohne gesonderte Drainschicht, ausgeführt. Folglich ist die Wasser- und Nährstoffrückhaltefähigkeit und damit auch die Pflanzenvielfalt reduziert. Sie wird bei Dachflächen eingesetzt, bei denen eine Begrünung vorgeschrieben ist, die dann aber meist nur in einer Minimalvariante realisiert wird.

Substratstärke: 8 cm

Gewicht : 80-130 kg/m².

Wasserrückhaltefähigkeit: 25-35%

6.5.2.2.3. Intensive Dachbegrünung:

Das intensiv begrünte Gartendach ist eine vollwertige und voll nutzbare Grünanlage auf dem Dach. Diese Begrünungsvariante stellt im Wohnbau den Idealfall dar. Neben Dachterrassen und begrünten Tiefgaragen fallen auch Trogbegrünungen auf Balkonen und Privatterrassen unter diese Kategorie. Gepflanzt werden können Stauden, Gehölze, Rasen, im Einzelfall auch Bäume. Wartung, Pflege und Bewässerung sind wie bei herkömmlichen Gartenanlagen erforderlich.

Substratstärke: 25-100 cm

Gewicht : 320-1550 kg/m².

Wasserrückhaltefähigkeit: 60-85%.

6.5.2.2.4. Reduzierte Intensivbegrünung:

Die reduzierte Intensivbegrünung ist für Dächer geeignet, auf denen aus Gewichts- oder Kostengründen kein aufwendiges Gründach ausgeführt werden kann, aber dennoch Kleinsträucher gepflanzt werden sollen. Die Begrünung kann mit Gräsern, Stauden und Sträuchern erfolgen, die eine rasche Bodendeckung erreichen, aber nur geringe Ansprüche an die Wasser- und Nährstoffversorgung stellen. Eine besonders interessante Variante im Wohnumfeld stellen Dächer mit Kräuterbeeten und flächige Pflanzungen dar, da auch geerntet werden kann. Pflegemaßnahmen sind in geringem Umfang erforderlich, eine Zusatzbewässerung ist notwendig.

Substratstärke: 15-25 cm

Gewicht : 270-320 kg/m².

Wasserrückhaltefähigkeit: 60-75%.

6.5.2.2.5. Leichtbegrünungen:

Leichtbegrünungen stellen eine Sonderform dar. Sie werden ausgeführt, wenn statisch nur eine geringe zusätzliche Last möglich ist. Spezielle Leichtsubstrate aus Blähmaterialien (wie z.B. Blähton, Perlit) speichern bei geringer Schichthöhe eine enorme Menge an Wasser.

Substratstärke: 4 cm

Gewicht : 40 kg/m².

Wasserrückhaltefähigkeit: 25-40%.

6.5.2.3. Auswahl eines geeigneten Schichtaufbaus für die Dachbegrünung

6.5.2.3.1. Dachabdichtung und Wurzelschutz:

Die wurzelfeste Abdichtung verhindert Schäden an der Dachabdichtung durch einwachsende Pflanzenwurzeln. Sie kann in den Abdichtungsaufbau als oberste Lage integriert sein oder als separate Wurzelschutzbahn oberhalb der Abdichtung liegen. Die häufigsten Arten von Abdichtung für Gründächer sind:

6.5.2.3.1.1. Bitumenbahnen:

Bitumenbahnen werden vor Ort gebläht, sind normalerweise nicht wurzelfest und erfordern deshalb eine zusätzliche Wurzelschutzbahn.

6.5.2.3.1.2. Polymerbitumen:

Polymerbitumen mit wurzelfester Ausstattung (Kupfer, oder Radizide/Wurzelgifte).

Kunststoffbahnen (aus PVC oder Polyethylen) werden vor Ort verschweißt oder verklebt. Sie sind wurzelfest (geprüft nach FLL in Deutschland bzw. nach LDA in Österreich) und UV-beständig.



Abb. 170 Verschweißung einer wurzelfesten Abdichtung aus PVC auf einem Carport

6.5.2.3.1.3. Synthesekautschukbahnen

Synthesekautschukbahnen (aus EPDM) werden werkseits vorgefertigt und vor Ort geklebt und vulkanisiert. Sie sind wurzelfest und UV-beständig.

6.5.2.3.2. Schutz- und Trennlage:

Zum Schutz der Dachabdichtung vor mechanischer Beschädigung werden Schutz- oder Trennlagen in Form von Schutzvliesen (mind. 500g/m²), Schutzplatten, Schutzbahnen, Drainplatten, Drainmatten oder Hartschaumstoffplatten eingesetzt.



Abb. 171 Schutzvlies

6.5.2.3.3. Drainschicht:

Die Drainschicht führt überschüssiges Niederschlagswasser ab und speichert gleichzeitig pflanzenverfügbares Wasser. Die Schichtstärke kann variieren, je nach Art der gewünschten Begrünung. Drainmaterialien sind Lava, Blähschiefer und Ziegelsplitt oder Drainvliese aus Polypropylen (PP). Gebräuchlich sind auch Drainelemente aus Polyethylen (PE) und Styropor.

6.5.2.3.4. Filterschicht:

Die Filterschicht (meist Polypropylenvliese) verhindert das Verschlämmen der Drainschicht mit Feinteilen aus der Vegetationsschicht.

6.5.2.3.5. Substratschicht:

Die Wahl des Substrats und die Bemessung der Schichtstärke richten sich nach der möglichen Aufbauhöhe, der zulässigen Auflast und der geplanten Vegetation.

Substrate bestehen aus Bodengemischen, Schüttstoffen, Schüttstoffgemischen (mineralische Schüttstoffgemische mit oder ohne organischer Substanz) oder Keimsubstrat.



Abb. 172 Mineralisches Substrat einer Leichtbegrünung

6.5.2.4. Randausbildung, Randeinfassung:

Die Ränder einer zu begrünenden Fläche können angrenzende aufgehende Bauteile, Mauern, vorgefertigte Randelemente aus Faserzement, Holz, Beton, Metall, Kunststoff oder Kunststein, oder Pflanztröge sein. Auf ausreichende Wasserablaufmöglichkeiten (Dachablauf, Dachrinne) muss geachtet werden.



Abb. 173 Beispiele für Randdetails auf einem Extensivdach

Der Dachrand an aufgehenden Bauteilen muss so ausgeführt werden, dass die Abdichtung mindestens 15cm über die wasserführende Vegetationsschicht hochgezogen und mechanisch befestigt wird. Die wurzelfeste Abdichtung im Bereich der Hochzüge sollte gegen mechanische Beschädigung und gegen Witterungseinflüsse z.B. durch eine Blechverwahrung geschützt werden.



Abb. 174 Hochzüge mit ausreichender Höhe aber unzureichendem Schutz gegen mechanische Beschädigung

6.5.2.5. Brandschutz

Eine Brandgefahr auf gepflegten Gründächern besteht glücklicherweise sehr selten. An vertrockneten Pflanzenteilen oder ungepflegten Grasdächern könnten ähnlich wie in trockenen Wäldern durch weggeworfene Zigarettenstummel oder Funkenflug Schwelbrände entstehen und auf angrenzende Bauteile übergreifen.

Intensive Gründächer dagegen werden regelmäßig bewässert. Grüne Pflanzenteile stellen nur eine sehr geringe Gefahr dar.

Bei extensiv begrünten Dächern ist durch die überwiegend niedrige Bepflanzung mit Succulenten ein ausreichender Widerstand gegen Flugfeuer und strahlende Wärme gegeben, wenn:

die Erdsubstratschicht mindestens 3cm dick ist und höchstens 20% organische Bestandteile enthalten sind.

Gebäudeabschlusswände oder Brandwände in Abständen von höchstens 40m mindestens 30cm höher als das begrünte Dach sind (gemessen ab der Substratoberkante). Sofern diese Wände aus baugrundrechtlichen Bestimmungen nicht über Dach geführt werden müssen, genügt auch eine 30cm hohe Aufkantung aus nicht brennbaren Baustoffen oder ein 1m breiter Streifen aus massiven Platten oder Grobkies.

vor Öffnungen in der Dachfläche (Dachfenster, Lichtkuppeln) und vor Wänden mit Öffnungen ein mindestens 50cm breiter Streifen aus Platten oder Grobkies angeordnet wird. (Es sei denn, dass die Brüstung der Wandöffnung mehr als 80cm über Oberkante Substrat hoch ist).

ein vegetationsfreier Abstand gegenüber aufgehenden Bauteilen und Dachdurchdringungen von mindestens 50cm besteht.

6.5.3. Pflegemodul

Die gewünschte Vegetationsform aller Gründächer lässt sich auf Dauer nur durch eine fachgerechte Pflege sicherstellen. Mit der steigenden Zahl begrünter Dachflächen sind für Gründachhersteller Pflege- und Wartungsarbeiten wirtschaftlich interessant geworden. Neben der Anwuchs- und Fertigstellungspflege die auch bisher von den Ausführungsfirmen übernommen wurde, lässt sich in Deutschland eine Tendenz zu Pflegeverträgen mit Fachfirmen feststellen. In den Verträgen werden 1-3 Pflegedurchgänge auf der Basis einer Checkliste durchgeführt. Musterverträge mit sinnvollen Pflege- und Wartungsarbeiten erleichtern die Vergabe der Arbeiten.

6.5.3.1. Ver- und Entsorgung

Während bei intensiv begrünten Dächern und Trogbepflanzungen die Nachlieferung von verbrauchten Nährstoffen im Vordergrund steht, kommt bei Moos – Sedumdächern und extensiven Grasdächern der Einschränkung von Leguminosen und der mit diesen Pflanzen verbundenen Stickstoffanreicherung eine große Bedeutung zu. Voraussetzung für die richtige Zu- und Abfuhr von Nährstoffen ist die regelmäßige Kontrolle des Vegetationsbestandes und der Vergleich von Artenzusammensetzung des Bestandes mit der Zielbegrünung. Eine gefühlvolle Dosierung erforderlicher Nährstoffe können Pflanzenwachstum, Pflanzengesundheit und Vegetationszusammensetzung optimiert werden.

6.5.3.2. Regenwasser

Für die Nutzung von Regenwasser zum Gießen von Dachbegrünungen gibt es fertig entwickelte Systeme mit Solarpumpe, Feuchtfühler oder Wasserstandssensor.

Die Verwendung ist prinzipiell für Flachdächer mit Wasseranstau, Flachdächer mit leichtem Gefälle und Schrägdächer möglich. Im Osten von Österreich ist jedoch zu bedenken, dass durch den Regenwasserrückhalt der Dächer weniger Wasser zur Verfügung steht und bei langanhaltenden Trockenperioden aus der Ortswasserleitung ergänzt werden muss.

6.5.3.3. Pflanzenschutz

Extensive Dachbegrünungen sind von ihrem Charakter her dafür konzipiert, möglichst vielen Tierarten Lebensraum zu sein. Pflanzenfressende Tierarten stellen keine Bedrohung der Vegetation dar sondern eine willkommene Nutzung. Die Vegetationsvielfalt verhindert wirksam den Kahlfraß durch Überpopulationen einzelner Tierarten. Da die verwendeten Arten an die extremen Standorte angepasst sind treten auch kaum Pflanzenkrankheiten auf. Pflanzenschutzmaßnahmen sind im Allgemeinen nicht erforderlich.

Bei der intensiven Dachbegrünung wird der Gestaltung und der Nutzung häufig mehr Gewicht beigemessen als der Auswahl standortgerechter Pflanzen. In diesen Fällen kommt es gelegentlich zum Auftreten von Schädlingen und Pflanzenkrankheiten.

Eine häufige und lästige Erscheinung bei Pflanzen in Trögen stellen Dickmaulrüssler dar. Die Erwachsenen Tiere knabbern Löcher in die Blätter von Efeu, Kirschlorbeer, Flieder und anderen Gehölzen und die Larven fressen Wurzeln.

6.5.3.4. Pflegemaßnahmen

6.5.3.4.1. Erosionsschutz

Erosionsschutz kann erforderlich sein, solange der Schichtaufbau noch nicht durch Pflanzenwurzeln fixiert ist. Vorübergehende Maßnahmen zum Schutz des Schichtaufbaues vor Wind- und Wassererosion sind zum Beispiel:

Ständiges Feuchthalten des Vegetationssubstrates bei der Fertigstellungspflege,
Sichern von Saatgut, Sprossen und Substratoberfläche durch das Aufbringen eines Klebers, Überziehen mit Erosionsschutzgeweben.

Auf Extremstandorten sind darüber hinaus besondere Maßnahmen, zum Beispiel die Nassansaat oder das Verlegen von Vegetationsmatten, vorzusehen. Erosionsschutz bieten auch lagerungsstabile Substrate mit höherem Gewicht, das zusätzliche Aufbringen von Splitt oder Hartgestein als Mulchschicht, oder Pflanzenarten mit schneller und dauerhafter Flächendeckung.

6.5.3.4.2. Windsogsicherung

Besonders im Rand- und Eckbereich von Dächern kann es bei Schüttgütern zu Verwehungen kommen. Deshalb sind schon bei der Planung von Gründächern entsprechende Maßnahmen zum Schutz der Dachabdichtung und der Gründachschichten festzulegen. Als Auflast gegen abhebende Windkräfte können folgende Materialien verwendet werden:

Kiesschüttungen aus Kies 16/32mm, mindestens 5cm dick

Plattenbeläge aus Platten mind. 40x40cm

Betonformsteine

Erdaufschüttungen oder Begrünungen

6.6. Bepflanzung der wohnungseigenen Freiräume

Die Bedeutung wohnungseigener Freiräume für Gesundheit und Wohlbefinden wurde bereits ausführlich dargestellt. Besonders die Möglichkeit, den eigenen Balkon oder die Terrasse individuell, nach persönlichen Vorlieben gestalten, pflegen und nutzen zu können macht den besonderen Reiz für die Bewohner aus. Aus Sicht von Bauträgern oder Vermietern bedeuten wohnungseigene Freiflächen nicht nur höherwertige Wohnungen sondern auf die Bedürfnisse der Bewohner abgestimmtes „Grün“ dessen Anlage und Pflege praktisch nichts kostet.

Bei der Begrünung wohnungseigener Freiräume gelten, soweit es sich um Balkone und Terrassen handelt, ähnliche technische und gestalterische Kriterien wie bei der intensiven Dachbegrünung. Obwohl flächige Intensivbegrünungen bei größeren Terrassen und Balkons kostenmäßig, gestalterisch und bepflanzungstechnisch die bessere Lösung sind, werden in der Praxis überwiegend (teure) Pflanzgefäße verwendet. Ein Vorteil liegt allerdings in einer klaren Trennung von hausseitigen und privaten Belangen sowie einer doppelten Absicherung der Dachhaut gegen mechanische Beschädigung und Durchwurzelung. Hinsichtlich Nutzung und Pflanzenauswahl ergeben sich durch den privaten Charakter einige entscheidende Unterschiede zu allgemeinen Gebäudebegrünungen.

In den folgenden Kapiteln wird näher auf spezielle Gestaltungselemente eingegangen, die einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität dieser Freiräume haben.

6.6.1. Screen

Sichtschutz, Windschutz und Beschattung sind für die Aufenthaltsqualität auf Balkonen oder Terrassen genauso wichtig wie in größeren Gärten. Wo der Platz für Hecken und größere Gehölze fehlt, müssen platzsparende Begrünungsvarianten gesucht werden, die diese Funktionen erfüllen können.

6.6.1.1. Schmale Hecken

Manche Heckenpflanzen wie Liguster, lassen sich zu sehr schmalen Hecken schneiden oder eignen sich durch ihren schlanken Wuchs zur Verwendung als Sichtschutz in kleinen Freiräumen (Säulenwacholder). Da die Pflanzung meist in Trögen erfolgt, ist besonders auf die ausreichende Winterfestigkeit zu achten. (Vergleiche Pflegemodul – Intensive Dachbegrünung)

Eine besondere Variante für experimentierfreudige Balkongärtner stellt auch die Verwendung von Weidengeflechten als Sichtschutzzaun dar. Dafür werden Weidenruten in größere Pflanztröge gesteckt und ausreichend bewässert, bis die Pflanzen bewurzelt sind. Die oberirdischen Triebe können zu dekorativen Zaunelementen verflochten werden. Laufender Rückschnitt der neuen Triebe und viel Wasser sind für diese Begrünung unerlässlich.

Geeignete Weidenarten sind Salweide, Korbweide oder Purpurweide.

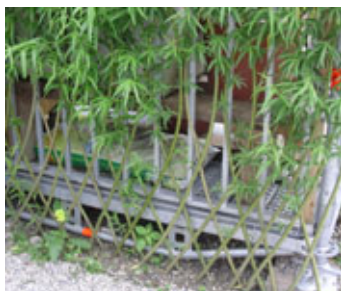


Abb. 175 Geflochtene Weidenruten als Sichtschutz

6.6.1.2. Berankte Klettergerüste und Netze

Zusätzlich zu den starkwüchsigen Kletterpflanzen, die beim Kapitel Fassadenbegrünung bereits besprochen wurden, stehen für den Privatbereich eine Reihe von schwachwüchsigeren ein- und mehrjährigen Rankpflanzen zur Verfügung, die reizvolle Gestaltungsvarianten ermöglichen. Die meisten der angeführten Pflanzen sind einfach zu kultivieren und robust. Folgende Punkte sind bei dieser Begrünungsform besonders zu beachten:

Viele Einjahrespflanzen können erst ab Mitte Mai im Freien kultiviert werden. Es dauert 1-2 Monate, bis sich die Pflanzen entwickelt haben und Sichtschutz oder Blüten bieten können.

Einjährige Kletterpflanzen mit üppigem Laub leiden besonders unter starkem Wind. Bei starker Exposition sollten Pflanzen mit robustem und feinem Laub gewählt werden.

Trockene Luft, Temperaturschwankungen und Reflexionen machen empfindlichen Kletterpflanzen besonders zu schaffen. Blattnekrosen, Spinnmilben und Blattläuse treten auf Balkonpflanzen häufig auf.

Fehlende Nützlinge wie Raubmilben, Marienkäfer, Florfliegen können käuflich erworben und auf befallenen Pflanzen ausgebracht werden um die Schädlingspopulationen zu dezimieren. (Üblicherweise werden Nützlinge für Glashauskulturen gezüchtet, ein Versuch mit diesen Tieren lohnt sich aber auch am Balkon. Vergleiche Kapitel Pflanzenschutz bei Dachbegrünungen).

Die Pflanzen brauchen eine regelmäßige, ausreichende Bewässerung. Besonders einjährige Schlingpflanzen reagieren auf Wasserstress empfindlicher als verholzende, mehrjährige Pflanzen. Allgemein gilt auch hier, dass zuviel Wasser schlechter ist als leichte Trockenheit. Besonders Staunässe in Zusammenhang mit organischen Bestandteilen im Substrat führt zu faulenden Wurzeln.

Durch das relativ geringe Gewicht der Kletterpflanzen können auch improvisierte, selbst hergestellte und kostengünstige Kletterhilfen verwendet werden, wobei es sinnvoll wäre, geeignete Montagehaken bauseits vorzugeben, um Privatpersonen die Arbeit zu erleichtern und Schäden an Geländern, Wärmedämmung oder Fassade zu vermeiden. Für die Statik ausschlaggebend sind bei dieser Begrünungsvariante das Gewicht der Kletterhilfen und die Windlast.



Abb. 176 Sichtschutz aus billigen Schilfmatten lässt sich mit einjährigen Rankern begrünen

6.6.1.3. „Hängende Gärten“

Bei überdachten Balkonen und Terrassen bietet sich auch eine Begrünung mit Hängepflanzen an. Als Pflanzgefäße eignen sich Hängeampeln, spezielle Körbe (Hanging Baskets) oder Blumenkistchen, die in Deckennähe montiert werden. In manchen Fällen können Hängepflanzen auch von begrünten Dächern wie ein Vorhang herabwachsen. Der größte Vorteil hängender Begrünungsformen ist die Platzersparnis am Boden.

Ein Nachteil könnten die etwas kompliziertere Montage der Pflanzgefäße und die schwierigere Versorgung mit Wasser sein. Zumindest das zweite Problem lässt sich durch eine Tröpfchenbewässerung optimal lösen. Ist das nicht möglich, können Gefäße mit Wasservorrat und Wasserstandsanzeiger das Gießen erleichtern. Manche Pflanzen können auch in Hydrokultur oder Seramis kultiviert werden.

Als Hängepflanzen eignen sich ein- und mehrjährige Rankpflanzen mit kleinen, robusten Blättern und geraden Trieben wie z.B. Efeu, Winterjasmin und Mottenkönig. Viele Winder und Schlinger wachsen an den eigenen, herabhängenden Trieben wieder empor, was ein ziemliches Gewirr ergeben kann. Diese Gewächse sind eher ungeeignet. Beispiele dafür sind Bohne, Knöterich oder Wisteria.

Für Hängescreens gibt es noch eine weitere interessante Alternative. Diese Pflanzen wuchern im Normalfall große Bodenflächen mittels Tochterpflanzen an Ausläufern zu. In einen Topf gepflanzt bilden sich zwar auch viele Ausläufer mit Jungpflanzen, diese können aber nicht wurzeln und werden von der Mutterpflanze versorgt. Im Laufe der Zeit entstehen richtige Kaskaden von an Ausläufer hängenden Tochterpflanzen. Beispiele dafür sind Grünsilene, Erdbeersorten und Gudelrebe.

6.6.1.4. Screens aus Riesenstauden

Für größere Terrassen und Balkons eignen sich auch raschwüchsige Riesenstauden als Sichtschutz oder Schattenspender im Sommer. Die Pflanzen treiben ab Mai aus und erreichen rasch eine Höhe von ca. 2 Metern. Voraussetzung dafür sind ein ausreichender Wurzelraum von mindestens 20 l/Stk. und gute Wasser- sowie Nährstoffversorgung. Die oberirdischen Teile frieren beim ersten Frost ab, Stängel und Fruchtstände wirken aber oft noch bis in den Winter dekorativ. Beispiele für Riesenstauden sind Riesenknöterich, Federmohn oder Chinaschilf.



Abb. 177 Federmohn eignet sich auch als Sichtschutz auf Terrassen

Einen Sonderfall dieser Variante stellen einjährig kultivierte Riesenpflanzen dar. Typische Vertreter sind Sonnenblumen, Tomaten, Rhizinus (giftig!) oder Hanf, der legal kultiviert werden kann, solange er nicht blüht.



Abb. 178 Hanfstauden und Chinaschilf als Sichtschutz

6.6.2. Solitär

Schirm, Säule, Spannungsfeld von Wirkung und Platzbedarf

Nach der Devise „Weniger ist Mehr“ ist bei manchen Situationen die Auswahl einer größeren Pflanze effektvoller als eine Ansammlung von Kistchen und Töpfen. An diese Solitärpflanzen werden dann besonders viele Anforderungen gestellt.

Das wichtigste Kriterium ist sicherlich die Eignung der gewählten Pflanze für den vorhandenen Standort. Die bereits beim Kapitel Dachbegrünung angeführten Standortfaktoren müssen auch hier berücksichtigt werden, da das die Grundvoraussetzung für dauerhafte Vitalität ist. Neben den vielen, bereits besprochenen Kletterpflanzen eignen sich als Solitäre vor allem mittelgroße Gehölze mit dekorativem Wuchs. Für die meisten Balkone handelt es sich dabei um Vertreter sonniger Pionier- oder Felsfluren mit ihren Zierformen. Für schattige und wechselhelle Plätze kommen auch Sträucher in Betracht, die gerne in oder an Rändern von Wäldern wachsen.

Ein wesentliches Auswahlkriterium stellen auch Habitus und Schnittverträglichkeit eines Solitärgehölzes dar.

Bei begrenztem Raumangebot bieten sich Säulenformen und schirmkronige Kleinbäume an, da sie im unteren Bereich wenig Platz verbrauchen und dieser für andere Zwecke zur Verfügung steht.



Abb. 179 Platane, durch Schnitt und ein Hilfsgerüst zum Schirm geformt

Säulenformen eignen sich hervorragend zur Akzentuierung von Pflanzstreifen oder als Mittel für eine rhythmische Gliederung langgestreckter Balkone oder Gänge. Beliebte Beispiele sind Säulenwacholder, von denen eine Vielfalt an Wuchsformen und Nadelschattierungen im Handel sind. Namen wie *Juniperus scopulorum*, 'Skyrocket' oder 'Blue Arrow' deuten auf die besonders schlanke Form dieser Sorten hin. Auslesen des heimischen Heidewacholders (Wacholderbeeren, Wacholderschnaps, alte Heil- und Zauberpflanze, giftig) wie die Sorten *Juniperus communis* 'Meyer', 'Hibernica', 'Compressa' sind ebenfalls brauchbar.

Das umfangreiche Sortiment geht auf die Beliebtheit der Wacholder und deren viel zu häufige Verwendung in Hausgärten zurück. Japanische Gärten und Heidegärten dienten als Vorbild für eine Gestaltung mit Nadelgehölzen, die bis zur sogenannten „Koniferitis“ führte. Diese übertriebene Liebe zu Wacholder und anderen Koniferen führte nicht zuletzt zu einer regelrechten Ächtung dieser Pflanzengattung in der Gartengestaltung und einer Reduktion des Angebotes in Baumschulen zugunsten heimischer Laubgehölze. Aus Sicht der naturnahen Gartengestaltung ist diese Entwicklung prinzipiell zu begrüßen, da einige Wacholderarten auch als Zwischenwirt von Birnengitterrost recht lästig sind. Für die Verwendung auf Extremstandorten wie sonnigen Dächern, Terrassen und Balkonen in innerstädtischen Bereichen sind die Wacholder aber eine der bestgeeignetsten Pflanzen.



Abb. 180 Manche Formgehölze eignen sich auch für Terrassen und Balkone

Für geschützte Standorte stehen noch andere Säulenformen zur Verfügung: Säuleneiben wachsen langsam und bleiben daher lange klein (bzw. sind als große Pflanzen recht teuer in der Anschaffung). Auch andere bekannte Heckenpflanzen werden als Formgehölze in kunstvoll geschnittenen Säulen, Kegeln oder Kugelsäulen im Handel angeboten. Besonders beliebt sind schraubenförmige Varianten aus *Chamaecyparis*, die in italienischen Baumschulen für den europäischen Markt produziert werden. Im Gegensatz zu Thujen, die die hohe Luftfeuchtigkeit bevorzugen, eignen sich auch einige Scheinzypressen für die Bepflanzung von privaten Balkonen und Terrassen.

Beinahe alle von Natur aus säulenförmig wachsende Laubgehölze werden für durchschnittliche Balkone oder Terrassen mit der Zeit zu groß und breit. Am ehesten kommt noch *Prunus serrulata* 'Amanogawa' eine Säulenzierkirsche in Frage, die auch tatsächlich öfter verwendet wird.

Wesentlich größer ist die Auswahl an Solitärgehölzen mit schirmförmiger Krone. Neben den oben bereits angesprochenen Formgehölzen, die durch wiederholte Schnittmaßnahmen in der passenden Größe und Kontur gehalten werden eignen sich viele bekannte Kleinbäume und Großsträucher, die ein- oder mehrstämmig gezogen werden können. An bekannten Ziergehölzen eignen sich z.B. Flieder, verschiedene Zierkirschen, Kuchenbaum, Judasbaum,

Sommerflieger, einige Ahornarten, verschiedene Crataegusarten, Goldregen oder Essigbaum besonders gut. An Wildsträuchern kommen Weißdorn, verschiedene Sorbusarten, Feldahorn, Felsenbirne, Dirndelstrauch oder Pfaffenkäppchen als attraktive, robuste und vielseitig verwendbare Solitärs in die engere Auswahl.

Darüber hinaus gibt es noch unzählige Raritäten und Gehölze, die sich für besondere Fälle eignen. Wie bei den Säulenformen besteht z.B. auch hier die Möglichkeit, durch Schnitt besonders bizarre Wuchsformen zu erhalten. Dachförmige Kronen bei Linden sind ebenso erhältlich wie malerische „Riesenbonsai“ aus Kiefern oder Feldahorn. Italienische und norddeutsche Großbaumschulen bieten eine reiche Auswahl an solchen Kunstwerken an. Der Import ist einfach, die Winterhärte der gelieferten Pflanzen stellt aber in Ostösterreich gelegentlich ein Problem dar.



Abb. 181 Aus Buchs geschnittene Figuren in einer Baumschule

Die Auswahl großer und teurer Solitärpflanzen sollte daher möglichst in einer nahegelegenen Baumschule und mit einer Beratung durch unabhängige Fachleute (Landschaftsplaner, Landschaftsgärtner) erfolgen. Die Pflanzung wird am besten durch Professionisten durchgeführt, die neben der erforderlichen Anwachspflege auch Gewährleistung bieten können.

6.6.3. Blüte, Duft und Geschmack

Bei den gesundheitlichen Aspekten der Bauwerksbegrünung wurde bereits auf die Bedeutung von Farben, Düften und Heilkräutern auf Gesundheit und Wohlbefinden hingewiesen. Farb- und Aromatherapie auf dem Balkon sind keine Utopie, sondern weitverbreitete Realität. Vergleicht man Erkenntnisse über die Wirkung bestimmter Farben oder Aromen auf Körper und Psyche, wird deutlich, dass viele Menschen instinktiv zu Pflanzen tendieren, die eine besonders positive Wirkung auf sie ausüben. Aus dem Verkaufsangebot von Blumengeschäften und Gärtnereien lässt sich relativ gut ablesen, welche Erwartungen die Mehrheit der Bevölkerung an Balkonbepflanzung stellt.

Die große Masse der Balkonpflanzen sind Dauerblüher in allen Farbschattierungen. Besonders Rot- und Orangetöne sind stark vertreten und besitzen für uns einen besonderen Reiz, da sie in der heimischen Vegetation kaum vorkommen. In Mitteleuropa überwiegen Blauviolette, weiße und gelbe Blütenfarben, da Insekten als Bestäuber angelockt werden sollen. Rotblühende Pflanzen stammen häufig aus Gegenden, in denen auch Vögel Blüten besuchen, die wie wir Menschen Rot sehen können und attraktiv (und anregend) finden.

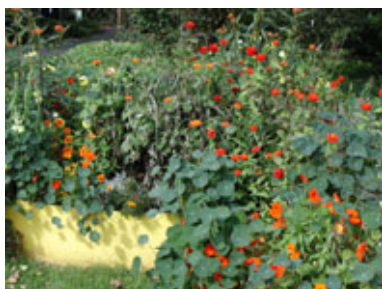


Abb. 182 Gelb-, Rot- und Orangetöne bei Blüten sind am beliebtesten

Viele dieser Balkonpflanzen stammen aus Gegenden mit mediterranem oder ariden Klima und sind eigentlich mehrjährig. Sie können an einem hellen, kühlen Platz überwintert werden. In vielen Wohnungen fehlt leider ein geeignetes Winterquartier und die Balkonpflanzen werden im Herbst samt Erde weggeworfen. Dagegen ist zwar aus Sicht der Gärtner nichts einzuwenden, da sie jedes Jahr gute Umsätze mit neuen Pflanzen und Substraten machen, aus ökologischen Überlegungen sollte aber doch an Alternativen gedacht werden.

Die folgenden Beispiele zeigen, dass Lösungsansätze auf mehreren Ebenen möglich sind.

Ein klassisches Beispiel für Balkonvegetation sind Pelargonien, deren Vorfahren auf sonnigen Felswänden Südafrikas vorkommen. Durch Züchtung konnten viele Sorten entstehen, die länger und üppiger als die Wildformen blühen. Es dominieren rot- und orangeblühende Sorten mit unterschiedlichen Wuchsformen. Auch wenn Pelargonien durch die exzessive Verwendung an bäuerlichen Holzbalkonen und durch ländliche Blumenschmuckaktionen in Verruf geraten sind, sollte man die perfekte Anpassung dieser Pflanzen an die Standorte „Fensterbrett“ und „überdachter Balkon“ nützen und wenn man Abwechslung möchte, nach weniger bekannten Sorten suchen.



Abb. 183 An einem hellen Platz blühen Pelargonien auch im Winter

Durch die räumliche Nähe von Balkonpflanzen und Bewohnern kommt auch dem Duft der verwendeten Pflanzen eine große Bedeutung zu. Um bei Pelargonien zu bleiben: während die Blütenarten eher unangenehm riechen (zur Abschreckung von Schädlingen), verfügen einige Wildformen über duftende Blätter. Das olfaktorische Spektrum reicht von Rosenaroma über Zitrone, Eukalyptus, Apfel, Minze bis zu undefinierbaren Mischungen. Ausgehend von England haben diese Duftgeranien auch bei uns viele Liebhaber und Sammler gefunden. Diese Blattpflanzen können ausgezeichnet mit anderen Arten kombiniert werden.

Fast alle Pelargonienarten und Sorten kommen mit trockenheißem Stadtklima zurecht. Sie vertragen kurze Trockenperioden und sind für eine Überdachung als Schutz gegen Regen dankbar. Viele Duftgeranien, einige Wildarten und Sorten von *Pelargonium zonale* lassen sich zur Not auch an einem geheizten Südfenster überwintern.

Eine andere Möglichkeit, Balkone dauerhaft und attraktiv zu begrünen bieten Felssteppenpflanzen. Besonders unter den südeuropäischen Vertretern finden sich viele Heil- und Gewürzkräuter. Robustes Wachstum, aromatische Inhaltsstoffe, immergrünes Laub (teilweise auch in Grau- und Weißschattierungen) und Blüten in kräftigen Farben haben diese Kräuter zu den beliebtesten Gartenpflanzen werden lassen. Über Klöster und Bauerngärten haben sie den Weg auf mitteleuropäische Balkone geschafft. Das wintermilde Stadtklima und langjährige Selektion winterharter Sorten ermöglichen eine breite Auswahl an kleinen Sträuchern und krautigen Pflanzen, die sich für die Bepflanzung von Töpfen und Kistchen hervorragend eignen und jederzeit frisch geerntet werden können.



Abb. 184 In größeren Töpfen lassen sich Kräuter, aber auch Zitronen, Kumquats oder exotische Teekräuter ziehen

Für Balkone, die von Kleinkindern benützt werden, bietet sich eine Begrünung mit essbaren Pflanzen an. Auch hier gibt es Zuchtsorten, die kulinarischen und optischen Anforderungen gerecht werden. Feuerbohnen (Achtung, roh giftig!), Tomaten oder Ziermais können aus Samen gezogen werden. Das ist billig und ermöglicht Kindern, Pflanzenwachstum von der Aussaat bis zur Ernte zu beobachten. Attraktive Ergänzungen dazu sind Dahlien, Lampionblumen oder Zierkohl, denen man ihre Abstammung von Nahrungspflanzen kaum mehr anmerkt.



Abb. 185 Passionsfrüchte und Vorfahren der Dahlien werden als Nahrungspflanzen verwendet

Als Überleitung zum nächsten Kapitel soll hier noch auf speziell für Balkone gezüchtete Obstbäumchen hingewiesen werden, die sich derzeit großer Beliebtheit erfreuen.

6.7. Fensterbeschattung mit temporärer Begrünung

Die Beschattung von westseitig orientierten Fenstern mit pflegeleichter Begrünung trägt im Sommer und Herbst wesentlich zur Verbesserung des Kleinklimas in den dahinterliegenden Räumen bei. Neben geringeren Temperaturen hinter dem Blattvorhang wirken sich vor allem das gedämpfte Licht und die optischen Eindrücke von Blättern und Blüten positiv aus.

6.7.1. Problemstellung und Ziel

Ziel der Begrünung ist es, ein Überangebot an Licht und Wärme in den Sommermonaten in Grünmasse umzuwandeln. Positive Nebeneffekte dabei sind neben Kühlung, Beschattung und Staubbinding reizvolle oder duftende Blüten oder Früchte.

Auf den ersten Blick scheinen dafür einjährig kultivierte Kletterpflanzen besonders geeignet zu sein. Wie bereits im Kapitel Balkonbegrünung ausführlich beschrieben, liegt ein Problem bei der Ansaat von Annuellen in der langen Entwicklungszeit. Bei Wicken, Winden oder Glockenrebe ist erst ab Mitte Juli mit einer Schattierung zu rechnen. Schafft man es, während der Sommerferien ständig ausreichend zu gießen, erreichen die Pflanzen im Spätsommer ihr Entwicklungsoptimum und blühen dann bis zum ersten Frost.

Eine mögliche Alternative zur preiswerten Ansaat ist der Kauf von vorgezogenen Kletterpflanzen, die bereits eine brauchbare Größe haben. Eine Weitere Möglichkeit besteht in der Verwendung von Arten und Sorten, die sich im Zimmer überwintern lassen und nach einem Rückschnitt im Herbst im Mai bereits wieder eine ausreichende Blattmasse entwickelt haben.



Abb. 186 Schwarzäugige Susanne und Prunkwinde im Handel (Mitte Mai)

Bei großlaubigen Kletterpflanzen wie Kapuzinerkresse und Zierkürbis ist der Erfolg zusätzlich abhängig von einem ausreichend dimensionierten Wurzelraum (großer Topf), richtiger Düngung und einer geschützten Lage mit wenig Wind, der die Blätter zerstören würde.

Aus Sicht der Pflanzen besteht das größte Problem im ständigen Wasserstress. Durch die erwünschte große Laubmasse werden bevorzugt Pflanzen ausgewählt, die eher nicht für einen heißen, hellen Standort mit trockener Luft (Wüstenklima) geeignet sind. Zusammen mit unregelmäßiger Wasserversorgung durch manuelles Wässern und ungeeignete Substrate ergibt sich für die Gewächse ein Dauerstress, der sie besonders anfällig für „Schädlinge“ und Krankheiten macht.

Eine wesentliche Verbesserung kann durch die Verwendung von möglichst großzügigen Pflanzgefäßen, wasserspeichernden Substraten (Intensiv – Dachsubstrat, Erden ohne Torf aber mit Tonanteil), einer Anstau- oder automatischen Tropfbewässerung und natürlich der Auswahl geeigneter Pflanzen erreicht werden.

Weitere Voraussetzungen für den Gedeih von Fensterbeschattern sind passende Kletterhilfen. Wie bei der Fassadenbegrünung bevorzugen Winder senkrechte Stäbe oder Drähte, während Ranker und Spreizklimmer an Gittern oder Netzen besser wachsen.

Der Schutz vor überhitzten Bauteilen wie Fensterbleche, oder scharfen Kanten sind ebenso wichtig wie die sorgfältige Befestigung von jungen, losen Trieben.

Eine völlig andere Strategie zur Schaffung eines grünen Vorhanges ist die Verwendung von Hängepflanzen (siehe Balkonbegrünung – Screens) oder die Auswahl von besonders großwüchsigen Gräsern und Stauden. Auch die Pflanzung von Weiden, Rosen und anderen Gehölzen ist einen Versuch wert. Dafür sind im Allgemeinen jedoch etwas großzügigere Pflanztröge erforderlich.

6.7.2. Pflanzgefäße, Rankgerüst, Befestigung

Für die Gestaltung bzw. Auswahl von Pflanzgefäßen gilt: je größer der Wurzelraum, desto besser für die Pflanze. Leider steht dem meist eine Reihe von finanziellen und gestalterischen Argumenten gegenüber.



Abb. 187 Manchmal dauert es etwas länger bis Bepflanzung und Trog im richtigen Verhältnis zueinander stehen

Neben den üblichen Blumenkistchen, die sich auf Fensterbrettern auch relativ einfach befestigen und gießen lassen, gibt es eine Reihe von anderen Möglichkeiten, Wurzelraum für Pflanzen zu schaffen.

Pflanztaschen aus Kunststoffgewebe werden gelegentlich in Baumschulen verwendet. Sie sind wasserdurchlässig und nur für Stellen geeignet, wo die darunterliegende Fassade nicht verschmutzt werden kann. Der große Vorteil der Taschen liegt im geringen Gewicht, der anpassbaren Form und der platzsparenden Aufbewahrung zwischen dem Gebrauch.

Pflanztaschen aus (Teich)folie, die nach Bedarf geformt und zusammengeschweißt werden können eignen sich als Low-Budget – Lösung. Sie können leicht an Haken montiert werden. Eine Sonderform stellen bepflanzbare Duschvorhänge dar, die abwechselnd aus Erd- und Wasservorrattaschen mit Gießventil bestehen.

Da sich viele Pflanzen auch in Hydrokultur ziehen lassen, ist die Verwendung von Flaschen, rohrartigen Gebilden und Säcken, die Nährlösung enthalten zu überlegen. Für diese Begrünungsform besonders geeignet sind Weiden(ruten), Sumpfpflanzen wie Cyperngras, Papyrus, Grünstilbe oder Tradeskantien. Ein Versuch mit Schilf wäre interessant.

In Anlehnung an ein Gartenexperiment wären auch mit Kokosfaser umwickelte Tropfschläuche denkbar, die mit verschiedenen Saatkörnern „gespickt“ werden. (bei dem Gartenexperiment bestand das Problem in der ungleichmäßigen Wasserversorgung. Einige Schlauchabschnitte waren vertrocknet, andere tropften stark. Die Pflanzen waren recht unterschiedlich entwickelt.



Abb. 188 Begrünte Tropfschläuche an einem Netz

Ein weiterer Denkansatz wäre ein Vorhang aus dünnem Bauvlies mit aufgeschweißten Pflantaschen. Ininigem Abstand zu Fenster und Fassade montiert, könnten alle Taschen individuell mit kleineren Blatt- und Blütenpflanzen besetzt werden. Von einem Tropfschlauch am oberen Ende kann das Wasser über die Saugwirkung des Vlieses an die Pflanzen weitergegeben werden. Vorteil: zusätzliche Wasserverdunstung durch das Vlies. Nachteil: das Vlies kann stark veralgen und unansehnlich werden.



Abb. 189 Vlies mit aufgeschweißten Pflantaschen für Fassadenbegrünung oder als Pflanzenvorhang

6.8. Zeit/Entscheidungsplan, Pflanzlisten

Für alle dargestellten Formen der Bauwerksbegrünung findet sich eine umfassende Zeit und Entscheidungsmatrix im Anhang. Es wurde versucht, alle erforderlichen Überlegungen darzustellen und die erforderlichen Entscheidungen dem Zeitplan nach Architektenplanungsfortschritt (Phasen Vorentwurf, Entwurf, Polierplan, Detailplan) zuzuordnen. Darüber hinaus finden sich im Anhang für alle Formen der Bauwerksbegrünung entsprechende Pflanzlisten.

7. Luftfeuchtigkeit/ Komforthandbuch Teil 3

Damit sich Menschen in Innenräumen gesund und behaglich aufhalten können, muss die Raumluft konditioniert werden. Dabei ist die Luftfeuchtigkeit neben der Temperatur und dem Schadstoffgehalt der Luft einer der wesentlichen Parameter.

Seit die Ansprüche an das Energiesparen und den Wohnkomfort im Bauwesen im letzten Viertel des vergangenen Jahrhunderts so stark gestiegen sind, ist die Luftfeuchtigkeit ein Thema, das völlig kontrovers und z.T. mit sehr wenig fundiertem Hintergrundwissen diskutiert wird. Viele Fehler sind im Bauwesen in dieser Zeit in Bezug auf den Feuchtehaushalt eines Gebäudes gemacht worden, viele Mängel und Schäden waren die Folge. Wesentlich ist, dass hier sowohl mit dem Zuviel als auch dem Zuwenig an Feuchtigkeit gekämpft wird und dass es schwierig scheint, die goldene Mitte zu erreichen.

Mit der Passivhaustechnologie ist nun erstmals eine Technologie entwickelt worden, mit der theoretisch alle Rahmenbedingungen gegeben sind für eine Raumluftfeuchtigkeit, die sowohl den physiologischen Bedürfnissen des Menschen als auch der Schadensfreiheit des Gebäudes entspricht.

Im folgenden Kapitel möchten wir versuchen, die physikalischen Grundlagen zu beleuchten, die für das Verständnis von ganz besonderer Bedeutung sind, die oberen und unteren Grenzen festlegen, die für den Menschen sinnvoll erscheinen, die Zusammenhänge zwischen den Luftparametern Temperatur, Feuchte und Schadstoffe erläutern, die möglichen Auswirkungen auf umgebende Bauteile darstellen. Darüber hinaus zeigen wir, wie die Feuchtigkeit in das Gebäude gelangt und wieder hinaus, wie ein modernes Feuchtemanagement ausschauen könnte, und wie die Wechselbeziehungen zu den im Passivhaus verwendeten haustechnischen Systemen aussehen.

Ein spezielles Unterkapitel mit Simulation widmen wir der Befeuchtung durch Pflanzen.

7.1. Grundbegriffe, generelle Zusammenhänge

7.1.1. physikalische Grundlagen

Als Grundlage für die Thematik Luftfeuchtigkeit ist es unbedingt erforderlich Grundbegriffe zu kennen und Zusammenhänge zu beleuchten.

7.1.1.1. relative Luftfeuchtigkeit

Die **relative Luftfeuchtigkeit** (Formelzeichen: ϕ , f , U oder rF ; nicht verbindlich festgelegt) ist das prozentuale Verhältnis zwischen der momentanen Luftfeuchtigkeit und der Feuchtigkeit, die die Luft unter den gegebenen Umständen maximal aufnehmen könnte.

Die relative Luftfeuchtigkeit ϕ beschreibt also das bei einer gegebenen Lufttemperatur auftretende Verhältnis der tatsächlichen Sättigung der Luft mit Wasserdampf zur maximal möglichen Sättigung. Die relative Luftfeuchtigkeit ϕ wird in Prozent [%] angegeben und steht also für den relativen Sättigungsgrad des Wasserdampfs.

$$\phi = \frac{\text{tatsächl. Wasserdampfgehalt} \times 100}{\text{max. möglicher Wasserdampfgehalt}} [\%]$$

Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50% enthält die Luft nur die Hälfte der Wasserdampfmenge, die sie bei der entsprechenden Temperatur maximal aufnehmen könnte.

Bei 100% relativer Luftfeuchtigkeit ist die Luft vollständig mit Wasserdampf gesättigt.

Wird der Sättigungsgrad von 100 % überschritten, so schlägt sich die überschüssige Feuchtigkeit als Kondenswasser bzw. Nebel nieder.

Mit steigender Temperatur nimmt die zur Sättigung benötigte Wasserdampfmenge zu. Das hat zur Folge, dass die relative Luftfeuchtigkeit eines gegebenen Luftvolumens bei

Erwärmung abnimmt. Da sich also die maximale Feuchte mit der Temperatur ändert ist hier die Angabe der Temperatur für die Vergleichbarkeit der Werte zwingend notwendig. Die Angabe 50 % rel. Luftfeuchtigkeit sagt noch nichts darüber aus, wie viel Gramm Wasser tatsächlich in der Luft vorhanden sind. Die Unterschiede dabei sind enorm. So zeigt sich beispielsweise, dass in einer als trocken erscheinenden Wüste mit einer Lufttemperatur von 34,4 °C und einer relativen Luftfeuchte von 20% insgesamt 7,6 Gramm Wasserdampf in einem Kubikmeter Luft enthalten sind, was bei einer Lufttemperatur von 6,8 °C einer relativen Luftfeuchte von 100% entspricht und somit zur Kondensation führen würde.

Mit anderen Worten: wird die Außenluft an einem feuchten, nebligen Novembertag (mit ca. 7°C und annähernd 100% Luftfeuchtigkeit) in einen Raum geleitet und dort erwärmt, so nimmt die rel. Feuchtigkeit der Luft kontinuierlich ab, bis sie bei ca. 34°C wüstenähnliche Trockenheit mit 20 % erreichen würde.

Man kann die relative Luftfeuchtigkeit mit folgenden Formeln berechnen:

$$\varphi = \frac{e}{E} \cdot 100 \% \approx \frac{\mu}{\mu_s} \cdot 100 \% \approx \frac{\rho_w}{\rho_{w,max}} \cdot 100 \% \approx \frac{s}{S} \cdot 100 \%$$

Die einzelnen Formelzeichen stehen für folgende Größen:

e – Dampfdruck

E – Sättigungsdampfdruck

ρ_w – absolute Luftfeuchtigkeit

$\rho_{w,max}$ – maximale absolute Luftfeuchtigkeit

s – spezifische Luftfeuchtigkeit

S – Sättigungsfeuchte

μ – Mischungsverhältnis

μ_w – Mischungsverhältnis bei Sättigung

Bei einer nichtprozentualen Angabe, also im Wertebereich 0 bis 1, spricht man vom **Sättigungsverhältnis**.

7.1.1.2. absolute Luftfeuchtigkeit

Die **absolute Luftfeuchtigkeit**, auch **Wasserdampfdichte** oder kurz **Dampfdichte** (Formelzeichen: ρ_w , ρ_d , d oder a ; nicht verbindlich festgelegt), ist die Masse des Wasserdampfes in einem bestimmten Luftvolumen, also dessen Dichte beziehungsweise Konzentration.

Sie beschreibt also die Gesamtmenge von Wasserdampf in einem definierten Luftvolumen und wird üblicherweise in Gramm Wasser pro Kubikmeter Luft angegeben. Nach oben begrenzt wird sie durch die **maximale Feuchte** $\rho_{w,max}$, die während einer Sättigung herrscht (zugehörige Formeln und Werte siehe dort). Die absolute Luftfeuchtigkeit ist aufgrund der Änderung des Volumens stark temperaturabhängig und ohne dessen Angabe nicht mit Werten in anderen Temperaturbereichen vergleichbar. Außerdem variiert sie mit der Höhe, da sich mit dieser der Luftdruck und damit auch das Volumen eines gegebenen Luftpaketes ändert. Die absolute Luftfeuchtigkeit hat also keine konservative Eigenschaft in der Vertikale und ändert sich daher auch bei Auf- und Abwärtsbewegungen des Luftpaketes (Konvektion). Man bezeichnet dies auch als Verschiebungsvarianz oder Instationarität. Dieser Effekt verschwindet jedoch aufgrund der druckunabhängigen Sättigungsmenge mit einer zunehmenden Annäherung an die maximale Feuchte.

Die absolute Luftfeuchtigkeit kann mittels folgender Formeln berechnet werden, wobei sich der erste Term durch die Umstellung der Zustandsgleichung idealer Gase ergibt:

$$\rho_w = \frac{e}{R_w \cdot T} = \frac{m_{\text{Wasserdampf}}}{V_{\text{gesamt}}}$$

Die einzelnen Formelzeichen stehen für folgende Größen:

e – Dampfdruck

R_w – individuelle Gaskonstante des Wassers = 461,52 J/(kg K)

T – Temperatur

$m_{\text{Wasserdampf}}$ – Masse des Wasserdampfs innerhalb des Luftpakets

V_{gesamt} – Gesamtvolumen der feuchten Luft

7.1.1.3. Zusammenhang zwischen absoluter und relativer Luftfeuchtigkeit

Durch die Kombination verschiedener Gleichungen erhält man eine Möglichkeit zur Umrechnung der relativen in die absolute Luftfeuchtigkeit auf Basis der Temperatur (t - Temperatur in °C; T - Temperatur in Kelvin):

$$\rho_w = \frac{E_0}{R_w} \cdot \frac{\varphi}{T} \cdot E(t) \quad \text{mit} \quad \frac{E_0}{R_w} = 1324,34 \frac{\text{g} \cdot \text{K}}{\text{m}^3}$$

Die Zusammenhänge zwischen absoluter und relativer Luftfeuchtigkeit können in dem folgenden Diagramm (Mollier h x Diagramm) abgelesen werden.

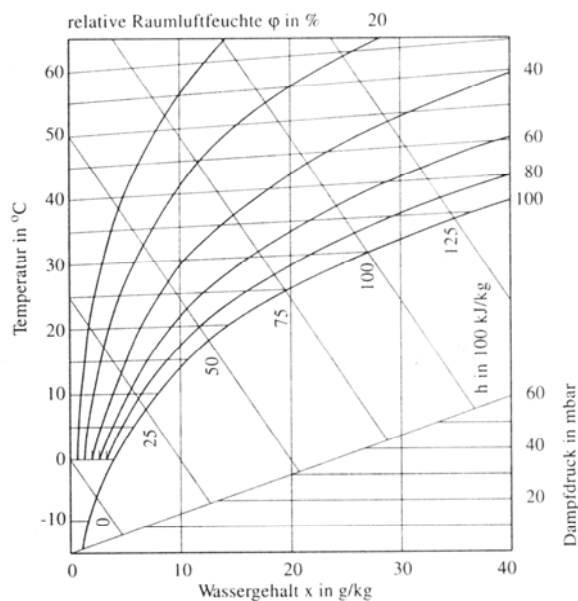


Abb. 190

Horizontal aufgetragen ist der Wassergehalt der Luft in g Wasser/ kg Luft. (Die Luft wird mit zunehmender Temperatur leichter, aber grob vereinfacht wiegt ein m³ Luft in den für uns thermisch interessanten Bereichen etwas mehr als 1 kg). Vertikal ist die Temperatur in °C aufgetragen, die Kurven beschreiben Punkte gleicher relativer Luftfeuchtigkeit. Hier sieht man, dass Luft, mit einer relativen Feuchtigkeit von 50% bei -8°C, nur 1g Wasser/kg Luft enthält (1m³ Luft hat bei dieser Temperatur und rel. Feuchte ca. 1,25 kg/m³) während sie, mit derselben relativen Feuchtigkeit und 22,5° Celsius, 9g Wasser/kg Luft enthält (1m³ Luft hat bei dieser Temperatur und rel. Feuchte ca. 1,11 kg/m³)

Umgekehrt gilt, und dies ist für Innenräume während der Heizperiode meist relevant, dass Außenluft von -5°C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von 80% wenn sie während des Lüftens oder durch eine mechanische Lüftungsanlage in den Aufenthaltsraum gebracht und hierbei erwärmt wird, durch die wesentlich höhere Wasserdampfaufnahmefähigkeit der Luft bei

höherer Temperatur rapide an relativer Luftfeuchtigkeit verliert und bei 21°C nur mehr eine relative Luftfeuchtigkeit von ca. 12% besitzt.

7.1.2. Grenzwerte für die Luftfeuchtigkeit in Wohnräumen

7.1.2.1. physiologische Grundlagen

Besonders von Seiten der befragten Mediziner wird angegeben, dass medizinische Forschung und Erkenntnisse in diesem Bereich noch viele Fragen offen lassen.

Im Bereich der Humanmedizin wird üblicherweise eine relative Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft von 45–55 % empfohlen. Wird dieser Wert jedoch oft unterschritten, kann das zu einer verminderten Atemleistung und einer Beeinträchtigung der Haut bzw. Schleimhaut führen. Dies ist besonders im Winter der Fall.

Prof. Dr. med. Dr. phil. nat. H. Eyer, Max von Pettenkofer Institut für Hygiene und Mikrobiologie der Universität München geht von einer physiologischen Forderung von **50% relativer Luftfeuchtigkeit** für Innenräume aus.

Einige HNO Ärzte sind der Meinung, dass der normalen Luftfeuchtigkeit, als bester Prophylaxe gegen Erkrankungen der Luftwege, zu wenig Bedeutung beigemessen wird. Die optimale relative Luftfeuchtigkeit für diese Prophylaxe liegt zwischen 50% und 60%.

7.1.2.1.1. Luftbefeuchtung bei der Atmung

Die Zellauskleidung unserer Atemwege besitzt eine Größe von über 100m², der bei der Atmung stattfindende Luftwechsel erfolgt rund 1000mal in der Stunde, bei jedem Atemzug ca. 0,5l, die Funktionstüchtigkeit des Epithelbelages ist von großer gesundheitlicher Bedeutung.

Die Expirationstemperatur ist eine Funktion der Lufttemperatur (Größenordnung 30°C bis 35°C), die Ausatemungsluft ist feuchte gesättigt und enthält daher pro Minute im Durchschnitt etwa 0,25g Wasser. Neben der Wärmeabgabe dient sie der physiologischen Feuchterhaltung der Schleimhaut unserer oberen Atemwege.

Da der absolute Gehalt an Wasser in der eingeatmeten Luft je nach Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Umgebung sehr verschieden ist, der absolute Gehalt der Ausatemungsluft bei 30°C bis 35°C und Feuchtesättigung nicht so stark differiert, muss der Körper je nach Umgebungsbedingungen der Luft unterschiedlich viel Feuchtigkeit zuführen.

7.1.2.1.1.1. Atmung in kalter Luft

Kalte Luft enthält wenig absolute Feuchte, die geforderte Befeuchtungsleistung ist hier sehr hoch, trotzdem wird ein Spaziergang an klaren Frosttagen als angenehm empfunden.

Dies hat folgende Ursache:

Kalte Luft erweitert die Blutkapillaren der Schleimhäute in den oberen Atemwegen und regt so zu stärkerer Flüssigkeitsabsonderung an. Durch die verbesserte kapillare Durchblutung können die Epithelbeläge der oberen Atemwege hinreichend feucht gehalten werden, obwohl der geringe absolute Feuchtegehalt der eingeatmeten Luft eine maximale Befeuchtung und Erwärmung erfordert.

7.1.2.1.1.2. Atmung in warmer Luft

In warmer und trockener Luft fehlt diese reflektorisch zustande gekommene Schleimhautbefeuchtung. Eine vermehrte Schleimhautsekretion bleibt aus. In warmer Luft mit geringer rel. Luftfeuchtigkeit kann das Sekret der Schleimhaut eintrocknen, die Fließbändeneigenschaften des Flimmerepithels werden ebenfalls beeinträchtigt und dadurch die mukoziliäre Reinigung gestört.

Die unspezifische Immunabwehr ist herabgesetzt, die Anfälligkeit für Infektionen erhöht sich.

Eine erhöhte Luftfeuchtigkeit ist für die Atmung förderlich, da der Sauerstoff über die Alveolen dann leichter in die Blutbahn gelangt.

7.1.2.1.2. Haut und Schleimhaut

Die Haut benötigt eine hohe Luftfeuchte, um nicht auszutrocknen, da diese eng mit der Hautfeuchte gekoppelt ist. Besonders Schleimhäute sind hierfür anfällig, da sie nur über einen geringen Verdunstungsschutz verfügen und auf ihre hohe Feuchte zur Erhaltung ihrer Funktionen angewiesen sind. So kann eine geringe Feuchte der Nasenschleimhaut ein erhöhtes Auftreten von Nasenbluten zur Folge haben. Generell wird dabei auch die Immunabwehr der Haut geschwächt (erhöhtes Erkältungsrisiko) und deren Fähigkeit zum Stoffaustausch herabgesetzt, wovon besonders die Mundschleimhaut betroffen ist. Auch die Anfälligkeit für Hautreizungen bzw. -rötungen oder gar Hautentzündungen wird durch eine geringe Luftfeuchtigkeit erhöht.

7.1.2.1.3. Regulation der Körpertemperatur bei schwülen Konditionen

Eine hohe relative Luftfeuchte bei hoher Temperatur behindert hingegen die Regulation der Körpertemperatur durch das Schwitzen und wird daher schnell als schwül empfunden. Trotz relativ gesehen höherer Temperaturen, können daher sehr heiße Wüsten oft wesentlich leichter durch den Organismus verkraftet werden (vorausgesetzt er leidet nicht unter Austrocknung) als Regenwälder mit einer hohen Luftfeuchte und vergleichsweise gemäßigten Temperaturen.

Generell können Zustände anderer Klimata vermutlich nicht einfach auf Mitteleuropa übertragen werden, generell ist die Schwüle in unseren Breiten im Jahresdurchschnitt in Innenräumen kein übergeordnetes Problem. Im Großen und Ganzen wird eine Luftfeuchtigkeit von 45-55 % als sinnvoller Richtwert dienen können, wobei im Winter aus physiologischer Sicht eher die Obergrenze, im Sommer in Hinblick auf die Verminderung von schwüle eher die Untergrenze anstrebenswert ist.

7.1.2.2. sekundäre Zusammenhänge in Innenräumen

neben den direkten physiologischen Auswirkungen der Luftfeuchtigkeit für den Menschen, gibt es eine Reihe anderer Faktoren, die sich sekundär auf Gesundheit oder Behaglichkeit des Innenraumklimas auswirken.

7.1.2.2.1. Elektrostatische Aufladung

Die elektrostatische Aufladung steigt unter 40% stark an. Funken, die bei Entladungen entstehen, können integrierte Schaltkreise von Computern stören.

7.1.2.2.2. Elastizität

Bei abnehmender Luftfeuchtigkeit nimmt auch die Elastizität von Materialien und Fasern ab. Haar und Haut werden spröde, dies gilt für Möbel und Teppiche gleichermaßen, als optimale Konservierungskondition für ihre Exponate nennen z.B. Museen bei Holz 55 – 60%, bei Leinwand 50 – 55%.

In den meisten Museen konserviert man generell bei 55%

7.1.2.2.3. Schimmelbildung

Die Schimmelbildung hängt mit der Luftfeuchtigkeit nur insoweit zusammen als bei hoher Luftfeuchtigkeit die Gefahr der Kondensation an Bauteilen infolge mangelnder Wärmedämmung oder Wärmebrücken erhöht ist, und die Trockenzeit für durchfeuchtete Materialien erhöht wird. Für Schimmelpilzwachstum sind bei zusammentreffen ungünstiger Randbedingungen eine tägliche über 12 Stunden währende und mindestens 5 Tage anhaltende Überschreitung der relativen Luftfeuchte an der Bauteiloberfläche von 80% erforderlich. Gerade diese Probleme gibt es im Passivhaus eigentlich nicht mehr.

7.1.2.2.4. Milbenwachstum

Zu den häufigsten Allergien auslösenden Substanzen im Hausstaub (der aber natürlich auch noch viele andere wie Schimmelpilzsporen, Tierhaare und -schuppen, Speisereste, Bakterien, Überreste und Ausscheidungen anderer Insekten enthält) zählen die Kotballen der Hausstaubmilben.

Milben sind Spinnentiere und so winzig, dass sie mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen sind. Sie sind natürlicher Bestandteil des Ökosystems fast jeden Haushaltes, also kein Anzeichen für mangelnde Hygiene oder Sauberkeit.

Der minimale Wassergehalt der Luft, bei der Hausstaubmilben noch lebens- und vermehrungsfähig sind, beträgt 7g Wasser/kg Luft.

Hausstaubmilben sind lichtscheu. Zur ihrer Vermehrung sind Temperaturen um 20 bis 25°C, eine relative Luftfeuchtigkeit von 60 bis 80%, das Vorkommen menschlicher und tierischer Hautschuppen und eine gewisse Zahl von Schimmelpilzen erforderlich.

Milben sind sie auf die relativ hohe Luftfeuchtigkeit angewiesen weil sie nicht trinken können, bei niedrigerer Luftfeuchtigkeit werden sie inaktiv.

Trotzdem können die allergischen Beschwerden gerade bei Absenken der Luftfeuchtigkeit (eine vorausgehende Milbenbelastung vorausgesetzt) ihren Höhepunkt erreichen, weil die Kotbällchen austrocknen, zerfallen und als Feinstaub aufgewirbelt und mit der Atemluft inhaled werden. Bei einem erneuten Anstieg der Luftfeuchtigkeit erwachen die Milben wieder zum Leben.

Die Empfehlungen die Luftfeuchtigkeit betreffend lauten hier meistens: unter 50%

7.1.2.2.5. Gerüche

Gerüche werden bei steigender Luftfeuchtigkeit intensiver wahrgenommen, dies betrifft vor allem Feuchtigkeitsbereiche ab 55% und kann in Wohnungen durchaus relevant sein.

7.1.2.3. Richtwerte aus Literatur und Normen im Bauwesen

Bei der Grundlagenrecherche über Grundlagen für die Luftfeuchtigkeit ist auffallend, dass die Frage nach der Festlegung einer optimalen Luftfeuchtigkeit für Menschen in Innenräumen unbeantwortet bleibt. Über die verschiedenen Auswirkungen der Luftfeuchtigkeit auf die Behaglichkeit und Gesundheit des Menschen besteht nach wie vor ein Wissensdefizit.

7.1.2.3.1. Angaben aus Normen:

ÖNORM H6000 – Teil 3 gibt Richtwerte für Räume mit mechanischer Lüftung und Feuchtigkeitsregelung:

- obere Grenze 11,5 g/kg absolute Feuchte oder 65% relative Feuchte
- untere Grenze 6,5 g/kg absolute Feuchte oder 35% relative Feuchte

DIN 1946 – Teil 2

- obere Grenze 11,5 g/kg absolute Feuchte oder 65% relative Feuchte

untere Grenze 30% relative Feuchte unabhängig von der Raumtemperatur

7.1.2.3.2. Angaben seitens anderer Institutionen:

Der 'Wegweiser für eine gesunde Raumluft' herausgegeben vom Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft in Kooperation mit dem IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie (www.umweltnet.at) gibt folgende Werte für den idealen Raumluftzustand an: 40% bis 60% relative Luftfeuchtigkeit.

In der Klimatechnik wird 35% als untere Grenze und 70% als obere Grenze angenommen (Quelle Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Recknagel et al., 2000)

Univ. Prof. i.R. Dipl.-Ing. Dr.techn. Erich Panzhauser, TU Wien, Institut für Bauphysik - verlangt als Untergrenze 35%, **50% gelten lt. Panzhauser als Mittelwert** im Vorzugsbereich der relativen Luftfeuchtigkeit. (Wohnhabitat, s. lit.)

In bereits gebauten Wohnhäusern mit kontrollierter Lüftung ist eine häufige Beschwerde jene über zu geringe Luftfeuchtigkeit im Winter.

Bei der Fülle der Aussagen die von öffentlichen oder privaten Institutionen, Vereinen, Verbänden im Bereich des Bauens, Wohnens, Energiesparens, und Lüftens zum Thema Luftfeuchtigkeit getroffen werden können im wesentlichen 4 Gruppen unterschieden werden:

Jene, die Erfahrungen im konventionellen Wohnbau haben und eher eine private Zielgruppe ansprechen: hier überwiegt deutlich die Sorge über zu hohe innere Feuchtelasten, ungenügende Lüftung, Schimmelbildung, Bauschäden. Angaben über die innere Feuchteproduktion werden eher hoch angesetzt, Empfehlungen für rel. Luftfeuchtigkeit eher niedrig. (40 – 50%)

Jene, die Erfahrungen im Bürobau mit Klimatisierung haben und eher spezielle Berufsgruppen oder Planer ansprechen. Hier wird einer deutlich höheren rel. Luftfeuchtigkeit der Vorzug gegeben (50 – 65%)

Jene, die aus dem Bereich des ökologischen Bauens kommen. Hier wird meist ein Bereich von 40 – 60% empfohlen.

Jene, die aus dem Bereich des innovativen Bauens kommen und mechanische Lüftung der Räume mit Wärmerückgewinnung voraussetzen. Hier wird die Frage für den Winterfall eher an den Rand gedrängt, wenn sie überhaupt vorkommt werden hier nur die Untergrenzen betrachtet und hierbei die Normuntergrenzen von 30% als durchaus akzeptabel angesehen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Aussagen kontrovers sind und sich selten auf physiologische Erfordernisse des Menschen beziehen.

Die vorgebrachten Begründungen für die angeführten Werte stellen entweder Behaglichkeitsuntersuchungen in den Vordergrund oder Sekundärererscheinungen wie z. B. die Schimmelbildung.

7.1.2.4. Bewertung durch die Autoren

Häufigste Argumente zugunsten trockener Raumluft im Winter sind zum einen die Milbenproblematik, zum zweiten die Vorbeugung von Schimmelbildung, zum dritten die Feststellung, dass das Empfinden von trockener Luft hauptsächlich auf vermehrte Aufwirbelung von Staub durch Konvektion und auch verschwelender Staub durch hohe Oberflächentemperaturen von Radiatoren, etc. zurückzuführen sei und zum vierten der Vergleich mit der wohltuende Wirkung eines Winterspazierganges in kalter und trockener Luft.

Milben aber sind natürlicher Bestandteil des Ökosystems fast jeden Haushaltes und auch die trockenste Raumluft kann nicht verhindern, dass die Milben unter den Bettdecken durch die Schläfer optimale Bedingungen vorfinden: warme Temperatur und hohe Luftfeuchtigkeit über 60%, menschliche Hautschuppen und eventuell ein paar Schimmelpilze. Bei Luftfeuchtigkeiten um 50% gibt es nicht mehr Milben, aber der allergieauslösende Milbenkot zerfällt nicht zu Feinststaub wird nicht so leicht eingeatmet, die Allergiebelastung ist geringer.

Die Schimmelproblematik ist mit der Passivhausbauweise behoben, es kommt selbst unter ungünstigsten Umständen (richtige Detailausbildung vorausgesetzt) nicht mehr zu Bauteiloberflächentemperaturen unter 15° und damit selbst bei Luftfeuchtigkeiten um 60% nicht mehr zu Schimmel.

Der Vergleich mit dem Winterspaziergang ist nicht korrekt, da die in kalter Luft reflektorisch zustande gekommene Schleimhautbefeuchtung in warmer Luft ausbleibt und das Sekret der Schleimhaut daher eintrocknen kann.

Die Staubminderung im Passivhaus bedeutet sicherlich einen Vorteil, in staubfreier Luft wird Trockenheit weniger stark bemerkt.

Haushalte mit hoher Belegung und Personenanwesenheit produzieren jedoch durch Abrieb in der Benutzung der Gegenstände ständig Staub, und die Zeit oder das Geld, das für die Reinigung der Wohnung aufgewendet werden kann vermindert sich üblicherweise mit steigender Haushaltsgröße.

Was zumeist vergessen wird ist die Tatsache, dass alle Materialien bei sinkender Luftfeuchtigkeit spröde werden, dies gilt für Haut und Haare ebenso wie für die Möbel.

Aus unserer Sicht sind daher die Argumente Milben, Schimmel, Winterspaziergang, Staubbefreiheit nicht wirklich stichhaltig.

Übrig bleiben daher die Argumente gegen trockene Raumluft, wie das Austrocknen der Schleimhäute, die Alterung und Versprödung von Haut, Haaren und Möbeln und mit der Trockenheit zunehmende elektrostatische Aufladung.

Außerdem geht aus den unter Kap. 2 dargestellten Untersuchungen hervor, dass Passivhausbewohner in der Regel die Raumtemperatur im Winter niedriger einschätzen als sie tatsächlich ist, was u.U. mit den niedrigen Luftfeuchtigkeiten zusammen hängen könnte. Räume mit niedriger Luftfeuchte müssen höher temperiert werden als feuchtere um gleiches Temperaturempfinden hervorzurufen.

Im Winter halten wir daher eine Raumluftfeuchtigkeit von 40% für mindestens erforderlich, würden aber in Anlehnung an den Feuchtebereich in dem Museen ihre Exponate konservieren 55% empfehlen.

Im Sommer hingegen wäre der Bereich zwischen 40% und 45% rel. Feuchte von Vorteil, da damit hohe Temperaturen besser ertragen werden und auch als etwas kühler empfunden werden.

7.1.3. Bauphysikalische Grundlagen

Mit dem komplizierten Kapitel des Dampfdruckgefälles in Außenbauteilen und den bauphysikalisch richtigen Maßnahmen, um Kondensat in Bauteilen zu vermeiden, beschäftigen wir uns hier nicht. Der bauphysikalisch korrekte Aufbau einer Wand muss immer Fachleuten überlassen werden.

Was wir aber ansprechen werden ist allgemeines bauphysikalisches Grundwissen zum Phänomen von Tauwasser und Schimmel an der Innenoberfläche von Außenbauteilen

In der Bauphysik spielt der Taupunkt in Form der Taupunktebene eine wichtige Rolle. Unter dieser versteht man die Temperaturfläche innerhalb des Mauerwerks bzw. der Außenwand eines Gebäudes, ab welcher es bei einer weiteren Abkühlung zur Bildung eines Kondensats kommen kann. Hintergrund ist, dass warme Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann als kalte Luft.

7.1.3.1. Oberflächentemperatur von Bauteilen

7.1.3.1.1. Oberflächentemperaturen in der Fläche

Wenn ein Raum eine Lufttemperatur von 20 ° aufweist, so ist das in keinem Fall damit gleichzusetzen, dass auch alle Oberflächen der raumbegrenzenden Wände oder der Möbel die gleiche Temperatur haben.

Wenn im Winter ein Innenraum 20° hat, draußen aber -13° herrschen, so findet der Temperaturunterschied im wesentlichen aber nicht zur Gänze in der Außenwand statt. Als Beispiel sei eine Außenwand aus Beton gezeigt, die an der Außenseite mit 5 cm wärmegeklämmt ist.

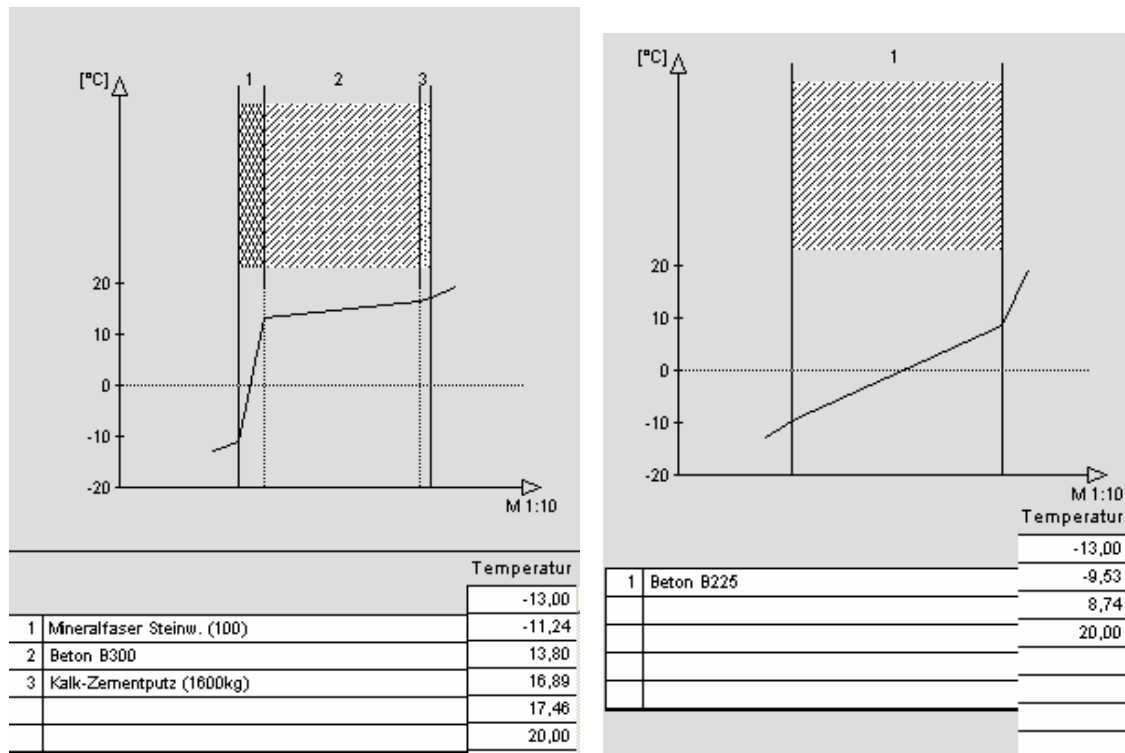


Abb. 191 Temperaturverlauf in Wandbauteilen mit 5 cm und ohne Dämmung

In Abb. 191 sieht man rechts die Innenseite der Wand. Der Temperaturverlauf stellt sich folgendermaßen dar: An der inneren Wandoberfläche hat es bei 20° Raumtemperatur 17,46°, die Temperatur sinkt im Beton ein wenig auf 13,8° ab und dann noch weiter in der Wärmedämmung bis sich schließlich an der Außenseite der Wand eine Temperatur von -11,24 ° C einstellt, die Außenlufttemperatur hat dabei -13°.

Besäße die Wand die äußere Wärmedämmung nicht, würden die Oberflächentemperaturen völlig anders ausschauen. Dies ist in der rechten Abbildung dargestellt. Die Innenoberfläche der Wand hat bei einer Raumtemperatur von 20° nur 8,74°.

Wenn nun, wie z. B. in diesem Sanierungsfall Passivhausstandard angewendet wird und die Wand außen mit 30 cm Wärmegeädämmt wird so ist die Innenoberfläche der Wand mit 19,47° fast so warm wie die Lufttemperatur (die Innendämmung mit Heraklith, die in diesem Sanierungsfall im Bestand gegeben war und nicht entfernt wird, verändert an diesem Tatbestand wenig.

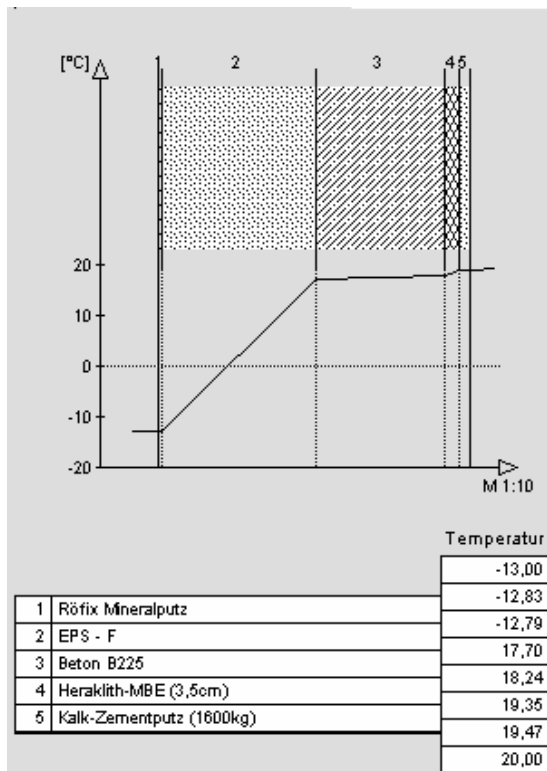


Abb. 192 Temperaturverlauf in hochgedämmtem Bauteil wie im Sanierungskonzept

Nun besitzen nicht alle Teile eines Gebäudes so lineare Bedingungen wie ein m² eines Außenbauteiles mitten in der Fläche.

7.1.3.1.2. Oberflächentemperaturen in Raumkanten

An Außenecken, bei Wärmebrücken oder bei Anschlüssen von Bauteilen untereinander können wesentlich schlechtere Bedingungen herrschen als in der ebenen Wandfläche. Hier können die Oberflächentemperaturen des Wandbauteiles noch einmal deutlich unterschritten werden.

Wir bringen hier mehrere Beispiele aus dem Protokollband Nr. 24 des Passivhausinstitutes Darmstadt.

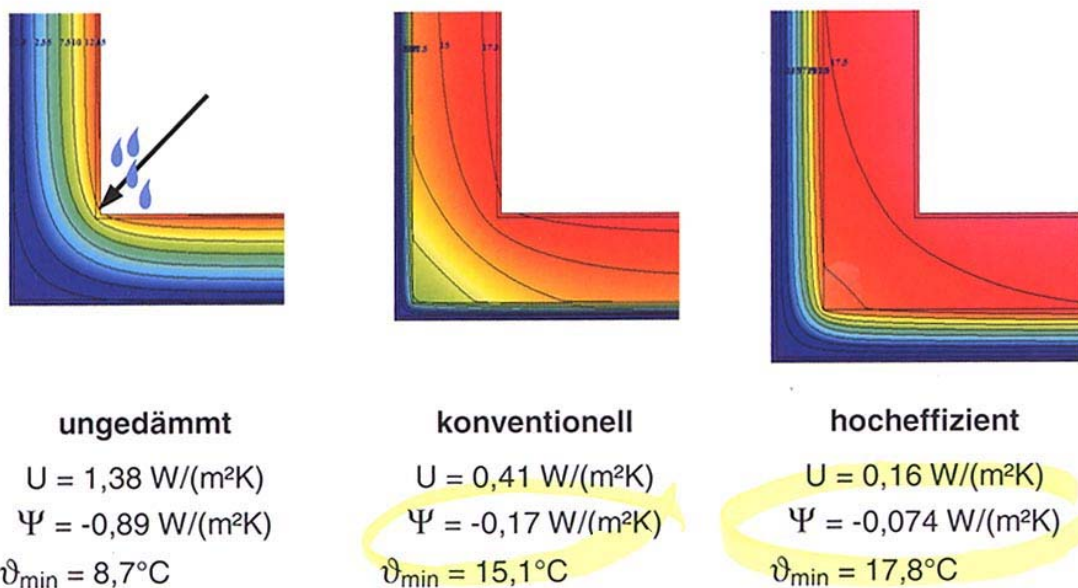


Abb. 193 Detailanschluss Außenwandkante (Vollziegel)

In Abb. 193 sieht man die Isothermen (Linien gleicher Temperatur) im Schnitt durch eine Außenwanddecke farbig dargestellt. Es handelt sich dabei um eine Vollziegelwand, links ungedämmt, in der Mitte mit 6 cm Wärmedämmung und rechts mit einer Wärmedämmung von 20 cm.

Während bei der ungedämmten Wand die Temperatur der normalen Wandoberfläche um 16°C liegt, so sinkt sie in der Ecke auf Grund der ungünstigeren geometrischen Bedingungen auf knapp $8,7^{\circ}\text{C}$ ab. Beim hochgedämmten Standard rechts ist nur ein Abfall von $19,5^{\circ}$ auf $17,8^{\circ}\text{C}$ zu verzeichnen.

Kritischer wird die Situation noch, wenn man in der Ecke ein hohes Möbel wie z.B. einen Schrank annimmt. Der Schrank schirmt den Strahlungsaustausch mit den Innenoberflächen ab und behindert die Konvektion: er wirkt quasi als Innendämmung

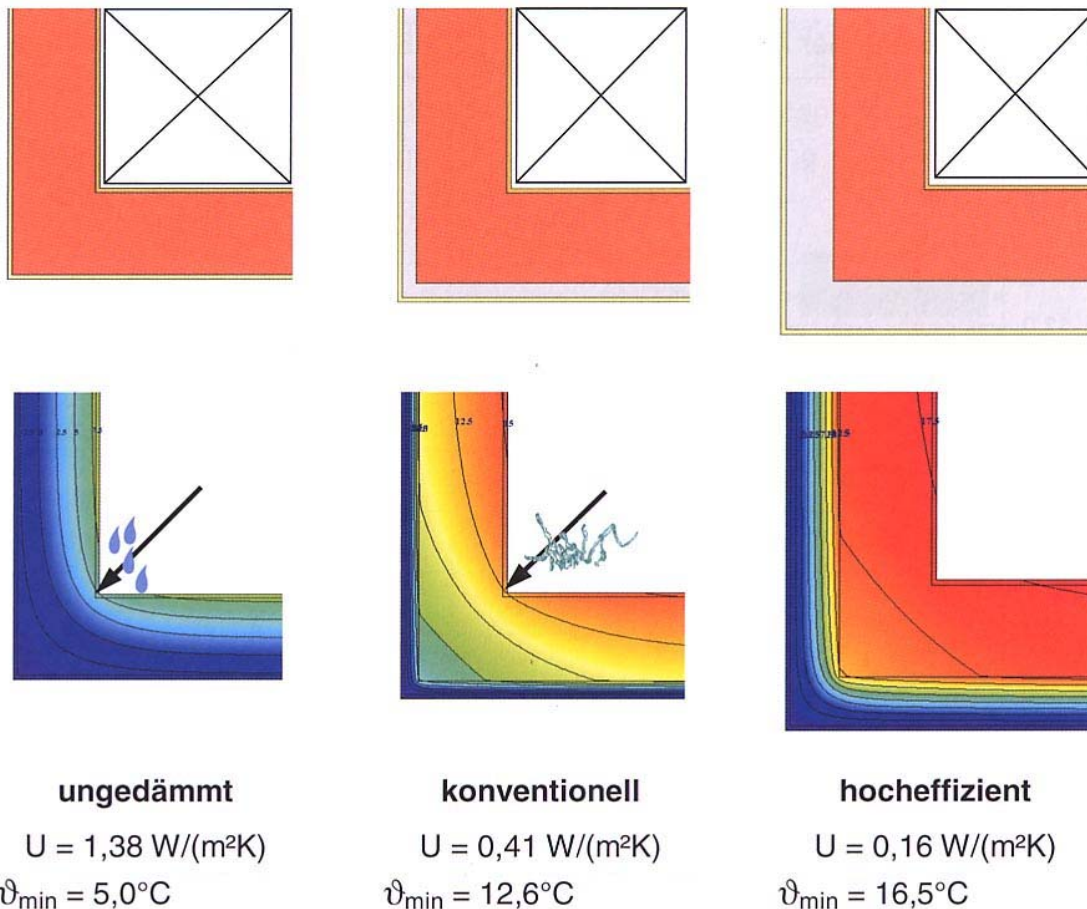


Abb. 194 Detailanschluss Außenwandkante (Vollziege) – mit Schrank

Man sieht im Vergleich mit Abb. 193 vorher, wie viel kritischer die Situation wird. Im ungedämmten Fall ist die Minimaltemperatur in der Ecke von $8,7^{\circ}\text{C}$ auf $5,0^{\circ}\text{C}$ gefallen, im mittleren Fall mit der 6 cm Gedämmten Wand von $15,1^{\circ}\text{C}$ auf $12,6^{\circ}\text{C}$ und im hochgedämmten Fall am wenigsten, nämlich von $17,8^{\circ}\text{C}$ auf $16,5^{\circ}\text{C}$.

7.1.3.1.3. Oberflächentemperaturen in Ecken

Einen weiteren normalerweise kritischen Fall stellen Außenecken zum Kellergeschoss hin dar.

Auch hier finden sich wertvolle Hinweise im Protokollband 24 des PHI Darmstadt.

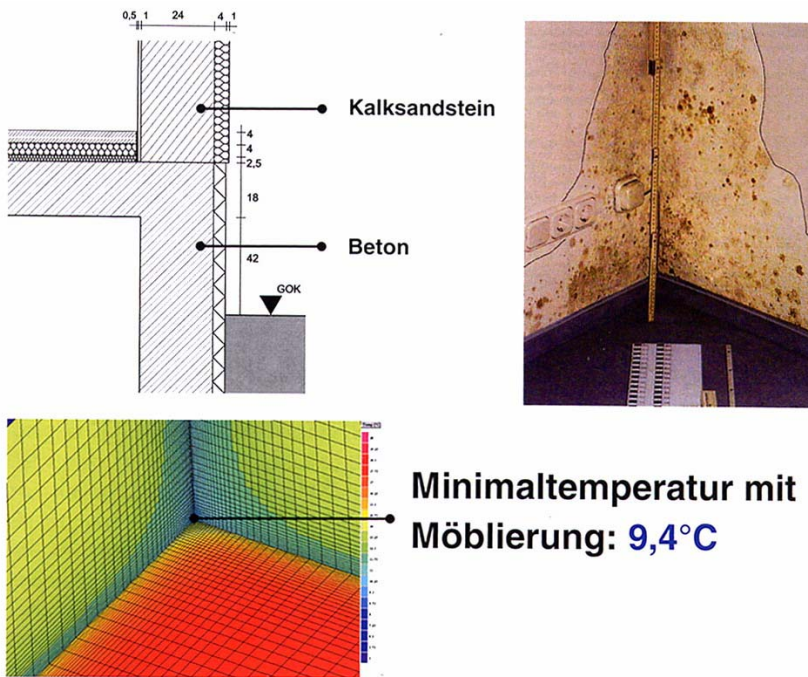


Abb. 195 Ist-Zustand MFH 94; (nach [Geyer 2003])

In Abb. 195 sieht man die Ecke eines konventionell gebauten Hauses mit 4 cm Wärmedämmung, ungedämmter Kellerdecke und Möblierung. Bei 9,4°C war Schimmelbildung die Folge.

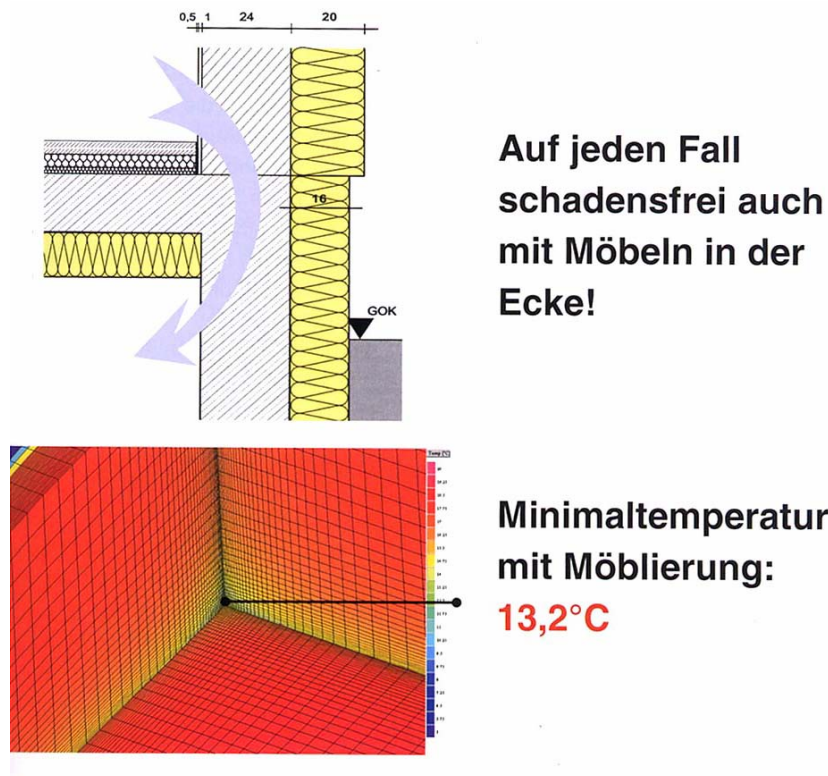
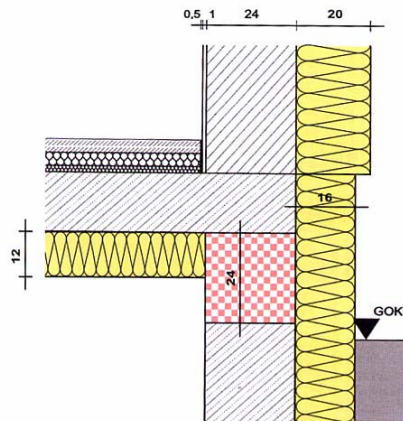


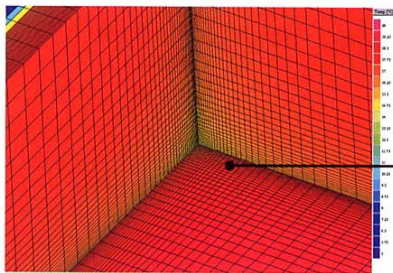
Abb. 196 Sanierung: PH-Außendämmung und Kellerdeckendämmung

Wenn im Passivhausstandard saniert wird, kann die Temperatur in der Ecke deutlich angehoben werden.

Echter Passivhausstandard aber wird nur mit thermischer Trennung des Kellermauerwerkes erreicht:



**Echte Passivhaus-
Lösung:
wärmebrückenfrei**



**Minimaltemperatur
mit Möblierung:**

14,4°C

(zum Vergleich: wird in der
Fläche erreicht bei
 $U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Abb. 197 PH-Außendämmung, Kellerdämmung und thermische Trennung (im Neubau)

Das ist die Oberflächentemperatur mit Möblierung die in einer nach allen Regeln der Passivhaustechnologie ausgeführten Ecke maximal erreicht werden kann.

7.1.3.1.4. Oberflächentemperatur von Fensterbauteilen

Zuletzt wollen wir uns noch den häufigsten "Störungsfall" in der homogenen Außenwand ansehen: das Fenster.

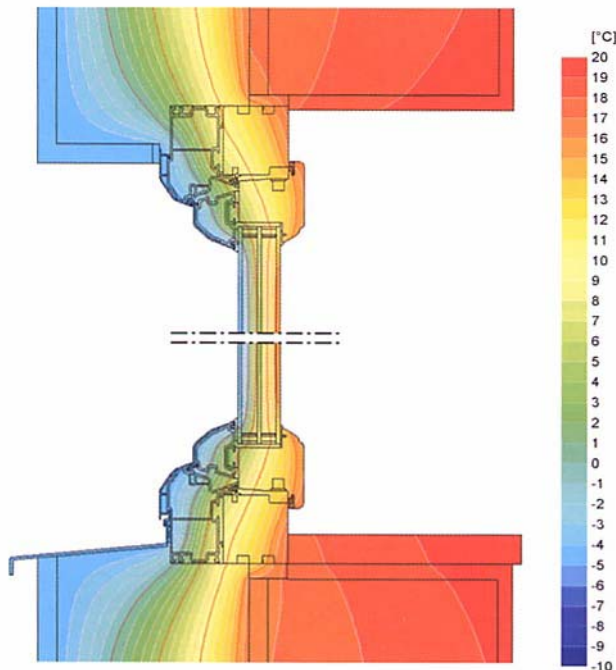


Abb. 198 Isothermen durch ein Passivhausfenster

Abb. 198 stellt den Einbau eines Passivhausfensters in eine hoch wärmegeämmte Außenwand in einem Sanierungsfall dar. Das Fenster wurde aus Gründen der leichteren

Handhabbarkeit beim Einbau leicht in die Mauerwerksebene zurückgerutscht, was zwar wärmetechnisch nicht den Optimalfall darstellt aber noch zulässig ist. Man kann erkennen, dass die Temperatur im Fensterbereich von der Temperatur in der Wandfläche deutlich abweicht. Hat die ungestörte Wandoberfläche fast 20°C, so sind es im Eck zwischen Fenster und Wand nur mehr 17°C, im Bereich des Glasrandverbundes nur mehr 13°C. Die Glasfläche hat bei dieser 3fach-Verglasung ca. 15-16°C.

Deutlich niedriger fallen die Temperaturen bei konventionellen Fenstern, konventionell gedämmtem Mauerwerk und konventionellem Einbau aus. Dies soll hier aber nicht näher vertieft werden.

Warum sind die Oberflächentemperaturen der Außenbauteile aber so wichtig?

7.1.3.2. Einfluss der Raumtemperatur auf den möglichen Wassergehalt der Raumluft

Raumlufttemperatur in °C	Soviel Wasser (in g/m ³) ist bei gesättigter* Luftfeuchte in der Luft enthalten
± 0	4,8
+ 2	5,6
+ 4	6,4
+ 6	7,3
+ 8	8,3
+ 10	9,4
+ 12	10,7
+ 14	12,1
+ 16	13,7
+ 18	15,4
+ 20	17,3
+ 22	19,5
+ 24	21,8
+ 26	24,4
+ 28	27,2
+ 30	30,4

*bei 100 % Luftfeuchtigkeit

Tab. 29 Wassergehalt der gesättigten Luft in Abhängigkeit von der Raumtemperatur

Wie schon in den physikalischen Grundlagen dargestellt, kann die Luft bei jeder Temperatur nur eine bestimmte Menge Wasser aufnehmen. Diese Menge – und zwar die Sättigungsmenge bei 100% Luftfeuchtigkeit ist in Tab. 29 dargestellt.

Sinkt nun die Temperatur (z.B. in der Nähe der kalten Innenoberfläche eines Außenbauteiles) so kann die Luft nicht mehr die ganze Menge Wasser aufnehmen, es kommt zu einem Tauwasserausfall oder zur Bildung von Kondensat.

7.1.3.3. Taupunktkurve

In dieser Grafik ist die Taupunktskurve dargestellt an der man ablesen kann, wie viel Wasser bei einer bestimmten Temperaturreduktion kondensiert. Unter der Grafik ist ein Rechenbeispiel angeführt.

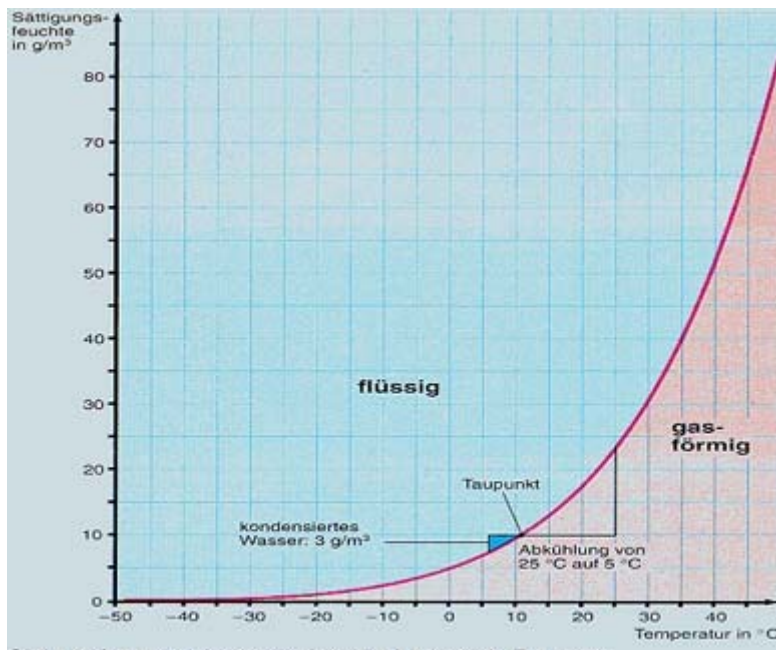


Abb. 199 Sättigungsfeuchte der Atmosphäre in Abhängigkeit von der Temperatur

Bei 25 °C wird eine relative Feuchte von 43,5 % gemessen.

Es befinden sich also $0,435 \cdot 23 \text{ g/m}^3 = 10 \text{ g/m}^3$ Wasserdampf in der Luft.

Nachts kühlt die Luft auf 5 °C ab. Die Sättigungsfeuchte beträgt dann 6,8 g/m³. Daher müssen ca. 3,2 g/m³ zu Flüssigwasser kondensieren (z.B. bei Lüftung von Kellern im Sommer und Lüftung von Kirchen).

Der Taupunkt wird bei ca. 11 °C überschritten (Taupunkttemperatur).

Tabellenwerte:

Temperatur [°C]	-20	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Sätt.-feuchte [g/m³]	1,08	2,36	3,32	4,85	6,8	9,2	12,8	17,3	23,1	30,4
Dampfdruck [hPa]	1,25	2,85	4,13	6,1	8,7	12,3	17,0	23,4	31,7	42,4

Tab. 30 Sättigungsfeuchte und Dampfdruck in Abhängigkeit von der Temperatur

7.1.3.4. Bestimmen der Taupunkttemperatur einer Bauteiloberfläche

Bei einer gemessenen Raumlufttemperatur und relativen Luftfeuchte kann man schnell die Taupunkttemperatur anhand einer Tabelle ermitteln. Damit kann abgeschätzt werden, welche Oberflächentemperatur an der Innenseite des Außenbauteiles sichergestellt sein muss, um Oberflächenkondensat und in weiterer Folge Schimmelbildung zu vermeiden.

(rot)

Temperatur in °C

(blau)

Luftfeuchte in % relativ

(braun)

Im Schnittpunkt findet sich den "Taupunkt" in C°

	Taupunkttemperatur in °C														
Temperatur	relative Luftfeuchte in %														
Raumluft°C	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1	
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1	
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1	
27	8,0	10,2	12,2	14,1	157	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1	
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	201	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1	
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1	
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1	
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2	
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,2	
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	116	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2	
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2	
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2	
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	16,4	16,3	17,2	
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	15,5	15,3	16,2	
16	-1,4	-0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	14,5	14,4	15,2	
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	13,5	13,4	14,2	
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	12,5	12,4	13,2	
13	-3,7	-1,9	0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2	
12	-4,5	-2,6	1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2	
11	-5,2	-3,4	1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2	
10	-6,0	-4,2	2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2	

Tab. 31 Taupunkttemperatur einer Bauteiloberfläche in Abhängigkeit von Temperatur und rel. Feuchte

Man kann erkennen, dass der mit 5cm wärmegeämmte Bauteil aus Kap. 7.1.3.1 noch ohne Kondensat bleibt. Ist aber auch kein Schimmel zu erwarten? Früher wurde zur Beurteilung möglichen Schimmelpilzbefalls hauptsächlich die Tauwasserfreiheit eines Bauteiles herangezogen. Heute kann man aber klar sagen, dass dies nicht ausreicht.

7.1.3.5. Vermeidung von Schimmelpilzbefall.

Wir zitieren hier in Auszügen aus dem Protokollband Nr. 24 des Passivhausinstitutes in Darmstadt, wo die wesentlichsten Erkenntnisse anschaulich und kurz zusammengefasst sind.

Wie hoch darf die Feuchtigkeit maximal sein, wenn Pilzwachstum vermieden werden soll?

Umfassende Untersuchungen dazu wurden von Sedlbauer am Fraunhofer Institut für Bauphysik durchgeführt. Danach sind die Sporbildung und ein eventuelles Myzelwachstum abhängig vom Medium, der Wasseraktivität (messbar als rel Luftfeuchte eines Luftraumes, der im hygrischen Gleichgewicht steht mit dem Medium) und der Temperatur.

Medium bedeutet in dem Zusammenhang das Material der Wandoberfläche (organisch, mineralisch?) Wasseraktivität bedeutet im Wesentlichen die rel. Luftfeuchtigkeit im direkten Wandbereich.

Bezüglich des Mediums wird bei bautypischen Medien (Tapeten, Gipskarton, verschmutzte mineralische Oberflächen) generell von biologisch gut verwertbaren Substraten ausgegangen. Das heißt, dass der Schimmel darauf gut wächst.

Rein mineralische Baustoffe würden eigentlich in die weniger gefährdete Kategorie gehören, es ist jedoch über die Jahre kaum davon auszugehen, dass die reine mineralische Oberflächen aufrechterhalten werden kann, zumal herkömmliche Reinigungsmethoden organisch verwertbares Material möglicherweise erst aufbringen.

Bei niedrigen Temperaturen keimen die Sporen und wachsen die Myzele nicht mehr so gut. Die Abhängigkeit von der Temperatur ist aber in den Bereich der uns hier interessiert nicht

sehr hoch, so dass vereinfacht in guter Näherung folgende Bedingung angesetzt werden kann:

Sporenkeimung und Wachstum kann ab einer Wasseraktivität a_w größer 80% auftreten. Diese Wasseraktivität steht im Gleichgewicht mit der relativen Feuchte an der Oberfläche des betreffenden Bauteils: $\varphi_{\text{ober}} > 80\%$

Von folgenden Randbedingungen wird ausgegangen:

Raumlufffeuchtigkeit: 50%

Raumtemperatur: 20°

Außenlufttemperatur: -5°C

Es zeigen sich dabei 2 kritische Temperaturwerte:

Grenze für Tauwasserbildung an nicht kapillar aktiven Oberflächen: 9,3°C

Minimal zulässige Temperatur zur sicheren Vermeidung von Schimmelpilzwachstum auf kapillar aktiven Oberflächen:

$$\vartheta_{\text{ober, min}} \geq 12,6^\circ \text{ C}$$

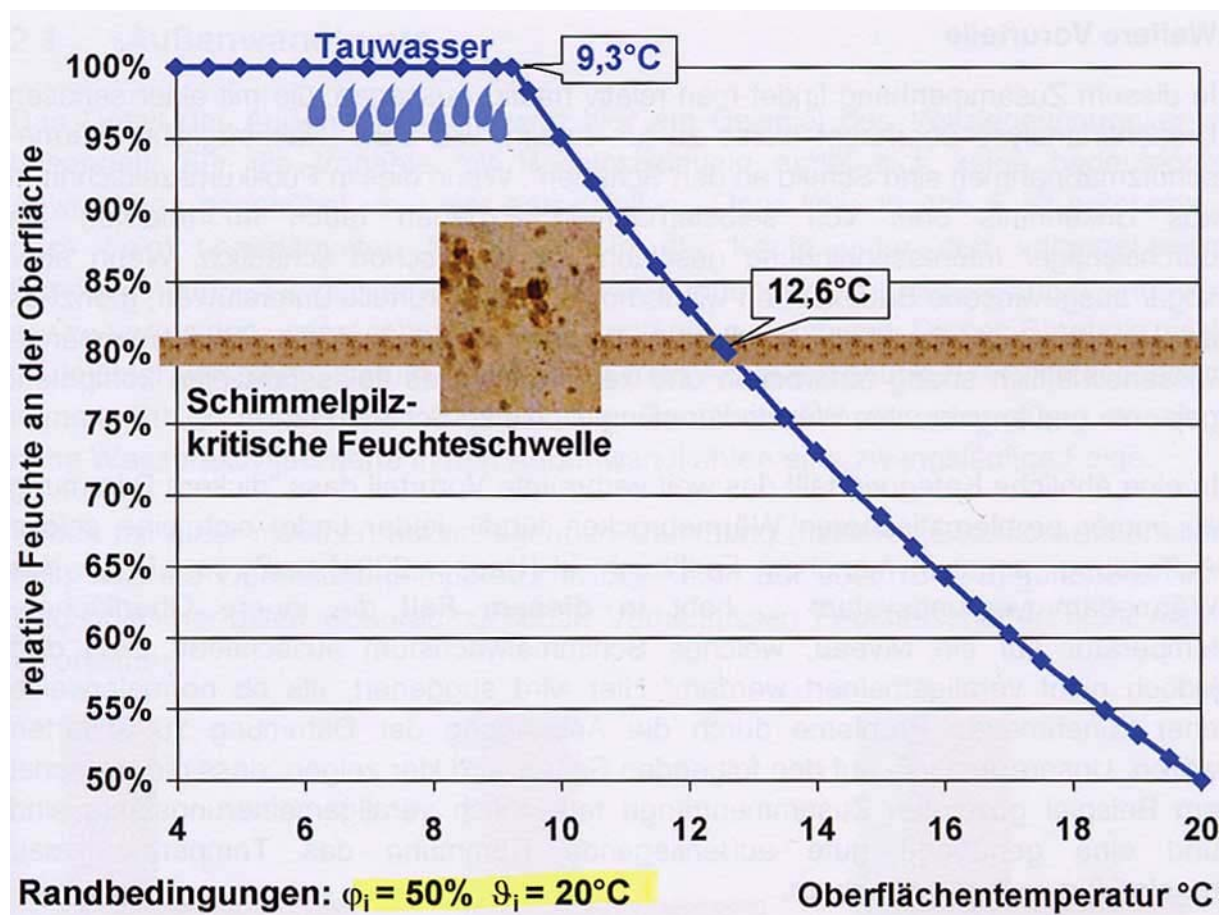


Abb. 200 aus PHI Protokollband Nr. 24, S. 53, Zusammenhang Temperatur, Feuchte und Schimmelrisiko

Rückblickend auf Kap. 7.1.3.1 wird damit klar, dass die konventionelle Bauweise sehr sensibel auf ein Ansteigen der Raumlufffeuchtigkeit reagiert, da in den Extrempunkten die kritische rel. Feuchtigkeit selbst bei moderaten Raumlufffeuchten schon grenzwertig ist, bzw. überschritten wird.

7.1.3.6. Bauphysikalische conclusio

Aus den ausgiebigen bauphysikalischen Betrachtungen folgt als wichtigste Erkenntnis, dass die Passivhaustechnologie des hohen Wärmedämmens, des wärmebrückenfreien Konstruierens und der kontrollierten Wohnraumlüftung es erstmals wieder möglich macht, die aus physiologischer Sicht sinnvollen Raumlufffeuchtigkeiten anzustreben, ohne mit allfälliger Erhöhung des Schimmelrisikos in Konflikt zu kommen.

Nach Meinung der Autoren ist diese Entspannung der Schimmelproblematik durch die Passivhaustechnologie auch einer der wesentlichen Gründe, warum sich diese Technologie am Markt durchsetzen wird. (wenn die Wohnbauträger erst einmal die positiven Konsequenzen gesehen und als Potential für sich erkannt haben werden)

7.2. Raumluff im Spannungsfeld zu feucht, zu trocken

In Kap. 7.1 wurde eine generelle Einführung zum Kapitel Luftfeuchtigkeit gegeben. Es konnten dabei die sinnvollen Grenzwerte 40% - 60 % rel. Feuchtigkeit definiert werden und betont werden, dass aus physiologischer Sicht die 60 % eher im Winter, die 40% eher im Sommer anzustreben wären, ganz im Gegenteil zu der derzeit geübten Praxis.

Es konnte auch klargelegt werden, dass die Passivhaustechnologie (korrekte Bauausführung vorausgesetzt) erstmals die Möglichkeit eröffnet höhere Luftfeuchtigkeiten im Winter in Erwägung zu ziehen, weil sie bauphysikalisch kein Schimmelrisiko mehr beinhalten. Außerdem kann mit einer Bauweise die eine Lüftungsanlage mit einschließt, die Luftfeuchtigkeit in Aufenthaltsräumen gesteuert werden. Sie ist damit nicht mehr eine Größe, die aus Bauweise und Lebensart zwangsweise resultiert, sondern ein Faktor der Behaglichkeit der Innenraumluff, der als Zielgröße definiert und mit den geeigneten Maßnahmen auch erreichbar ist.

7.2.1. Welche Einflussfaktoren auf die Raumlufffeuchtigkeit gibt es?

Im Punkt 7.1.2 wurde die gewünschte relative Luftfeuchtigkeit mit 40 bis 60% definiert. Ob und wie weit die unkonditionierte Raumluff während des Jahres von diesen Werten abweicht hängt von mehreren Faktoren ab.

7.2.1.1. Außenluff

Durch den Vorgang des Lüftens findet in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen ein Luftwechsel zwischen Außenraum und Innenraum statt, wodurch ein gewisses Volumen an Außenluff in den Wohnraum gelangt. Dabei gelangt der von der jeweiligen Temperatur abhängende Feuchtigkeitsgehalt der Außenluff in den Wohnraum wo sich die rel. Luftfeuchtigkeit der Außenluff je nach dem Temperaturunterschied zwischen innen und außen verändert. Im Winter und in der Übergangszeit erwärmt sich die Luft, was zur Folge hat, dass die relative Luftfeuchtigkeit abnimmt.

Die Abnahme der Luftfeuchtigkeit ist umso größer je höher die Differenz der Temperatur vom Außenraum zum Innenraum ist. Umkehrt kommt es zu einer Zunahme der Luftfeuchtigkeit der Außenluff im Innenraum, wenn die Luft (an einem heißen Sommertag) abgekühlt wird.

Wie schon im Punkt 7.1.1 ausführlich erläutert, bedeutet z. B. eine Erhöhung der Lufttemperatur von einer Außentemperatur von -5°C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von 80%, auf eine Innentemperatur von 21°C ein Absinken der rel. Luftfeuchtigkeit auf ca. 12%.

7.2.1.2. Luftwechsel

Unter Luftwechsel versteht man in der Bauphysik den Austausch der Atemluff in geschlossenen Räumen. Der Austausch wird mit der Größe Luftwechselrate gemessen, wobei die Einheit 1/h ist und den Anteil der pro Stunde ausgetauschten Raumluff bezeichnet. Eine Luftwechselrate von 1/h bedeutet, dass das gesamte Luftvolumen des umbauten Raumes innerhalb einer Stunde genau einmal ausgetauscht wird.

Der Luftwechsel ist in Aufenthaltsräumen notwendig für die Versorgung mit Sauerstoff

Abführung des ausgeatmeten Kohlendioxids

Abführung von Gerüchen und sonstigen Bestandteilen der Luft (z.B. Ausdünstungen aus der Einrichtung)

Abtransport des Wassers, das innerhalb der Wohnung freigesetzt wird.

Die Art und Weise wie heute gelüftet wird und welche Luftmenge dabei getauscht wird, hängt von der technischen Gebäudeausrüstung ab. Zu unterscheiden sind dabei Gebäude mit und ohne Lüftungsanlage.

Bei Gebäuden ohne mech. Be- und Entlüftung findet das Lüften durch Öffnen der Fenster statt was in den meisten Fällen in unregelmäßigen Abständen erfolgt, wogegen bei Gebäuden mit Lüftungsanlage ein ständiger Luftaustausch stattfindet.

Aus wohnhygienischer Sicht wird ein 0,4facher Luftwechsel je Stunde oder $30\text{m}^3/(\text{h Person})$ vorgeschrieben, sofern dies zu einem höheren Luftwechsel führt. Für eine Wohnung mit 75m^2 Wohnnutzfläche, einer Raumhöhe von 2,5m und einer Belegung mit 3 Personen bedeutet das einen Austausch von 90m^3 Luft je Stunde.

Dieser Luftwechsel ist erforderlich um die CO_2 Konzentration (als Indikator der Schadstoffbelastung) unter 1000 ppm zu halten. In der Grafik in Abb. 201 ist dies anschaulich dargestellt.

Das Lüften bzw. das Einbringen von Frischluft in die Aufenthaltsräume hat neben dem Unterschreiten von CO_2 Grenzwerten normalerweise auch das Ziel die durch interne Feuchtequellen eingebrachte Feuchtelast zu reduzieren. Jedes Einbringen von Frischluft hat ja gleichzeitig auch die Abfuhr von Raumluft zur Folge.

Allerdings ist das Abführen von internen Feuchtelasten nicht zu allen Jahreszeiten gewünscht. Je mehr Außenluft in den Wohnraum eingebracht wird desto mehr Luftvolumen mit geringem Feuchtigkeitsgehalt gelangt in den Wohnraum und muss, um eine rel. Luftfeuchtigkeit von 40 bis 60% zu erreichen, mit einer entsprechenden Menge an Feuchtigkeit angereichert werden. Diese Menge kann zumindest während der Wintermonate durch die internen Quellen nicht aufgebracht werden. Siehe dazu auch Kap. 7.2.2 .

Wie in neueren Untersuchungen festgestellt worden ist, erreichen Wohnungen mit modernen (dichten) Fenstern ohne Wohnraumlüftung den hygienisch erforderlichen Luftwechsel normalerweise nicht.

2mal stoßlüften pro Tag reicht dazu nämlich bei weitem nicht aus.

Wertvolle Hinweise dazu finden sich im Protokollband Nr. 23 des Passivhaus Institutes Darmstadt, in dem zahlreiche Untersuchungen zur Lüftung zusammengestellt sind. Hier wurde auch der Schadstoffabtransport durch Fensterlüftung genauer untersucht. Es stellte sich heraus, dass erst mit einer gleichmäßig über den Tag verteilten 4maligen Stoßlüftung von 5 min. (Fenster vollständig geöffnet) ein ausreichender Schadstoffabtransport realisiert werden kann.

In Passivhäusern wird mindestens mit einem durchschnittlichen Luftwechsel von 0,3/h operiert (bei 2,5 m Raumhöhe), mit der 4mal am Tag 5 min. Stoßlüftung erreicht man nominal eine Größenordnung von 0,45/h.

7.2.1.3. Interne Feuchtigkeitsquellen

In jeder Wohnung fällt durch unterschiedliche Quellen eine bestimmte Menge an Feuchtigkeit an. Zu unterscheiden sind einerseits Feuchtigkeitsquellen die auf Grund der Nutzung unvermeidbar sind und andererseits jene die gezielt eingebracht werden um das Raumklima zu verbessern.

Zu den durch die Nutzung unvermeidbaren gehören:

- Der Mensch
In Abhängigkeit der Tätigkeit wird durch Verdunstung von Schweiß und durch die Atmung Feuchtigkeit an die Umgebung abgegeben.
- Die Küche
Je nach Anzahl der Personen für die gekocht wird, entstehen unterschiedliche Mengen an Wasserdampf.
- Das Bad
Hier entsteht Feuchtigkeit durch das Duschen oder Baden und durch das Trocknen der Oberflächen und Handtücher.
- Das Wäschetrocknen
Die Menge an Feuchtigkeit hängt ab von der Anzahl der Waschvorgänge und der Schleuderrzahl der Waschmaschine.

Zu den gezielt eingesetzten Feuchtigkeitsquellen gehören:

- Pflanzen, Zierbrunnen, offene Wasserflächen
- punktuelle eingesetzte elektrische Luftbefeuchter
- Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung
Diese werden üblicherweise mit einem Rotationswärmetauscher (Enthalpierreückgewinner) ausgerüstet: Ein poröses Material nimmt abluftseitig Wärme und Feuchte auf, wird dann auf die Zuluftseite gedreht und gibt Energie und Feuchte an die Zuluft wieder ab.

7.2.1.4. Bauteiloberflächen

Auch unterschiedliche Bauteiloberflächen haben, auf Grund ihrer unterschiedlichen Feuchtigkeitsadsorptions- und Desorptionseigenschaften Einfluss auf die Raumluftfeuchtigkeit. Diese Eigenschaften spielen hauptsächlich dann eine Rolle, wenn unregelmäßig anfallende Feuchtigkeitsspitzenlasten, z.B. durch Duschen, eine starke Veränderung der Luftfeuchtigkeit verursachen. Manche Oberflächenmaterialien mit hohen Adsorptions/Desorptionseigenschaften können dann dämpfend auf die Amplitude der Feuchtigkeitsschwankungen wirken, andere sind dazu kaum oder nicht in der Lage.

Derzeit kommen im Wohnbau Materialien zum Einsatz die im Bereich der Feuchtigkeitsadsorption und -desorption die unterschiedlichsten Eigenschaften aufweisen. (Gips, Beton, versiegelte Flächen, Fliesen, Kalkzementputz, Lehmputz, geölte Holzoberflächen).

Von Interesse sind Materialien die bei einem Anstieg der Luftfeuchtigkeit diese in kürzester Zeit aufnehmen und umgekehrt auch wieder an den Raum abgeben können. Besonders gut geeignet sind hierfür Materialien wie massive Lehmwände, Lehmputze oder auch unversiegelte Holzoberflächen. Neben der Materialeigenschaften müssen auch genügend unverbaute Flächen mit dieser Qualität zur Verfügung stehen. In erster Linie kommen dafür Deckenflächen und unverbaubare Wandflächen in Frage.

7.2.2. Interne Feuchtequellen, Werte

Die Angaben aus der Literatur über die internen Feuchtigkeitsquellen in der Wohnung sind zahlreich und differieren deutlich. Einen guten mittleren Überblick gestattet die Homepage der Glaserinnung Sigmaringen (www.glaserinnung-sigmaringen.de).

Während die unterschiedlichen Quellen sich bei den angegebenen Werten: Gramm/ Stunde noch häufig decken, fallen die daraus hochgerechneten Angaben über kg/Familie und Tag sehr unterschiedlich aus und sind vor allem auf Grund der „Problematik Schimmelbildung“ meist eher hoch angesetzt.

Was die Feuchtigkeitsentwicklung in der Wohnung anbelangt, so gibt es unterschiedliche Annahmen. Für einen durchschnittlichen Haushalt mit 3 Personen differieren die Angaben zwischen 7 und 14 kg/ Tag. Hier einige Beispiele:

- Feuchtigkeitsentwicklung 330 g/h bzw. 7,92 kg/d gemäß
[Raumluftfeuchtigkeit im Winter in Häusern mit Lüftungsanlagen – Fachartikel von Dr. W. Feist vom Passivhaus - Institut Darmstadt, Erscheinungsjahr 2001]
- Feuchtigkeitsentwicklung 470 g/h bzw. 11,37 kg/d (2,7 Personen, 10 Topfpflanzen, 10-minütiges Duschen jedes Bewohners) gemäß

[www.wohngesundheit.de – Behaglichkeitskriterien im Überblick]

- Feuchtigkeitsentwicklung 500 g/h bzw. 12 kg/d (2 Erwachsene, 1 Kind) gemäß
[www.glaserinnung-sigmaringen.de – Fensterkonstruktionen unter Berücksichtigung der Luftfeuchtigkeit]

7.2.2.1. Personen

Die Werte der Wasserdampfabgabe und die benötigte Frischluftmenge ($30 \text{ m}^3/(\text{h Person})$) sind von der jeweiligen Tätigkeit der Person abhängig.

In der nachfolgenden Tabelle ist ein Überblick der Feuchtigkeitsabgabe bei unterschiedlichen Tätigkeiten angeführt.

Tätigkeit	ca. Abgabe in Gramm/Stunde
leichte Aktivitäten	30-60 g/h
mittelschwere Arbeit	120-200 g/h
schwere Arbeit	200-300 g/h

Schon 1972 hat sich P.O. Fanger in seinem Buch Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering. McGraw-Hill, New York, mit der thermischen Behaglichkeit beschäftigt. Er hat die Komfortbewertung, ob man die Temperatur in einem Raum für zu heiß oder zu kalt empfindet, mit physiologischen Parametern wie körperliche Aktivität und der Hauttemperatur verbunden. Die dabei entstandenen Berechnungen sind in internationale ISO Normen eingeflossen.

Ausgangspunkt dafür ist ein einfaches Modell für eine stationäre Energiebilanz des Körpers mit Wärmeabgabe durch Schwitzen (latente Wärme), konvektive Abgabe an die Luft, Wärmeleitung durch die Kleider und Strahlung an Strahlungspartner (warme und kalte Wände).

Für die körperliche Aktivität ist die Einheit $1 \text{ met} = 58 \text{ W/m}^2$ geläufig ("met" für *metabolism*). Die effektive Oberfläche eines durchschnittlichen Menschen ist $1,8 \text{ m}^2$. Die Aktivität eines sitzenden Menschen entspricht gerade etwa $1,0 \text{ met}$.

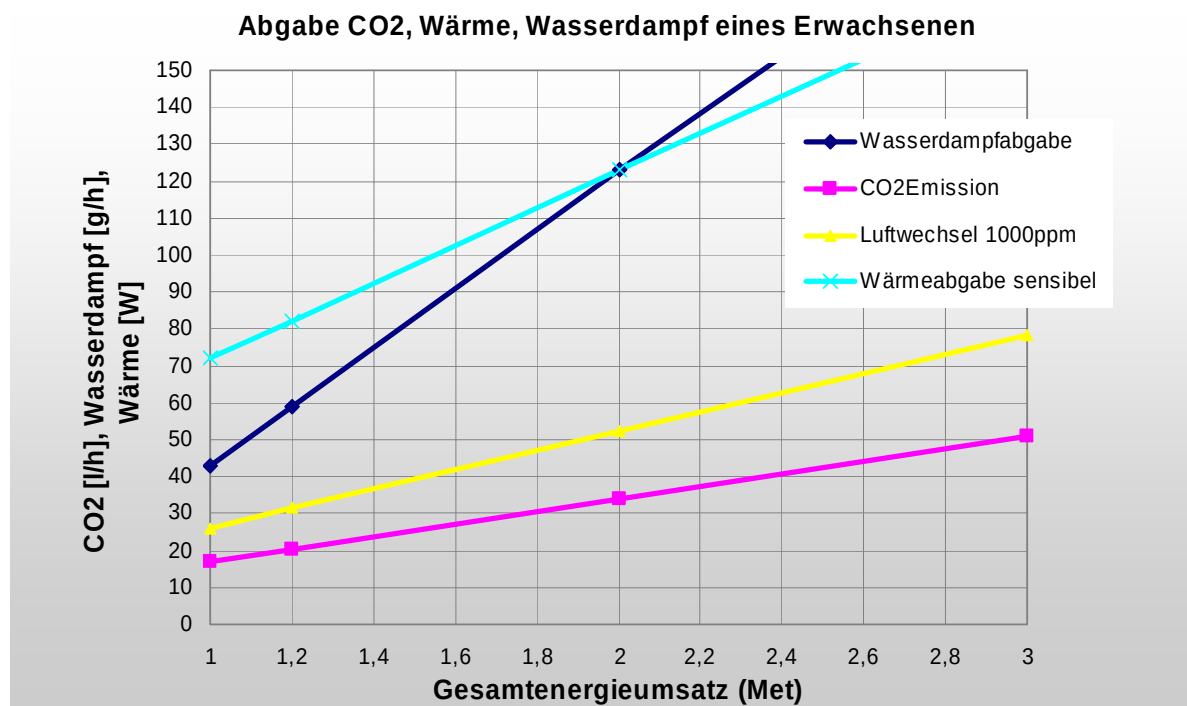
[Komfortuntersuchungen an Schulbauten, mit hohem Glasanteil

Anhang C Komfortparameter, Berichtversion 1.2, 15. November 2004, Projekt 04-001]

In der nachfolgenden Tabelle ist ein Überblick des Gesamtenergieumsatzes und des benötigten Außenluftwechsels, um den CO_2 Gehalt unter 1000 ppm zu halten, angeführt.

Außenluftwechsel stationär nach Fanger		Außenluftwechsel für CO ₂ <1000ppm
	[Met]	[m ³ /h]
entspanntes Sitzen	1,0	26,2
leichte, vorwiegend sitzende Tätigkeit	1,2	31,4
Stehende Tätigkeit I: Geschäft Labor, Leichtindustrie	1,6	41,8
Stehende Tätigkeit II: Verkäufer, Haus- und Maschinenarbeit	2,0	52,3
mittelschwere Tätigkeit: Schwerarbeit an Maschinen, Werkstattarbeit	2,8	73,2

Tab. 32 erforderlicher Luftwechsel bei unterschiedlichen Tätigkeiten

Abb. 201 CO₂, Wärme und Wasserdampf-abgabe eines Erwachsenen

7.2.2.2. Küche

Die Abgabemenge an Feuchtigkeit schwankt in diesem Bereich sehr und ist abhängig von der Anzahl der im Haushalt lebenden Personen.

In der nachfolgenden Tabelle ist ein Überblick der Feuchtigkeitsabgabe bei unterschiedlichen Vorgängen angeführt.

Küche	ca. Abgabe in Gramm/Stunde
Kochen und Arbeitsvorgänge	600-1500 g/h
Geschirrspülmaschine beim Öffnen	1000-1500 g/h

7.2.2.3. Bad, Dusche

Im Badzimmer findet nicht nur der Duschvorgang statt, der Körper, die Hände oder die Haare werden auch getrocknet und die Feuchtigkeit verzögert aus den Handtüchern wieder abgegeben. Dasselbe gilt für den Trockenvorgang der Badewanne und des Waschtisches.

In der nachfolgenden Tabelle ist ein Überblick der Feuchtigkeitsabgabe bei unterschiedlichen Vorgängen angeführt. Die Werte für 10 min. duschen wurden aus der Literatur übernommen, die Werte für die verschiedenen Trockenvorgänge im Badezimmer wurden im Selbstversuch ermittelt.

Bad	ca. Abgabe in Gramm/Stunde
Wannenbad	700 g/h
Dusche	2600 g/h
Vorgänge	ca. Abgabe in Gramm/Vorgang
10 min. Duschen	400 g/V
Trockenvorgang des Badehandtuches	80 g/V
Trockenvorgang der Dusche / Wanne	180 g/V
Trockenvorgang kleines Handtuch (Hände)	10 g/V
Trockenvorgang Waschtisch n. Händewaschen	40 g/V
Duschen inkl. Haare waschen	600 g/V
Trockenvorgang Handtuch und Haare	180 g/V

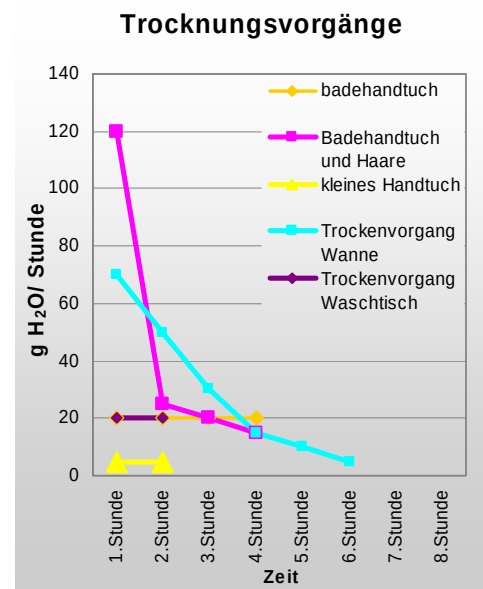


Abb. 202 Trocknungsvorgänge im Bad

7.2.2.4. Wäsche

Die Werte wurden aus der Fachinformation PHI 2000/3 übernommen und im Versuch überprüft. Sie sind stark von den jeweiligen Schleudertouren abhängig. Hier wurde von 600 Touren ausgegangen. Bei höheren Schleudertouren sind niedrigere Werte zu erwarten.

Wäsche	ca. Abgabe in Gramm/4kg Wäsche
Wäschetrockenschrank	2400 g/4kg

Ob das Wäschewaschen einen Einfluss auf die Raumluftfeuchtigkeit hat, hängt selbstverständlich davon ab, ob die Wäsche im Raum getrocknet wird oder nicht. Bei der Verwendung eines modernen Wäschetrockners, wo das Wasser kondensiert und abgeleitet wird, kommt es zu keinem Eintrag von Feuchtigkeit in den Raum.

7.2.2.5. Pflanzen

Da der Luftbefeuchtung durch Pflanzen in dieser Arbeit ein etwas breiterer Raum gewidmet wird, soll hier auch etwas näher auf den Stand der Daten zur Feuchteabgabe von Pflanzen im Innenraum eingegangen werden.

7.2.2.5.1. Recherche: Verdunstungsleistung von Pflanzen, Dr. Christine Volm

Im Zuge des Projektes themenwohnen[^]musik wurde im Auftrag von Pos architekten im Mai 2002 eine Recherche und Literaturstudie zum Thema "Verdunstungsleistung von Pflanzen in Abhängigkeit von der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit, und der Beleuchtungsstärke und

anderer im Raum möglicherweise relevanter Parameter." vom Ingenieurbüro Dr. Christine Volm, 71063 Sindelfingen, Wurmbergstr. 27 durchgeführt.

Nachstehend wird eine Zusammenfassung dieser Arbeit angeführt.

7.2.2.5.1.1. Transpiration bei Pflanzen – physiologische Grundlagen

Die Abgabe von Wasserdampf durch Pflanzen wird als Transpiration bezeichnet. Zum einen ergibt sich daraus ein Kühleffekt, wodurch eine Überhitzung der Pflanze bei hoher Einstrahlung vermieden wird. Zum anderen dient sie der Versorgung der Pflanze mit Wasser und den im Transpirationsstrom gelösten Nährstoffen.

Der größte Teil des Wasserdampfes, ca. 90%, wird durch die Spaltöffnungen (Stomata) der Blätter abgegeben (stomatäre Transpiration). Der restliche Teil der Gesamttranspiration erfolgt direkt durch die Cutikula (cutikuläre Transpiration).

Die Stomata haben zwei hauptsächliche Aufgaben:

- die Nachlieferung von CO₂ für die Photosynthese
- die stomatäre Transpiration, den Verlust von Wasser, zu drosseln

Die treibende Kraft der Transpiration ist das Wasserpotentialgefälle zwischen der nicht wassergesättigten Luft und dem vergleichsweise hohen Wasserpotential des Bodens. Der Wasserverlust der Pflanze muss laufend durch Wasseraufnahme aus dem Boden ersetzt werden. Je größer die transpirierende Oberfläche ist, umso größer ist das Wasserpotentialgefälle zwischen Pflanze und Luft und umso größer ist die Transpiration. Die Haupttranspirationsorgane sind die Blätter.

7.2.2.5.1.2. Tagesgang der pflanzlichen Transpiration

Morgen: Anstieg mit Einsetzen der Belichtung:
photoaktive Öffnung der Stomata

Zunahme: bis Mittag aufgrund zunehmender Erwärmung des Blattes und der Luft (mit Erwärmung der Luft, Abnahme der relativen Luftfeuchtigkeit)

Mittag: Maximum
(es kann es vorübergehend zum Schluss der Stomata kommen, wenn der Wasserhaushalt nicht ausgeglichen werden kann)

Abnahme: bis zum Beginn der Dämmerung

Abend: Die Stomata werden wieder geschlossen

Nacht: Stomata geschlossen, minimale Transpiration

7.2.2.5.1.3. Einflüsse auf das Öffnen und Schließen der Stomata

Licht

Die meisten Landpflanzen reagieren auf Lichteinstrahlung mit Öffnen der Stomata, auf Dunkelheit mit Schließen der Stomata, da bei Dunkelheit bei den meisten Landpflanzen keine Photosynthese möglich ist.

Luftfeuchtigkeit

Bei abnehmender Luftfeuchtigkeit steigt die Transpiration an.

CO₂-Gehalt des Blattgewebes

CO₂ wird für die Photosynthese (Zusammenhang mit Licht) benötigt. Sinkt der CO₂-Gehalt im Blattgewebe durch Verbrauch in der Photosynthese werden die Stomata geöffnet.

Temperatur

Eine Temperaturerhöhung verringert den Feuchtegehalt der Luft und erhöht das Potentialgefälle zwischen Luft und Pflanze und damit die Transpiration der Pflanze. Strahlungsabsorption führt zu erhöhter Temperatur in der Pflanze und fördert den Übergang des Wassers vom flüssigen in den gasförmigen Zustand.

Bei Temperaturen, die über dem für die jeweilige Pflanze erträglichen Maximum liegen, werden die Stomata geschlossen.

Wasserzustand der Pflanze und Windgeschwindigkeit

Ein höherer Wassergehalt der Pflanze erhöht die Potentialdifferenz zwischen Pflanze und Luft wodurch die Transpiration zunimmt. Bei Wassermangel im Blatt werden die Stomata geschlossen.

Die Windgeschwindigkeit hat einen großen Einfluss auf die Transpiration. Beim Austritt aus den Stomata hat der Wasserdampf eine so genannte Grenzschicht zu passieren, bevor er in die Atmosphäre der Luft gelangt. Die Grenzschicht rund um das Blatt ist dick in unbewegter Luft, was die wichtigste Barriere für den Fluss von H₂O und CO₂ darstellt. Eine leichte Zunahme der Windgeschwindigkeit oder der Luftbewegung rund um das Blatt reduziert die Grenzschicht stark was zu einem steileren Potentialgefälle führt und eine Zunahme der Transpiration verursacht. Bei starkem Wind werden die Stomata jedoch zum Schutz vor Austrocknung geschlossen.

7.2.2.5.1.4. Spezifische Untersuchungen zur Transpiration von Pflanzen in Räumen

Leider gibt es, im Gegensatz zu allgemeinen Werten der Transpiration, wenige und teilweise in ihrer Aussagekraft unbefriedigende Untersuchungen zum Verhalten von Pflanzen im Innenraum.

Eine der wenigen Untersuchungen ist die Diplomarbeit von RADTKE (1986) [2]:

RADTKE hat verschiedene gebräuchliche Zimmerpflanzen hinsichtlich ihres Transpirationsverhaltens im Gewächshaus und in Büros untersucht. Er hat in seiner Auswahl lichtbedürftige und schattenertragende Arten beobachtet und verglichen. Untersucht wurden: *Aglaonema maculata*, *Cyperus alternifolius*, *Ficus benjamina*, *Schefflera octophylla*, *Sparmannia africana* und *Spathiphyllum wallisii*.

Der Wasserumsatz und die Transpiration der ausgewählten Arten waren abhängig vom Standort und den dort herrschenden limitierenden Faktoren (Licht, Temperatur und Luftfeuchtigkeit).

Als hauptsächlich limitierenden Faktor für die Stomatareaktion bezeichnet RADTKE das Licht. Dies gilt vor allem für das Winterhalbjahr und für sehr dunkle Standorte im Büro, wo sogar tagsüber bei *Aglaonema maculata* und *Spathiphyllum wallisii* keine Anzeichen einer Stomatareaktion beobachtet werden konnten. Im Gewächshaus dagegen stellte das Licht auch im Winter keinen Mangelfaktor dar. Hier wurden eindeutige Stomatareaktionen beobachtet, damit schließt Radtke auch eine jahreszeitlich bedingte Rhythmik für diese Arten aus. Anders verhält es sich bei *Schefflera octophylla*. Dass sie an keinem Standort Stomatareaktionen zeigt, führt RADTKE auf eine genetisch verankerte Ruheperiode zurück. "Die entscheidenden begrenzenden Faktoren sind für alle Arten in den Büros das Licht und die zu niedrige Luftfeuchte."

Als besonders leistungsfähig hinsichtlich der Luftbefeuchtung stuft RADTKE die lichtbedürftigen Arten *Cyperus alternifolius* und *Sparmannia africana* ein.

RADTKE teilt die untersuchten Pflanzen hinsichtlich des Wasserumsatzes in zwei Gruppen ein:

Pflanzenart	Durchschnittswerte in Liter pro Tag und Pflanze	Transpiration in Mikroliter pro Tag und cm ² Blattfläche (min-max)
1. stark transpirierende Arten		
Cyperus alternifolius	Ø 0,431 l/d und Pflanze	26,3-227 µl*d-1*cm-2
Sparmannia africana	Ø 0,117 l/d und Pflanze	1-215 µl*d-1*cm-2
Ficus benjamina	Ø 0,0544 l/d und Pflanze	23,4-119,4 µl*d-1*cm-2
Schefflera octophylla	Ø 0,0629 l/d und Pflanze	15,5-94,8 µl*d-1*cm-2
2. schwach transpirierende Arten		
Aglaonema maculata	Ø 0,033 l/d und Pflanze	11,3-71,4 µl*d-1*cm-2
Spathiphyllum wallisii	Ø 0,0486 l/d und Pflanze	11,6-64,6 µl*d-1*cm-2

In den Wintermonaten sind die Wasserumsätze in den Büros deutlich geringer als im Frühjahr. Nur bei *Cyperus alternifolius* findet RADTKE während dieser Zeit einen Wasserumsatz pro Pflanze größer als 0,1 l/d.

"Dunkeltranspiration wurde während des ganzen Jahres am Standort Gewächshaus bei *Cyperus alternifolius* und *Sparmannia africana* festgestellt. An den Bürostandorten wurde Dunkeltranspiration besonders am Abend nach hohen Leitfähigkeiten während des Tages gemessen. Deutliches Ansteigen der Leitfähigkeit während der Nacht könnte auf endogene Rhythmik zurückzuführen sein. Alle Arten zeigten eine leichte Öffnung während der Nacht."

Zur Erhöhung der Luftfeuchtigkeit in Büros hält RADTKE *Cyperus alternifolius* und *Sparmannia africana* (mit Einschränkungen) für geeignet. Ob Pflanzen ein Luftfeuchtedefizit in Büros kompensieren können wird von ihm in seiner Diplomarbeit noch als offene Frage gesehen.

7.2.2.5.1.5. Anmerkungen zu Angaben in der Literatur

In der Literatur gibt es zwar Untersuchungen zum Transpirationsverhalten von Pflanzen, diese Untersuchungen haben aber exemplarischen Charakter: Es sind einzelne, ausgewählte Räume und nur wenige Pflanzenarten beobachtet worden. Die Werte, die dabei gewonnen wurden haben also nur für den untersuchten Standort und die dort untersuchten Parameter Gültigkeit.

Es muss davon ausgegangen werden, dass die im Versuch gewonnenen Werte im Objekt nicht unbedingt reproduzierbar sind.

Weiters werden von Herrn RADTKE die Werte der Verdunstungsleistung nur dann für reproduzierbar gehalten, wenn nicht nur dieselbe Pflanzenart und –sorte verwendet wurde, sondern diese Pflanzen exakt dieselbe genetische Information besitzen, also vegetativ vermehrt wurden. Dies gilt auch für das von ihm ausgewählte Prima-Klima-Sortiment.

[Mündliche Mitteilung, RADTKE, 16.05.02]

Auch bezüglich der Herkunft einer Pflanze muss die Reproduzierbarkeit von Transpirationsraten in Frage gestellt werden. So wäre es denkbar, dass es trotz genetischer Übereinstimmung durch unterschiedliche Anzuchtbedingungen zu Modifikationen und damit unterschiedlich hohen Transpirationsleistungen kommt.

7.2.2.5.1.6. Beurteilung des Rechercheergebnisses aus 2002

Wie aus der Recherche ersichtlich wird, ist die Innenraumbegrünung als gärtnerisches Fachgebiet noch nicht in einem Stadium angelangt, wo die Eckparameter von ausreichend vielen Pflanzen vollständig bekannt wären. Die durchgeführten Versuche sind zur Gänze schlecht auf andere Fälle übertragbar, da die Bedingungen unter denen Verdunstungsleistungen von Pflanzen zustande gekommen sind mehr oder weniger, in keinem Fall aber in ausreichendem Maße dokumentiert sind.

Die in der Literatur verfügbaren Angaben zur Verdunstungsleistung von Pflanzen sind deswegen nicht miteinander vergleichbar und auch nicht in weiter anwendbar, da es keinen

Bezug zu Beleuchtungsbedingungen und sonstigen wesentlichen Haustechnischen Parametern gibt. Wenn Verdunstungsleistungen pro Stunde angegeben werden, so geht daraus im Normalfall nicht hervor ob es sich um die Durchschnittsleistung während der belichteten Zeit handelt oder um einen 24h Durchschnitt. Aus unserer weiteren Erfahrung auf dem Gebiet der Luftbefeuchtung durch Pflanzen handelt es sich in den meisten Angaben in der Literatur um Feuchteabgaben während der belichteten Tageszeit was keine genauen Rückschlüsse auf die Tagesproduktion zulässt.

7.2.2.5.2. Grundlagengespräch 9/2001

Ebenfalls im Rahmen des Projektes "themenwohnen musik" wurde ein Grundlagengespräch mit Univ. Prof. Dr. Harald Bolhar-Nordenkamp (Universität Wien) zum Thema Luftbefeuchtung durch Pflanzen geführt. Hier die wesentlichsten Ergebnisse:

Pflanzen besitzen klimatisierende Wirkung, sie sind unter bestimmten, sorgfältig definierten Umständen in der Lage das Raumklima zu verbessern.

Dies geschieht in dreierlei Weise:

Sie geben an die Raumluft Feuchtigkeit ab

Die direkte Umgebung von Pflanzen ist auf Grund der Verdunstungskühle ein Ort anderer Temperatur, durch die daraus resultierende Luftbewegung im Raum lagert sich an den Blättern vermehrt der in der Luft befindliche Staub ab.

Sie sind mit den Mikroorganismen in ihrem Wurzelbereich in der Lage die Luft von verschiedenen Schadstoffen zu reinigen, z.B. Formaldehyd, Benzol und viele andere

Wenn Pflanzen zur Luftbefeuchtung eingesetzt werden sollen, und die Feuchtigkeitsmenge in definiertem Rahmen bleiben soll sind hierfür vor einer präzisen Projektierung und Detaillierung folgende Parameter zu beachten:

Die Feuchtigkeitsabgabe von Pflanzen bewegt sich unter guten Bedingungen in der Größenordnung von 15 - 30g/m² Blattoberfläche und h, wobei 1m² Bodenfläche ca. 2 m² Blattoberfläche entspricht und bei einer Bepflanzung der Wand 1m² Wandfläche ca. 3 m² Blattoberfläche.

Um diese Werte zu erreichen sind folgende Rahmenbedingungen zu beachten:

Eine Pflanze gibt nur Wasser ab wenn sie wächst, d.h. die Pflanzen müssen wüchsig gehalten werden.

Es müssen Pflanzen ausgewählt werden, welche auf ihr konkretes Transpirationsverhalten untersucht wurden, die unabhängig vom endogenen Rhythmus (keine Winterruhe etc.) produzieren und eher geringen Lichtbedarf haben, da für die Befeuchtung der Winterfall relevant ist.

Eine optimale Wasser und Nährstoffversorgung muss gewährleistet werden.

Eine bestimmte Raumtemperatur muss eingehalten werden

Bei einer Luftfeuchtigkeit von 10% und darunter stoppt die Pflanze ihre Feuchtigkeitsabgabe.

Je nach der gewählten Pflanzenart muss eine bestimmte Beleuchtungsstärke vorhanden sein. Neben Licht von oben muss es unbedingt auch Seitenlicht geben im Winter kann sogar eine Zusatzbeleuchtung erforderlich sein.

Die Luftbewegung im Raum darf max. 0,5 m/s betragen.

Die Pflanzenauswahl und Situierung muss so vorgenommen werden, dass die Feuchtigkeit von der vorbei streichenden Luft aufgenommen werden kann, in den Raum gelangt und nicht unter den Blättern "sitzen bleibt".

Die Pflanzen müssen kontinuierlich gärtnerisch gepflegt werden, auf Schädlinge und Pilzbefall überprüft werden, weiters regelmäßig und fachmännisch zurück geschnitten werden.

In Zeiten in denen keine oder zuwenig Feuchtigkeit für die Raumluftkonditionierung erforderlich ist, muss die Feuchtigkeit abtransportiert werden, da neben Schäden an der baulichen Anlage bei zu hohen Luftfeuchtigkeiten auch mit erhöhtem Schädlings und Pilzbefall der Pflanzen zu rechnen ist. Pilzsporen können zwar, bei einer kontrollierten Wohnraumlüftung, aus der mit Feuchtigkeit angereicherten Abluft weggefiltert werden, bei Anlagenstillstand bedürfen diese Filter jedoch einer speziellen Wartung.

7.2.2.5.3. Ergebnisse der Internetrecherche

In der nachfolgenden Tabelle ist ein Überblick der Feuchteabgabe unterschiedlicher Pflanzen angeführt. Auf die Tagesleistung der Pflanzen kann daraus allerdings nicht geschlossen werden, ebenso wenig auf die erforderlichen Licht oder Temperaturbedingungen.

Pflanze	ca. Abgabe in Gramm/Stunde
Zimmerpflanze z.B. Veilchen (Viola)	5 - 10 g/h
Topfpflanze z.B. Farn (Comptonia asplenifolia)	7 - 15 g/h
Wasserpflanze z.B. Seerose (Nymphaea alba)	6 - 8 g/h
Mittelgroßer Gummibaum (Ficus elastica)	10 - 20 g/h
Jungbaum z.B. Buche (Fagus)	2000 - 4000 g/h

7.2.2.5.4. Stand des Wissens zur Feuchteleistung von Pflanzen 2005

Im Projekt themenwohnen musik war es unbedingt erforderlich, für den speziellen Anwendungsfall die Rahmenbedingungen soweit festzulegen und zu dokumentieren, dass anhand des vorhandenen Datenmaterials voraussichtliche Verdunstungsleistungen aufgestellt werden konnten. In einer weiteren Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro B. Häring, D- 84364 Bad Birnbach, dem Ingenieurbüro Manfred Radtke, D- 97205 Veitshöchheim, die in der Grundlagenstudie Dr. Volm mehrfach angeführt werden und über entsprechende Erfahrung verfügen und Pokorny Lichtarchitektur A-1090 Wien konnten die erforderlichen Daten erarbeitet werden.

Manfred Radtke besitzt langjährige Erfahrung und hat eine spezielle Cyperus Pflanze gezüchtet, zu der ihm (und uns) die besten Daten vorliegen, die wir in unserer 4 jährigen Forschungstätigkeit zu dem Thema finden konnten. Die Pflanze aus der Züchtung von Manfred Radtke ist nach unserem Wissen die einzige, zu der ausreichendes Datenmaterial zur Verdunstungsleistung in Abhängigkeit von Standort und Beleuchtung vorliegen. Wir haben sie bereits in zwei Forschungsprojekten in die Planung integriert und nehmen auch in diesem Projekt auf die Pflanze aus der Züchtung von Manfred Radtke Bezug.

7.2.2.5.5. Cyperus alternifolius prima klima ®

Um Pflanzen sinnvoll und haustechnisch berechenbar als Feuchtproduzenten einsetzen zu können müssen Pflanzen verwendet werden, die eine (relativ) fest definierte Verdunstungsleistung aufweisen.

Die Pflanzen müssen in ihrer Verdunstungsleistung durch Licht (und andere Klimaparameter) sicher zu steuern sein. Wichtig ist vor allem, dass die Pflanzen im Wesentlichen unabhängig von endogenen Rhythmen produzieren (keine Winterruhe etc.)

Auswahl:

Als geeignetste Pflanzenart hierfür ist Cyperus anzusehen. Sie sollte verwendet werden. Speziell die Sorte 'Prima Klima' weist eine geeignete hohe Verdunstungsleistung auf und ist in ihrer

Verdunstungsleistung in hohem Maße von der Lichtmenge abhängig.



Abb. 203 *Cyperus alternifolius*

7.2.2.5.5.1. Wirkung von *Cyperus alternifolius*

Genauer botanischer Name: *Cyperus alternifolius* 'Prima Klima®'

Sorte: Züchtung: Selektion von M. R. Radtke

Durchmesser: ca. 10 – 30cm unten, ca. 100 – 130cm oben

Höhe: 130 – 150cm (von Substratoberfläche)

Blattoberfläche: (ca. 7.000cm² Blatt alleine), aktive Oberfläche ist 0,9 – 1,1m²

Wuchsbedingungen (Licht):

Mindestvoraussetzungen sind nicht erforscht, maximal 16 Std. volle Sonne

nötige minimale Lichtstärke:

Cyperus benötigt generell viel Licht (ist also lichtbedürftig). Zu wenig Licht schwächt die Pflanzen (die Pflanzen „zehren“ quasi an ihrer Substanz, vergleichbar mit hungernden Menschen).

Es ist ratsam 800 – 1.000 lx über 8 – 10 Stunden zu gewährleisten.

Verdunstungsreaktion auf Lichteinstrahlung:

Der Wasserumsatz ist direkt abhängig vom Lichtgenuss der Pflanze. Die Transpiration wird tagsüber praktisch verzögerungsfrei über die Lichtmenge gesteuert. Aus pflanzenphysiologischen Gründen verzögert sich jedoch die Reaktion im Laufe des Tages etwas (siehe auch Grafiken). Nachts treten physiologisch bedingte Verzögerungen ein, die aber nicht länger als max. ca. 15 min. dauern.

Verdunstungsleistung der Pflanze:

Cyperus alternifolius 'Prima Klima®' setzt unter optimalen Bedingungen bis zu 1,8 l Wasser pro Tag um. Im Innenraum mit Fenstern oder Zusatzlicht sinkt der Wasserumsatz. Es werden aber dennoch bis zu gut 1l/d und Pflanze erreicht.

Der steilste Anstieg der Transpiration wird zwischen 10 und 20 $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ erreicht (ca. 600 - 1100 lx), Lichtsättigung tritt erst bei ca. 100 μE ein. Bei ca. 600 lx sind 0,3 – 0,5 l/d zu erwarten, bei ca. 1100 lx werden ca. 0,6 – 0,8 l/d umgesetzt, ab ca. 2000 lx sind gut 1l/d Wasserumsatz messbar. Dabei ist natürlich die Länge des Lichtgenusses entscheidend. Sie sollte nicht unter 12 Std. liegen. Die Lichtsättigung von dunklen Pflanzen liegt in Bereich von 1100-1500 lx, bei hell gezogenen oder stehenden bei 2200-2800 lx im Zimmer (außen wohl noch höher).

Die Transpiration ist bei dunkel stehenden Pflanzen niedriger wird aber beim Umstellen ins Helle höher.

Nachts ist von 0,01 - 0,08 l/h auszugehen, hier liegen nur wenige Werte vor.

nötige Ruhezeit der Pflanzen:

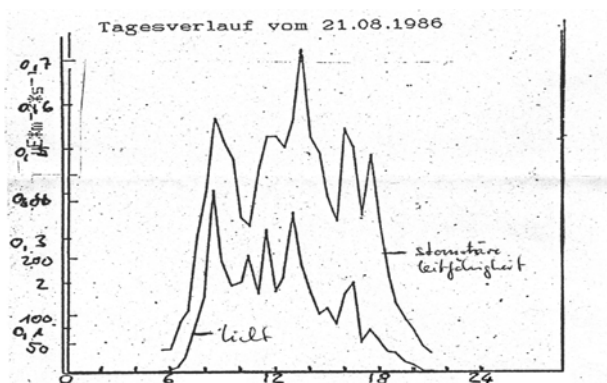
Nach Erkenntnissen aus der Bestrahlung (Belichtung) im Gartenbau brauchen die Pflanzen keine Ruhezeiten.

Temperaturabhängigkeit:

Eine typische Temperaturabhängigkeit der Transpiration ist für *Cyperus* nicht im Detail verfügbar, jedoch ist davon auszugehen, dass der Optimalbereich zwischen 18 und 26°C liegt. Da dies auch der Temperaturbereich ist, in dem sich die Zimmertemperatur bewegt, ist von optimalen Bedingungen auszugehen.

Die Blätter des *Cyperus* weisen bei starker Transpiration und Einstrahlung eine Untertemperatur von 0,5 bis zu 1°C auf. Dies ist auf den Energieverlust durch den Phasenübergang flüssig-gasförmig zurückzuführen.

„Literatur: -Biophysik“, Walter Hoppe et al., Springerverlag;
-„Künstliche Beleuchtung im Gartenbau“, Firma Philips;
- Diplomarbeit von Herrn M. Radtke; Würzburg 1986



x: jeweils die Tageszeit

Y obere Kurve: Lichtintensität

Y untere Kurve: Grad der Spaltöffnung

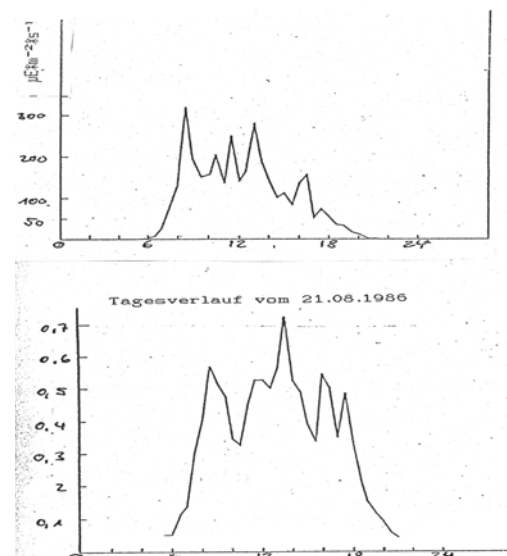


Abb. 204 aus: Diplomarbeit Radtke, 1986, Universität Würzburg
„Stomataverhalten, Transpiration und Wasserumsatz typischer Zimmerpflanzen in Büroräumen und im Gewächshaus. Übereinandergelagerter Tageslauf.

7.2.2.5.5.2. Hygiene/Pflege

Um eine Belastung der Raumluft mit Pollen durch die Cyperus –Blüte zu vermeiden, ist ein Filter vor die Luftentnahmeöffnung zu setzen. (Haustechnik)

Da ein Befall des Cyperus –Bestandes mit Spinnmilben und Thripse zu erwarten ist, werden prophylaktisch Nützlinge (Raubmilben) eingesetzt.

Sporenbelastung durch Pilzbefall aus dem Substrat wird durch Verwendung rein mineralischer Substrate verhindert.

Wartungsaufwand für Pflanzenschutz, Ausschneiden vertrockneter Pflanzenteile und Reinigen der Substratoberfläche ca. 50 Arbeitsstunden pro Jahr.

7.2.2.5.5.3. Verdunstungsleistung der Pflanze

Aus den HrN. Radtke zur Verfügung stehenden Daten und zusätzlichen –speziell für themenwohnen Musik durchgeführten- Messungen der Pflanze unter Kunstlichtbedingungen wurde der Datensatz für eine Normcyperuspflanze am gegebenen Standort zusammengesetzt. Hiefür wurden Daten für eine hell stehende, eine mittel stehende und eine dunkel stehende Pflanze zusammengesetzt und auf der Grundlage des ermittelten mittleren Tageslichtquotienten festgelegt, zu welcher Jahreszeit und wie lange die Pflanzen im Pflanzenpuffer als hell stehend, mittel stehend und dunkel stehend angesehen werden können.

Die Ergebnisse sind in der Graphik zusammengefasst. Der angegebene Stichtag stellt die Mitte der jeweiligen Periode dar.

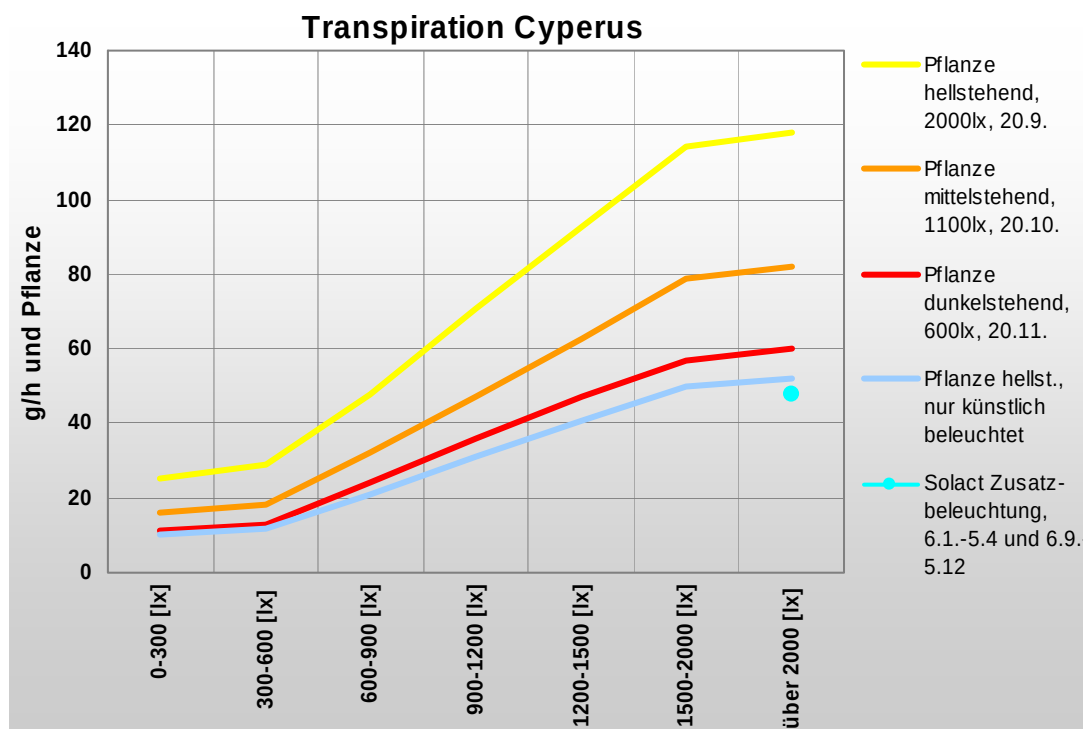


Abb. 205 Transpirationsleistung Cyperus Pflanze spezieller Züchtung, in Abhängigkeit vom Standort

7.2.2.5.5.4. Steuerung der Pflanze

Um eine gewisse Regelbreite zu gewährleisten und während der Heizperiode keine Überschüsse zu produzieren, die abgelüftet werden müssten, kann ein Teil der Verdunstungsleistung im Winter durch Zuschalten einer Zusatzbeleuchtung geregelt werden.

Leuchten a 70 W können in Abhängigkeit vom Bedarf in mehreren Lichtkreisen angesteuert werden.

Die Steuerung erfolgt über einen Klimacomputer.

Über den gleichen Computer werden die automatische Wasserversorgung und die Düngung geregelt.

7.3. Feuchtemanagement in der Passivwohnung

7.3.1. Statische Feuchtebilanz in der Passivwohnung

Wie schon in Kapitel 3.3.8 beschrieben kann die Nutzfläche/Person unterschiedlich hoch sein, nimmt aber Einfluss auf die Lüftung und damit auch auf die Luftfeuchteconditionierung. Im Bereich des Passivhauses wird im Normalfall mit einem mittleren Luftwechsel von 0,3 [1/h] gerechnet, zumindest sollte aber ein Luftwechsel von $20\text{m}^3/(\text{Person h})$ gewährleistet werden.

Im nachfolgenden Berechnungsmodell haben wir in einer Wohnung mit einer Nutzfläche von 75m^2 den Feuchtebedarf und die inneren Feuchtequellen in Abhängigkeit unterschiedlicher Personenbelegungen und Nutzerverhalten miteinander verglichen. Es handelt sich dabei um eine grobe Abschätzung die auf realistischen Annahmen beruht um zu zeigen wie hoch der Feuchtebedarf in einer ausreichend gelüfteten Wohnung im Winter ist, und wie stark die Werte dank Belegungsdichte und Nutzungsintensität voneinander abweichen können.

Bei einer Wohnung mit 75m^2 und einer Raumhöhe von 2,5m entsteht ein Volumen von $187,5\text{m}^3$. Nimmt man eine Belegung mit 2 Personen an erhält man bei einem mittleren Luftwechsel von 0,3 [1/h] einen Luftaustausch von $56,25\text{m}^3/\text{h}$. Bei einer Belegung mit 4 Personen reicht dieser Luftwechsel nicht aus. Er muss auf $20\text{m}^3/(\text{Person h})$ erhöht werden, wodurch ein Luftaustausch von $80\text{m}^3/\text{h}$ entsteht, was wiederum einem Luftwechsel von 0,43 [1/h] entspricht. Dies sind die Vorgaben, die den unten stehenden Varianten zugrunde gelegt wurden.

Bei diesen Gegenüberstellungen muss beachtet werden, dass nicht einfach der Bedarf an Feuchtigkeit durch den Luftwechsel den inneren Feuchtequellen gegenübergestellt werden kann um daraus auf eine ausreichende Luftfeuchtigkeit zu schließen. Dies wäre nur der Fall, wenn die Feuchtigkeit in den Zulufräumen der Wohnung gleichmäßig verteilt würde

In der Realität ist es aber so, dass ein Großteil der Feuchtigkeit in Ablufträumen entsteht, also gar nicht in den Lüftungskreis gelangt. Diese Wassermenge befeuchtet zwar die Abluft, nicht aber die Aufenthaltsräume.

7.3.1.1. Feuchtebedarf in Abhängigkeit der Temperatur und Personenbelegung

Außenluft mit 0°C und einer rel. Luftfeuchte von 75% enthält 3 g/kg Luft, Außenluft mit -10°C und einer rel. Luftfeuchte von 90% nur mehr 1,5 g/kg.

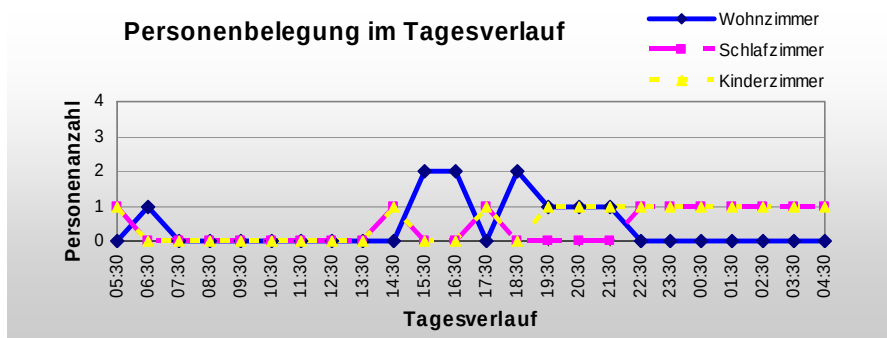
Raumluft von 21°C und einer rel. Luftfeuchte von 40% enthält 6,5 g/kg Luft, bei 60% 9,9 g/kg. Bei einer mittleren rel. Luftfeuchtigkeit von 50% enthält die Raumluft 8,25 g/kg (ca. $1,12\text{kg}/\text{m}^3$ Luft). Somit muss jedes kg Luft 5,25g (8,25g-3g) Feuchtigkeit in der Wohnung aufnehmen. Umgelegt auf die Gesamtluftmenge bedeutet das einen Befeuchtungsbedarf (ohne Infiltrations- und Pufferverluste) von $330,75\text{g/h}$ bei einer Belegung mit 2 Personen, und $470,4\text{g/h}$ bei einer Belegung mit 4 Personen.

Errechnet man nun auf Grund der Personenbelegung und eines typischen Nutzerverhaltens die Feuchtigkeitsabgabe durch innere Feuchtequellen kann man den Feuchtebedarf und die Feuchtigkeit in einer Feuchtbilanz gegenüberstellen. Dieses Verfahren sagt natürlich nicht sehr viel über die tatsächliche relative Feuchte in den einzelnen Räumen aus, es können daraus nur die Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten abgelesen werden. Weiters kann abgeschätzt werden, in welchem Verhältnis der Feuchtebedarf zu den inneren

Feuchtelasten steht, ob theoretisch genug Feuchtigkeit vorhanden wäre, wenn es möglich wäre, diese gleichmäßig und vollständig in der Wohnung zu verteilen und zu bewahren.

7.3.1.1.1. Alleinerzieher mit Kind

Wohnung:	75m ²
Personen:	2
Luftmenge je Person:	28,125 m ³ /h
Gesamtluftmenge:	56,25 m ³ /h = 63,0 kg/h
Außenluft (0°C/75% r.F.):	3 g/kg Luft
Raumluft (21°C/50% r.F.):	8,25 g/kg Luft
Feuchtigkeitsbedarf:	7,94 (kg H ₂ O)/d



Feuchtebilanz

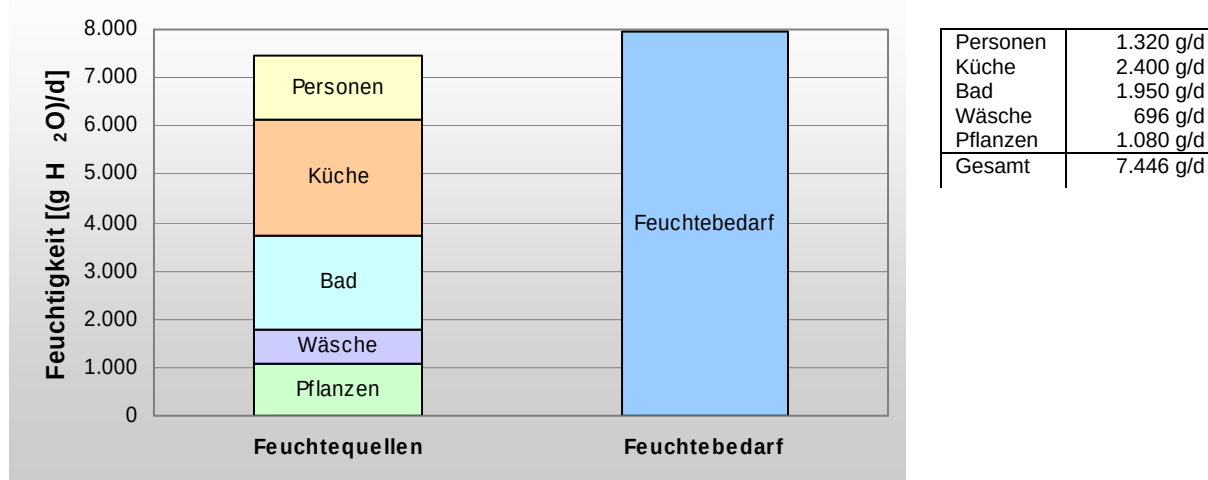
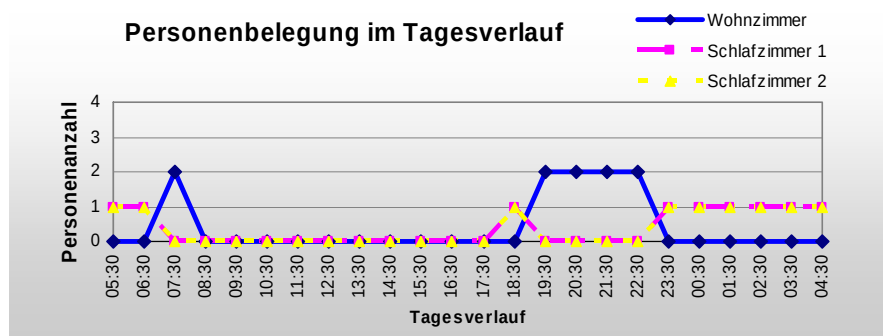
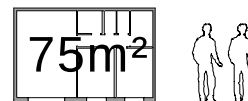


Abb. 206 Feuchtebilanz einer 75 m² Wohnung mit Alleinerzieherin und Kind

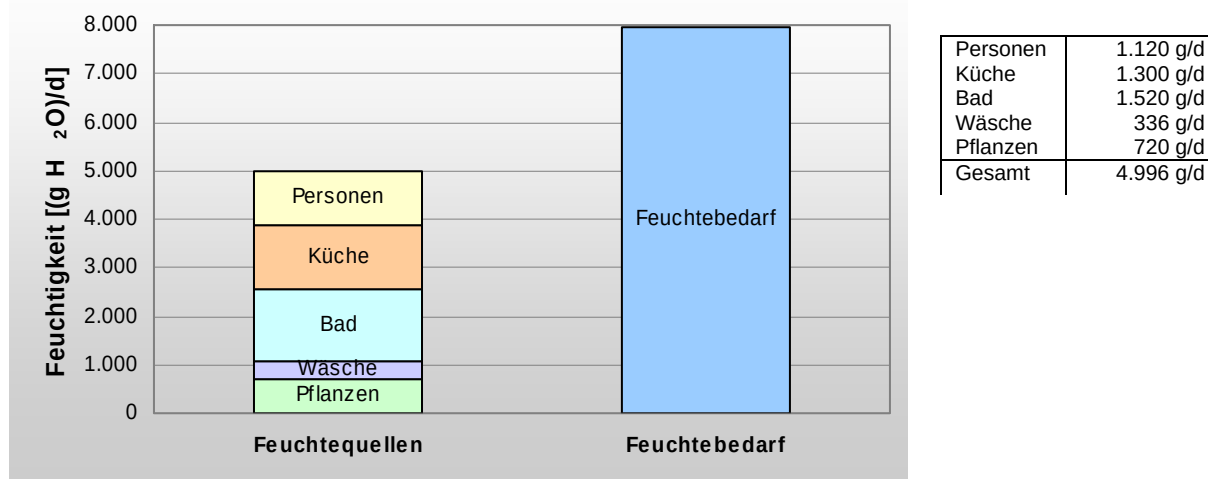
Der Feuchtebedarf um 50 % Luftfeuchtigkeit bei dem minimalen Luftwechsel von 0,3/h durchschnittlich halten zu können, beträgt 7,94 (kg H₂O)/d wovon durch die inneren Feuchtequellen theoretisch 7,45 (kg H₂O)/d, gedeckt werden könnten. Das entspräche bei 100% gleichmäßiger und optimaler Feuchteverteilung eine Abdeckung des Bedarfes von ca.94%. Im Normalfall gelangen die Feuchtmengen aus Bad und Küche aber nicht in die Individualräume, die gleichmäßige Verteilung der Feuchtelasten in der Wohnung findet daher in keiner Weise statt. Das bedeutet, dass die inneren Feuchtequellen den Befeuchtungsbedarf auch bei günstigsten Annahmen nicht abdecken können.

7.3.1.1.2. Wohngemeinschaft mit 2 Singles

Wohnung:	75m ²
Personen:	2
Luftmenge je Person:	28,125 m ³ /h
Gesamtluftmenge:	56,25 m ³ /h = 63,0 kg/h
Außenluft (0°C/75% r.F.):	3 g/kg Luft
Raumluft (21°C/50% r.F.):	8,25 g/kg Luft
Feuchtigkeitsbedarf:	7,94 (kg H ₂ O)/d



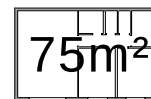
Feuchtebilanz

Abb. 207 Feuchtebilanz einer 75 m² Wohnung mit 2 singles

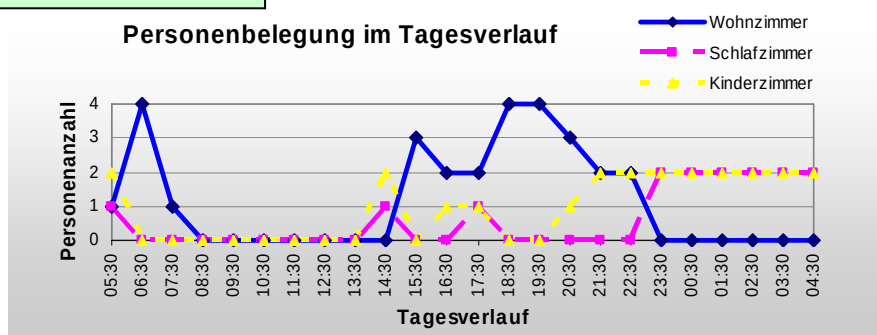
Der Feuchtebedarf beträgt 7,94 (kg H₂O)/d wovon durch die inneren Feuchtequellen 5,0 (kg H₂O)/d theoretisch gedeckt werden könnten. Das entspricht ca. 63% des Bedarfes. Hinsichtlich der gleichmäßigen Verteilung gilt dasselbe wie im vorigen Beispiel. Das bedeutet, dass die inneren Feuchtequellen den Befeuchtungsbedarf **bei weitem** nicht abdecken können. Die zu erwartende Trockenheit im Winter ist hoch.

7.3.1.1.3. 2 Erwachsene mit 2 Kinder

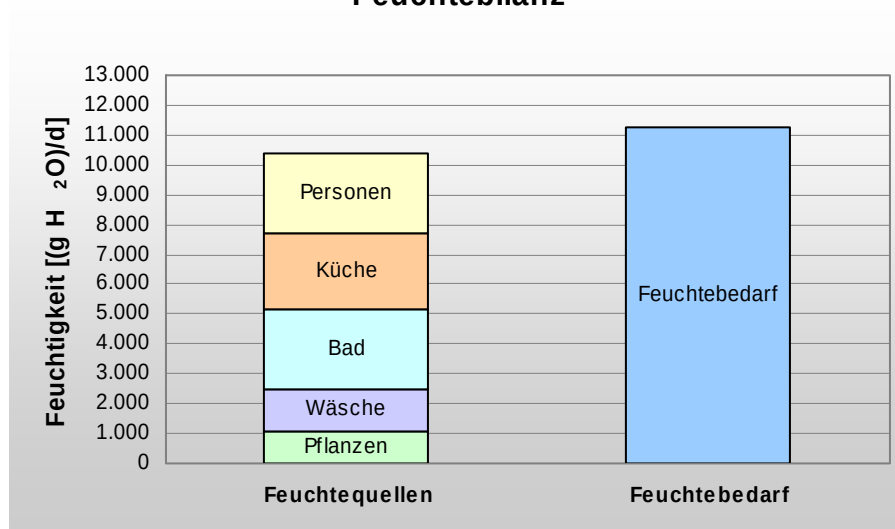
Wohnung:	75m ²
Personen:	4
Luftmenge je Person:	20 m ³ /h
Gesamtluftmenge:	80 m ³ /h = 89,6 kg/h
Außenluft (0°C/75% r.F.):	3 g/kg Luft
Raumluft (21°C/50% r.F.):	8,25 g/kg Luft
Feuchtigkeitsbedarf:	11,29 (kg H ₂ O)/d



Personenbelegung im Tagesverlauf



Feuchtebilanz



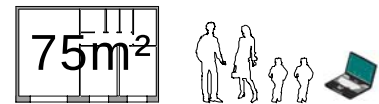
Personen	2.640 g/d
Küche	2.600 g/d
Bad	2.680 g/d
Wäsche	1.368 g/d
Pflanzen	1.080 g/d
Gesamt	10.368 g/d

Abb. 208 Feuchtebilanz einer 75 m² Wohnung mit 2 Erwachsenen und 2 Kindern

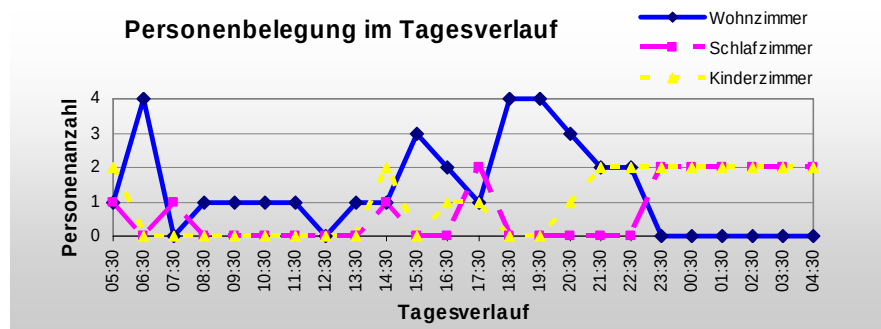
Der Feuchtebedarf beträgt 11,29 (kg H₂O)/d wovon durch die inneren Feuchtequellen 10,37 (kg H₂O)/d. Das entspräche bei 100% gleichmäßiger und optimaler Feuchteverteilung eine Abdeckung des Bedarfes von ca.92%. Im Normalfall gelangen die Feuchtmengen aus Bad und Küche aber nicht in die Individualräume, die gleichmäßige Verteilung der Feuchtelasten in der Wohnung findet daher in keiner Weise statt. Das bedeutet, dass die inneren Feuchtequellen den Befeuchtungsbedarf auch bei günstigsten Annahmen nicht abdecken können.

7.3.1.1.4. 2 Erwachsene mit 2 Kinder, 1 Arbeitsplatz zuhause

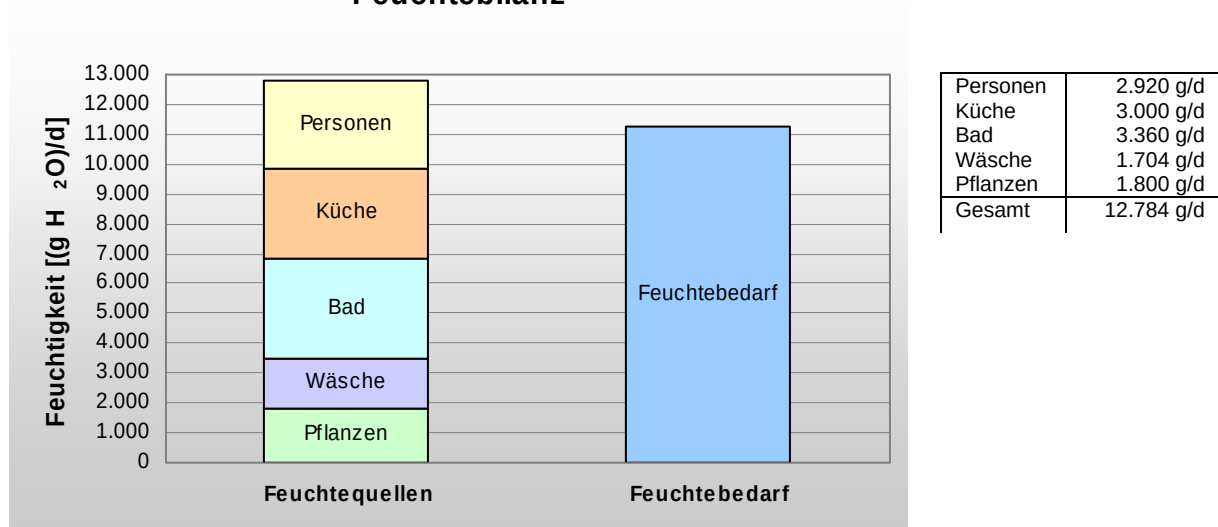
Wohnung:	75m ²
Personen:	4
Luftmenge je Person:	20 m ³ /h
Gesamtluftmenge:	80 m ³ /h = 89,6 kg/h
Außenluft (0°C/75% r.F.):	3 g/kg Luft
Raumluft (21°C/50% r.F.):	8,25 g/kg Luft
Feuchtigkeitsbedarf:	11,29 (kg H ₂ O)/d



Personenbelegung im Tagesverlauf



Feuchtebilanz

Abb. 209 Feuchtebilanz einer 75 m² Wohnung mit 2 Erw., 2 Kindern und einem Heimarbeitsplatz

Der Feuchtebedarf beträgt 11,29 (kg H₂O)/d. Durch die inneren Feuchtequellen entstehen 10,37 (kg H₂O)/d. Das entspräche bei einer 100% Feuchterückgewinnung ca. 113%. und ist somit die einzige Variante, wo die inneren Feuchtequellen den Befeuchtungsbedarf übersteigen würden. Da die Feuchtmengen aus Bad und Küche aber nicht in die Individualräume gelangen, die gleichmäßige Verteilung der Feuchtelasten in der Wohnung daher in keiner Weise statt findet, kann auch hier nicht von der angestrebten Luftfeuchtigkeit im Winter ausgegangen werden, wenngleich ablesbar ist, dass bei geringer Luftmenge und hoher Belegung und Anwesenheit wahrscheinliche Bedingungen zu erwarten sind.

75m² 2Personen		
Alleinerzieher mit Kind		
Bad		
		g/h
6h45 1 P duscht, Wanne, Haare u. Handt. trockn	960,00	
7h15 1 Kind waschen	50,00	
15h00 Händewaschen	60,00	
18h30 Händewaschen	60,00	
19h30 1Kind duscht, Wanne u. Handt. trockn.	760,00	
22h Zähneputzen, Waschb. tr.	60,00	
	1.950,00	g/d
Wäscheschrank		
2 Wäschen/ Woche=		
0,29 Wäschen/Tag	696,00	g/d
Küche		
7h00 Frühstück	300,00	
15h00 Mittags	1.000,00	
Geschirrspüler	1.000,00	
18h30 abends	100,00	
	2.400,00	g/d
Anwesenheit der Personen		
g/h Personenstunden/d		
33 40	1.320,00	
	1.320,00	g/d
Pflanzen		
1Pflanze pro Individualraum a 15 g/h		
24 45	1.080,00	
	1.080,00	g/d
Gesamt		
	7.446,00	g/d

75m² 2Personen		
Wohngemeinschaft 2 Singles		
Bad		
		g/h
7h45 1 Person wäscht Haare, trocknet	220,00	
8h00 1 Person wäscht Haare, trocknet	220,00	
19h00 Händewaschen	60,00	
22h00 1 P duscht, Wanne, Haare u. Handt. trockn	960,00	
23h00 Zähneputzen, Waschb. tr.	60,00	
	1.520,00	g/d
Wäscheschrank		
1 Wäsche/ Woche=		
0,14 Wäschen/Tag	336,00	g/d
Küche		
8h00 Frühstück	150,00	
19h30 Geschirrspüler	1.000,00	
19h30 abends	150,00	
	1.300,00	g/d
Anwesenheit der Personen		
g/h Personenstunden/d		
28 40	1.120,00	
	1.120,00	g/d
Pflanzen		
2Pflanzen im Wohnraum a 15 g/h		
24 30	720,00	
	720,00	g/d
Gesamt		
	4.996,00	g/d

75m² 4Personen		
2 Erwachsene + 2 Kinder		
Bad		
		g/h
6h45 1 Person wäscht Haare, trocknet	220,00	
7h30 1 P duscht, Wanne trocknet	660,00	
15h00 Händewaschen	60,00	
18h30 Händewaschen	80,00	
19h 1 Kind duscht, Haare u. Handt. trocknet	580,00	
19h30 1Kind duscht, Wanne, Haare u. Handt. trockn	960,00	
20h Zähneputzen, Waschb. tr.	60,00	
23h Zähneputzen, Waschb. tr.	60,00	
	2.680,00	g/d
Wäscheschrank		
4 Wäschen/ Woche=		
0,57 Wäschen/Tag	1.368,00	g/d
Küche		
7h Frühstück	400,00	
15h30 Mittags	1.000,00	
Geschirrspüler	1.000,00	
19h30 abends	200,00	
	2.600,00	g/d
Anwesenheit der Personen		
g/h Personenstunden/d		
66 40	2.640,00	
	2.640,00	g/d
Pflanzen		
1Pflanze pro Individualraum a 15 g/h		
24 45	1.080,00	
	1.080,00	g/d
Gesamt		
	10.368,00	g/d

75m² 4Personen + Arbeit zuhause		
2 Erwachsene + 2 Kinder		
Bad		
		g/h
6h45 1 P duscht, Haare u. Handtuch trocknet	580,00	
7h30 1Kind duscht, Wanne, Haare u. Handt. trockn	960,00	
11h30 Händewaschen	50,00	
15h00 Händewaschen	70,00	
19h 1 Kind duscht, Handtuch trocknet	580,00	
19h30 Händewaschen	80,00	
19h30 1P duscht, Wanne, Haare u. Handt. trockn.	960,00	
23h Zähneputzen, Waschb. tr.	80,00	
	3.360,00	g/d
Wäscheschrank		
5 Wäschen/ Woche=		
0,71 Wäschen/Tag	1.704,00	g/d
Küche		
7h Frühstück	500,00	
15h00 Mittags	1.200,00	
Geschirrspüler	1.000,00	
19h30 abends	300,00	
	3.000,00	g/d
Anwesenheit der Personen		
g/h Personenstunden/d		
73 40	2.920,00	
	2.920,00	g/d
Pflanzen		
1Pflanze pro Individualraum a 15 g/h		
3 Pflanzen im Wohnzimmer a 15 g/h		
24 75	1.800,00	
	1.800,00	g/d
Gesamt		
	12.784,00	g/d

7.3.2. Feuchtebewahrung

Wie in den statischen Berechnungen ersichtlich war, ist ein Erreichen von 40 od 50 % rel. Luftfeuchtigkeit im Winter bei ausreichender Lüftung allein mit inneren Feuchtequellen und Lüftungsanlage in normaler Disposition nicht möglich. Die Feuchtigkeit wäre zwar da, wird aber direkt am Ort des Auftretens Abgelüftet und kann der Wohnung kaum zugute kommen. Von der Lufttrockenheit sind normalerweise weniger Wohnräume mit angelagerter Küche als die Individualräume betroffen, weil es dort üblicherweise keine nennenswerten Feuchtequellen gibt. Außerdem wird gerne vergessen, dass das Erzeugen von Feuchtigkeit Energie verbraucht. Die jedenfalls entstandene Feuchtigkeit rückzugewinnen ist daher ebenso energieeffizient wie die Wärmerückgewinnung. Feuchtbewahrung sollte daher eigentlich oberstes Ziel sein.

Da in der Luft jedoch auch Bakterien und Geruchsstoffe enthalten sind, ist die Rückgewinnung von Feuchtigkeit ein wesentlich komplexeres Thema als die Übertragung von Wärme. Generell gibt es zur Frage der Übertragung von unerwünschten Stoffen gemeinsam mit der Feuchtigkeit noch keine ausreichende uns bekannte Forschung.

7.3.2.1. Feuchterückgewinnung mit Rückgewinnungsgerät

Es gibt am Markt bereits Geräte, die Wärme und Feuchte rückgewinnen können. Es sind den Verfassern jedoch keine Geräte mit Zertifizierung des Passivhaus Institutes Darmstadt bekannt.

Die Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung werden üblicherweise mit einem Rotationswärmetauscher (Enthalprierückgewinner) ausgerüstet: Ein poröses Material nimmt abluftseitig Wärme und Feuchte auf, wird dann auf die Zuluftseite gedreht und gibt Energie und Feuchte an die Zuluft wieder ab. Eine Entkopplung zwischen Wärme- und Feuchtaustausch ist durch speziell ausgeführte Rotationswärmetauscher in bestimmten Ausmaß möglich. Derzeit in Entwicklung befindliche Lüftungsgeräte für den Wohnbereich basieren auf Wärmetauschern aus Membranen, d.h. die Tauscherflächen sind zwar strömungsdicht, aber diffusionsoffen gestaltet. Hier ist eine Entkopplung von sensibler Wärme und Feuchte wohl nicht möglich.

Wie funktioniert die Drehzahlsteuerung des Enthalprierückgewinners ?

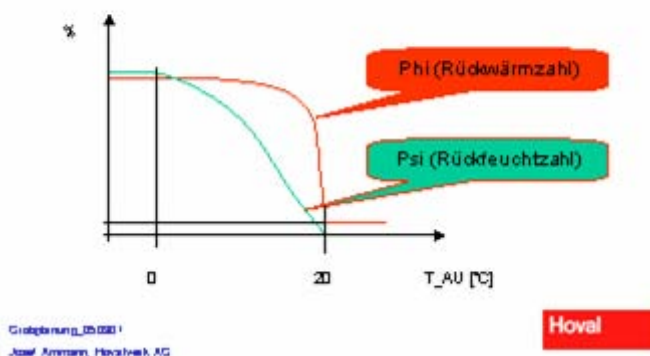


Abb. 210 Rückwärme und Rückfeuchtzahl eines Enthalprierückgewinners.

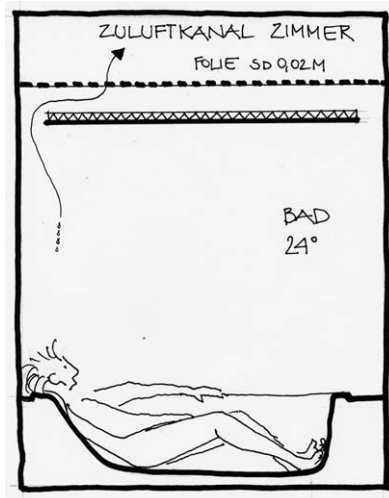
Abb. 210 zeigt die von der Firma bekannt gegebenen Rückwärme- und Rückfeuchtekurven.

Zur Feuchterückgewinnung ist generell anzumerken: Im Wohnbau gibt es genügend innere Feuchtequellen. Es wäre daher mit einer effizienten Feuchterückgewinnung jedenfalls möglich komfortable Feuchtebedingungen auch im Winter zu bewahren. In unsere Raumfeuchtesimulationen haben wir eine Variante mit Feuchterückgewinnung mit aufgenommen.

Im Bürobau jedoch, wo kaum nennenswerte innere Feuchtequellen existieren, kann mit der Feuchterückgewinnung nur ein Teil der erforderlichen Feuchteanhebung bewältigt werden.

Generell steckt im Thema Feuchtebewahrung noch großer Forschungsbedarf.

7.3.2.2. semipermeable Baddecke



Schemaskizze Zuluftdecke im Bad

Die Idee, die Feuchtigkeit der Abluft in die Zuluft zu übertragen verfolgten wir bereits in unserem HdZ Projekt themenwohnen musik.

Zu diesem Zweck haben wir folgendes System erfunden:

Die Feuchtigkeit des Bades sollte für die Räume genutzt werden können, es kann jedoch nicht einfach die Zuluft durch das Bad geführt werden.

Es sollte also eine Möglichkeit geschaffen werden, die Feuchtigkeit in die Zuluft zu übernehmen und trotzdem die Zuluft von der Luft im Bad zu trennen.

Eine Möglichkeit besteht darin, im Bad eine dichte Zwischendecke zu schaffen. Die gesamte Zuluft für die Individualräume (im Fall einer 110m² Wohnung sind das 100m³) wird vor dem Wäscheschrank über den Hohlraum oberhalb der Zwischendecke im Bad geführt.

Diese Zwischendecke wird durch eine 4m² große permeable Folie gebildet, wie sie üblicherweise als Winddichtungen eingesetzt werden. Diese Folien sind luftdicht, hoch dampffest (sd 0,02 m) und wisch- und wasserfest.

Über diese Folie kann die Feuchtigkeit im Bad zur Gänze in die Zuluft übernommen werden. Das System ist sogar insoweit selbst regulierend als das Dampfdruckgefälle zwischen Bad und Zuluftdecke die übertretende Feuchtigkeitsmenge direkt beeinflusst.

Für den Sommerfall ist das Bad ebenso wie in konventionellen Lüftungsanlagen an die Abluft angebunden. Durch Öffnen eines einfachen Schiebegitters (welches keine erhöhten Anforderungen an die Dichtheit besitzt) kann das Bad konventionell als Abluftzone aktiviert werden.

Wird die allgemeine Zuluft nicht nachgewärmt und hat somit lediglich die Temperatur, die sie nach Erdwärmetauscher und Lüftungswärmerückgewinnung angenommen hat, ist es im Bad notwendig (wie in der Skizze dargestellt) in ca. 15cm Entfernung unter die Folie eine weitere Schicht mit oben liegender Wärmedämmung zu hängen, die eine zu kühle Abstrahlung von der Decke verhindert. Diese Schicht verhindert weiters die mechanische Beschädigung der Folie. Sie muss an den Rändern genügend weit von der Wand abgesetzt sein, um einen ungehinderten Luftaustausch bis zur Folie zu ermöglichen.

Dieses System haben wir im Projekt themenwohnen musik simuliert und damit ausgezeichnete Werte erhalten. Für die Übertragung der Feuchtigkeit war jedoch eine gewisse Fläche erforderlich, für die damals simulierte 110 m² Wohnung mussten min. 4 m² permeable Folie im Bad nachgewiesen werden.

Leider konnte das System bisher nicht realisiert werden. Es stellt eine einfache und gut kontrollier- und wartbare Möglichkeit dar, und ist mit den derzeit am Markt vorhandenen Wärmerückgewinnungsgeräten (die äußerst effizient und gut entwickelt sind) ohne weiteres kombinierbar.

7.3.2.3. Wäschetrockenschrank

Da die Übertragung der Feuchtigkeit aus dem Bad für eine Luftfeuchtigkeit über 45% nicht ausreicht, sollte auch noch die Feuchteleistung der trocknenden Wäsche zur Befeuchtung verwendet werden. Es gibt seitens des Passivhausinstitutes Untersuchungen zu Wäschetrockenschränken, allerdings nur in der Abluft, mit den daraus resultierenden Problemen (siehe. Fachinformation PHI 2000/3).

Die am Markt vorhandenen Wäschetrockenschränke sind normalerweise mit einem Ventilator und einer Lufterwärmung ausgestattet. Durch die Einbindung in die Abluft kommt die Feuchtigkeit den Räumen natürlich nicht zugute, weiter können Geruchsstoffe aus der Raumluft an der Wäsche abgelagert werden.

Eine Lösung dafür ist das Einbinden des Wäschetrockenschrankes in die Zuluft. Die gesamte Zuluft für die Individualräume (im Fall einer 110m² Wohnung sind das 100m³) wird über ihn geführt. Die übliche Problematik mit der verunreinigten Abluft und der ungenügenden Durchspülung des Schrankes ohne zusätzlichen Ventilator entfällt dadurch.

Durch die höhere Zuluftmenge/h (als Abluftmenge im Bad) und die Tatsache, dass die Zuluft wesentlich trockener als die Badabluft ist, kann die Trocknungszeit im Vergleich zur Ablufttrocknung wesentlich verkürzt werden.

Auf diese Weise kann die gesamte Feuchtigkeit der Wäsche den Individualräumen zur Verfügung gestellt werden. Eine Simulation hat ergeben, dass dies sogar im Sommer beibehalten werden kann.

An Hand des Schleudergrades der Wäsche kann die zugeführte Feuchtigkeitsmenge sogar noch reguliert werden.

7.3.2.4. Feuchte aus der Küche

Üblicherweise stellt sich das Trockenheitsproblem vorwiegend in den Individualräumen. Wohnräume sind ja meist an Küchen angelagert und die dort anfallende Feuchtigkeit könnte direkt genützt werden.

Um die Feuchtigkeit aus der Küche für den Wohnraum wirksam nützen zu können, sollte in der Detailplanung darauf geachtet werden, dass die entstehende Feuchtigkeit mit der Raumluft vermischt wird, bevor diese abgesaugt wird.

Für die heutigen Anforderungen an den Wohnkomfort müsste ein Umluftdunstabzug direkt über dem Herd Fette und Geruchsstoffe aus der abgesaugten Luft filtern, Feuchtigkeit mit der ausgeblasenen Luft wieder dem Raum zuführen.

Für Räume mit kontrollierter Be- und Entlüftung muss die Absaugung der Raumluft so positioniert werden, dass zumindest eine gewisse räumliche Entfernung der Absaugung vom Geschirrspüler und der Spüle gegeben ist.

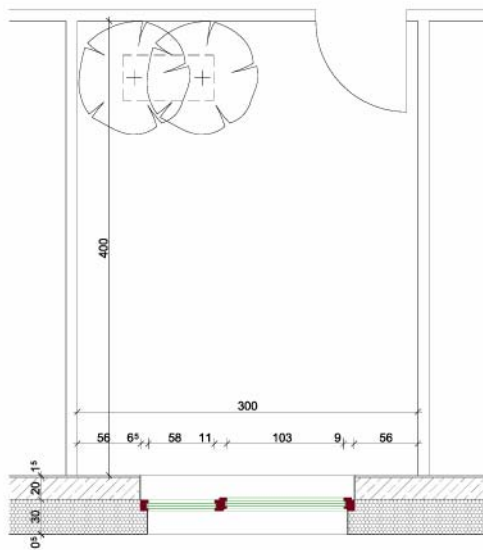
7.3.3. Feuchterzeugung mit Pflanzen, Raumsimulation

Die Wirkung unterschiedlicher Verfahren zur Befeuchtung von Wohnräumen wird mittels dynamischer Gebäudesimulation für ein typisches Zimmer untersucht.

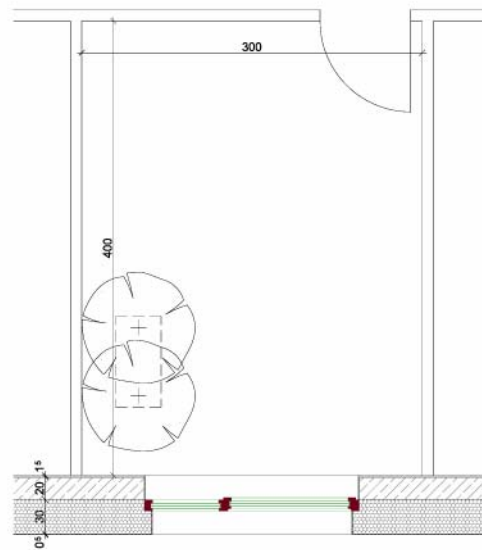
7.3.3.1. Standardvarianten

Die Standardvariante dieses 12m² großen Zimmer in Passivhausqualität wird über ein Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung mit Frischluft versorgt, 2 Pflanzen stehen in unmittelbarer Nähe des Fensters. In den Standardvarianten A und B wurden zwei unterschiedlich große Fenster abgebildet, zudem wurde der Standort der Pflanzen variiert. Neben der Aufstellung in Fensternähe gibt es noch eine Aufstellung der Pflanzen an der Rückwand des Raumes.

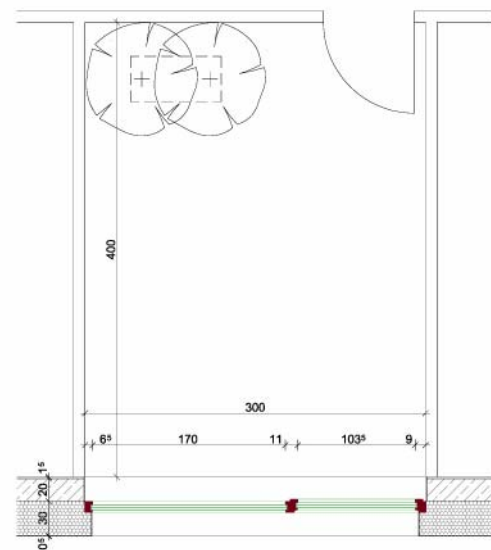
Der Standort der Pflanzen wird mit den Kürzeln v für vorne und h für hinten bezeichnet.



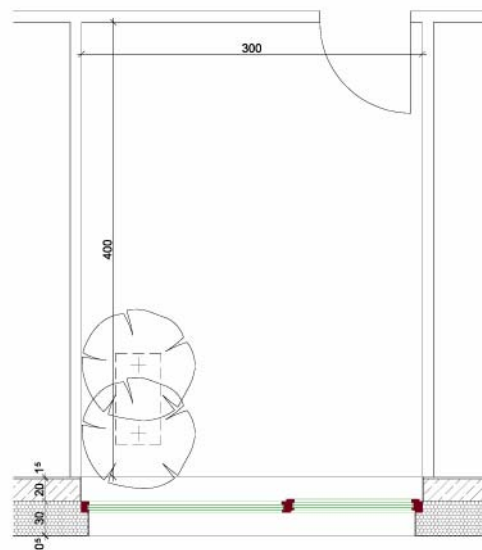
Grundriss Ah



Grundriss Av



Grundriss Bh



Grundriss Bv

Im Detail sind die Eigenschaften dieses Zimmers und der Nutzung in Standardvariante A und B in der folgenden Tabelle charakterisiert:

Kennwert	Standardvarianten A und B
Fenstergröße	Standardvariante A: 3m ² Fensterfläche (25% der Nutzfläche), Rahmenanteil 17.8% Standardvariante B: 4.8 m ² Fensterfläche (40% der Nutzfläche) Rahmenanteil 23.4%
Soll-Raumlufttemperatur Winter	20°C
Luftmengen	Standardluftwechsel 20 m ³ /h, Grundluftwechsel 12m ³ /h
Luftwechsel	Standardluftwechsel 21h-8h; 16h-19h; ansonsten Grundluftwechsel
Wirkungsgrad Wärmerückgewinnung	thermisch 80%
Regelung Lüftung	Bis 18°C und über 26°C Außenlufttemperatur über Wärmerückgewinnung, ansonsten über Sommerbypass
Feuchterückgewinnung	nein
Undichtigkeit	Luftwechsel durch Infiltration 0.042/h, es wird kein Luftwechsel mit anderen Räumen angenommen
Fensterlüften	Luftwechsel 1,5/h bei geöffneten Fenster, Thermisch: Winter ab 26°C, Sommer ab 25°C Raumlufttemperatur; Feuchte: Ab 80% Raumluftfeuchte wird abgelüftet, bis 75% erreicht werden
Personenbelegung	1 Person 20h-7h und 15h-18h
Orientierung	Ost
Pflanzenanzahl	2 Pflanzen, die fensterseitig situiert sind: Standardvariante A: 1 Pflanze wird von Direktlicht (Abminderung 80% durch Eigenverschattung), 2. Pflanze nur durch Indirektlichtanteil getroffen Standardvariante B: Beide Pflanzen werden von Direktlichtanteil getroffen (Abminderung 80% durch Eigenverschattung)
Feuchteabgabe	Personen 40g/h; Pflanzen siehe Kapitel Annahmen
Verschattung	Außenliegende Verschattung, im Winter ab Raumlufttemperatur 25°C, im Sommer 24°C heruntergelassen, zusätzlich Verschattungswirkung ausschließlich durch Laubung und Verschmutzung (5%)
Decke	18cm Beton, gesp., gestrichen, 5cm Schüttung, 3cm Trittschalldämmung, 6cm Estrich, 4mm Parkett
Wände	1,25cm GK, gesp. gestrichen, 7,5cm Min.wolle
Fenster	U _g =0.7W/m ² K, U-Rahmen 0.8W/m ² K, ψ -Glasrandverbund 0.035W/mK, Rahmenanteil Standardvariante A 23,4%, Standardvariante B 17,8%

7.3.3.2. Variantendarstellung

Für die quantitative Abschätzung der feuchterelevanten Einflüsse wurden die folgenden Varianten simuliert:

Variante	Kurzbezeichnung	Beschreibung
Var. 0: Referenzvariante	Bh0_Ref	keine Pflanzen
Var. A/B: Standardvariante	Bh_Standard	Beschreibung siehe oben
Var. 2: Lehm	Bh2_Lehm	Decke 1,5cm Lehmputz, Wände 1,5cm Lehmputz auf Lehmbohle, Fußboden 2,1cm Parkett geölt
Var. 3: Luftwechsel durchgehend 20m³/h	Bh3_Luftdurch	Standard-Luftwechsel durchgehend
Var. 4: Luftwechsel gering 15m³/h - 7.5m³/h abwesend	Bh4_Luftgering	Standard-Luftwechsel 15m³/h, Grundlüftung 7.5m³/h
Var. 5: Südverglasung	Bh5_Sued	Fenster südorientiert
Var. 6: Nordverglasung	Bh6_Nord	Fenster nordorientiert
Var. 7: 1 Pflanze	Bh7_Pflanz1	1 Pflanze
Var. 8: 4 Pflanzen	Bh8_Pflanz4	4 Pflanzen
Var. 9a: Referenzvariante mit Feuchterückgewinnung	Bh9_FeuWRGref	Keine Pflanzen, Feuchterückgewinnung mittels Rotationswärmetauscher 85%, Wärmerückgewinnung 83%
Var. 9: 1 Pflanze, Feuchterückgewinnung	Bh9_FeuWRGPflan z1	1 Pflanze, Feuchterückgewinnung mittels Rotationswärmetauscher 85%, Wärmerückgewinnung 83%
Var. 10: Verschattung Nachbar	Bh10_SchattNachb	Häuserzeile vor Zimmer, Abstand entspricht Höhe (45°)
Var. 11: Kunstlicht	Bh11_Kunstlicht	Kunstlicht mit 70W und 2000lx, feuchtegeregt Zielfeuchte 40-45% im Winter, Sommer ausgeschaltet

7.3.3.3. Standardvarianten und Referenzvariante

Die Vorabanalyse der Größenordnung der unterschiedlichen hygrischen Beiträge wird anhand des dynamischen Verlaufs der Feuchtebeiträge von Standardvariante A und der Referenzvariante durchgeführt. Die wesentlichen Feuchte-Beiträge sind in der folgenden Abbildung für eine sehr kalte Februarwoche dargestellt.

Feuchteabgabe:

- Durch die Pflanzen werden insbesondere am Vormittag (direkte Sonne durch Ostverglasung) verhältnismäßig hohe Wassermengen abgegeben. Diese bewirken eine (kurzfristige) Erhöhung der relativen Feuchte um ca. 5% absolut.
- Außerhalb dieser Zeit ist die Abgabe der Pflanzen gering (ca. 1/3 der Gesamtleistung), da die Diffusstrahlung verhältnismäßig geringe Beleuchtungsstärken bewirkt.
- Die Feuchteabgabe durch Personen überwiegt in Perioden mit geringer Einstrahlung (ca. 2/3 der Gesamtleistung), kann allerdings nur die relative Feuchte einigermaßen konstant halten.
- In der Referenzvariante wird nur die Feuchteabgabe der Person wirksam.

Mechanische Lüftung:

- Durch den verhältnismäßig hohen Unterschied der absoluten Feuchten innen und außen von ca. 3g/kg wird trotz bedarfsgerechten Luftwechsels eine hohe Entfeuchtungsleistung von über 5g/m² durch die Lüftungsanlage erreicht.
- In der Referenzvariante ist die Entfeuchtungsleistung durch die geringere Differenz der absoluten Feuchte innen-aussen deutlich geringer.

Infiltration:

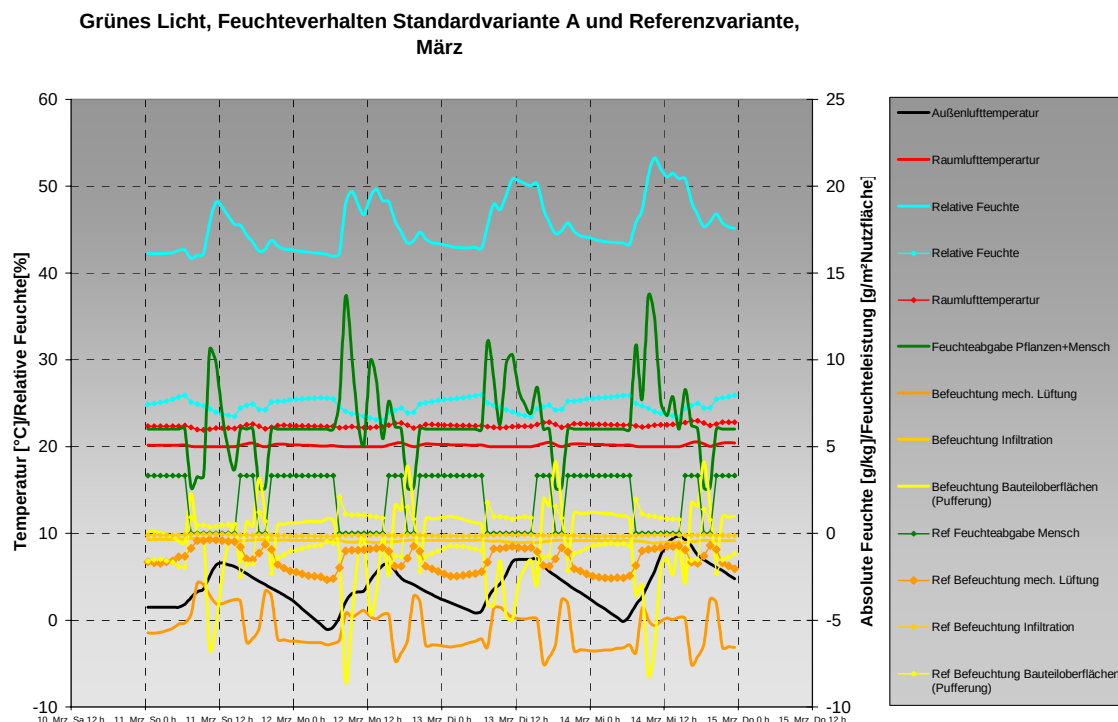
- Durch die hohe Luftdichtigkeit in Passivhausqualität ist die Entfeuchtungsleistung durch Undichtigkeiten prinzipiell sehr gering.

Feuchtespeicherung Bauteiloberflächen:

- Durch die meist wenig sorptiven Oberflächen werden bis ca. 5g/m² Nutzfläche Wasser in die Bauteile eingelagert und wieder abgegeben. Durch die im Falle der Pflanzen höhere vorhandene Feuchtemengen ist in diesem Fall eine stärkeres Pufferverhalten sichtbar.

Insgesamt kann die relative Feuchte durch den Einsatz von Pflanzen in dieser sehr kalten Periode um ca. 10% erhöht werden.

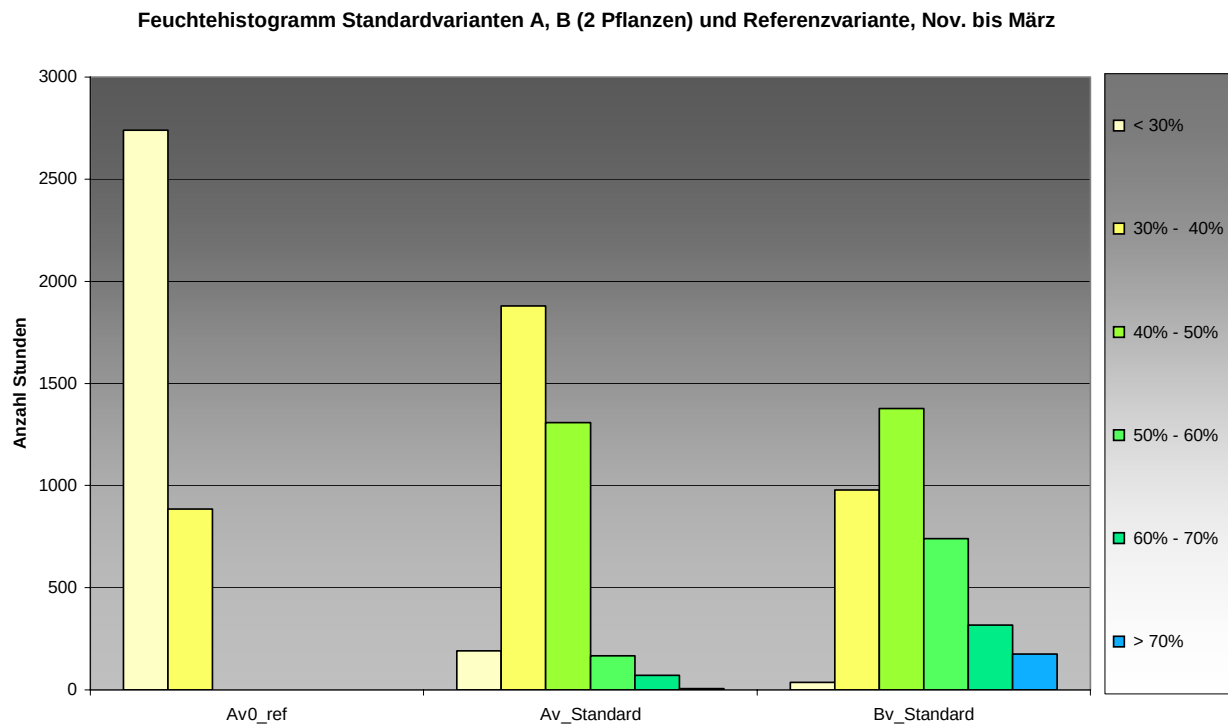
Das thermisch-hygrische Verhalten in einer typischen Märzperiode stellt sich wie folgt dar:



- Im Unterschied zur sehr kalten Periode im Februar werden durch die erhöhte direkte und indirekte Strahlung bereits beträchtliche Feuchtemengen durch die Pflanzen abgegeben. Die relative Feuchte liegt im behaglichen Bereich zwischen 40 und 50%. Durch die Verdunstungskühlung bleibt die Raumlufttemperatur auf annähernd 20°C
- In der Referenzvariante steigt die Raumlufttemperatur auf ca. 23°C an, der außenliegende Sonnenschutz wird noch nicht eingesetzt. Durch die höhere Raumlufttemperatur liegt die Raumluftfeuchte deutlich unter 30%. Dies könnte durch

Verwendung des Sonnenschutzes und damit Absenkung der Raumlufttemperatur vermieden werden.

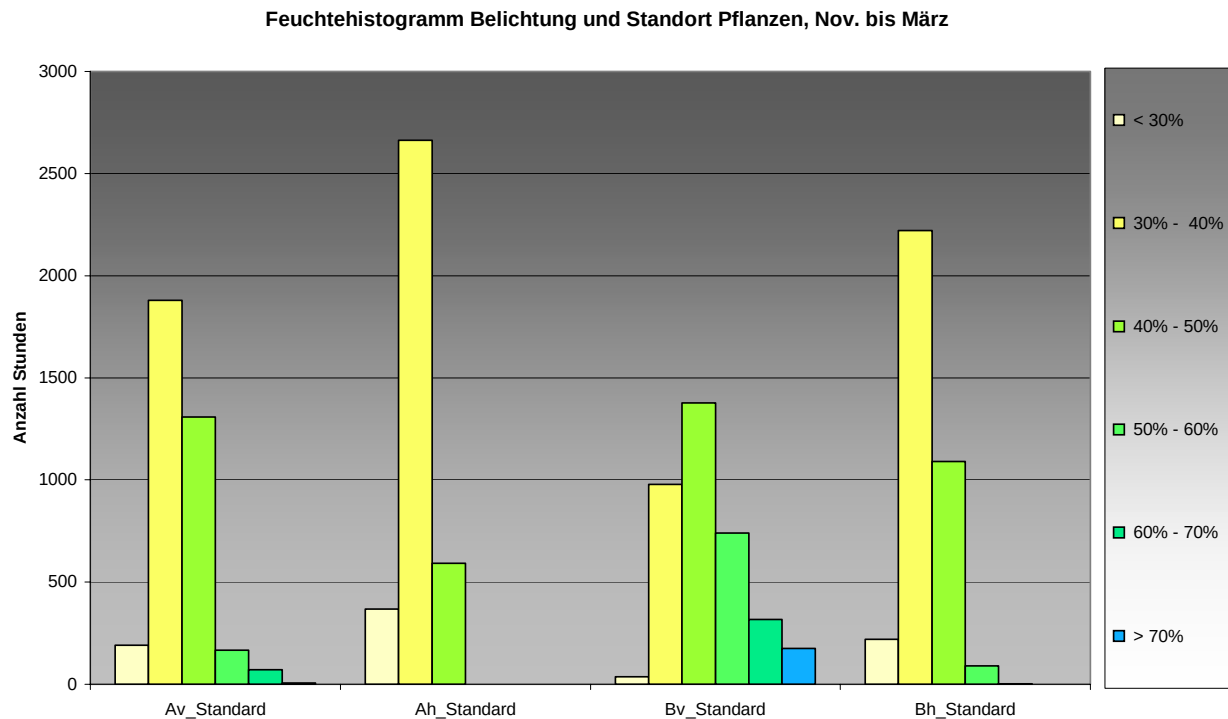
Ein quantitativer Vergleich über die Wintermonate November bis März ist in der folgenden Grafik dargestellt. Av bedeutet dabei kleines Fenster, Pflanzen vorne, Bv großes Fenster und Pflanzen vorne. 0_ref ist die Referenzvariante ohne Pflanzen.



- In der Referenzvariante treten an über 2500 Stunden relative Feuchten unter 30% an, das entspricht ca. 75% der gesamten Stunden.
- In den Zimmern mit 2 Pflanzen und Standardfenster (Standardvariante A) kann die Stundenzahl im trockenen Bereich von unter 30% deutlich reduziert werden, diese treten nur an 5% der gesamten Zeitperiode auf. Zum großen Teil liegen die relativen Feuchten zwischen 30 und 40%, 40 % der Stunden auch im empfohlenen Bereich über 40% relativer Feuchte.
- Durch den höheren Verglasungsanteil kann das Behaglichkeitsniveau in Standardvariante B noch deutlich erhöht werden: Trockene Raumluftzustände werden fast durchwegs vermieden, zum größten Teil treten relative Feuchten über 40% auf. Relative Feuchten über 70%, die in der Übergangszeit auftreten, können durch Verlagerung der Pflanzen in den Außenbereich (Balkon, Terrasse) vermieden werden.

7.3.3.4. Belichtung und Aufstellungsort der Pflanzen

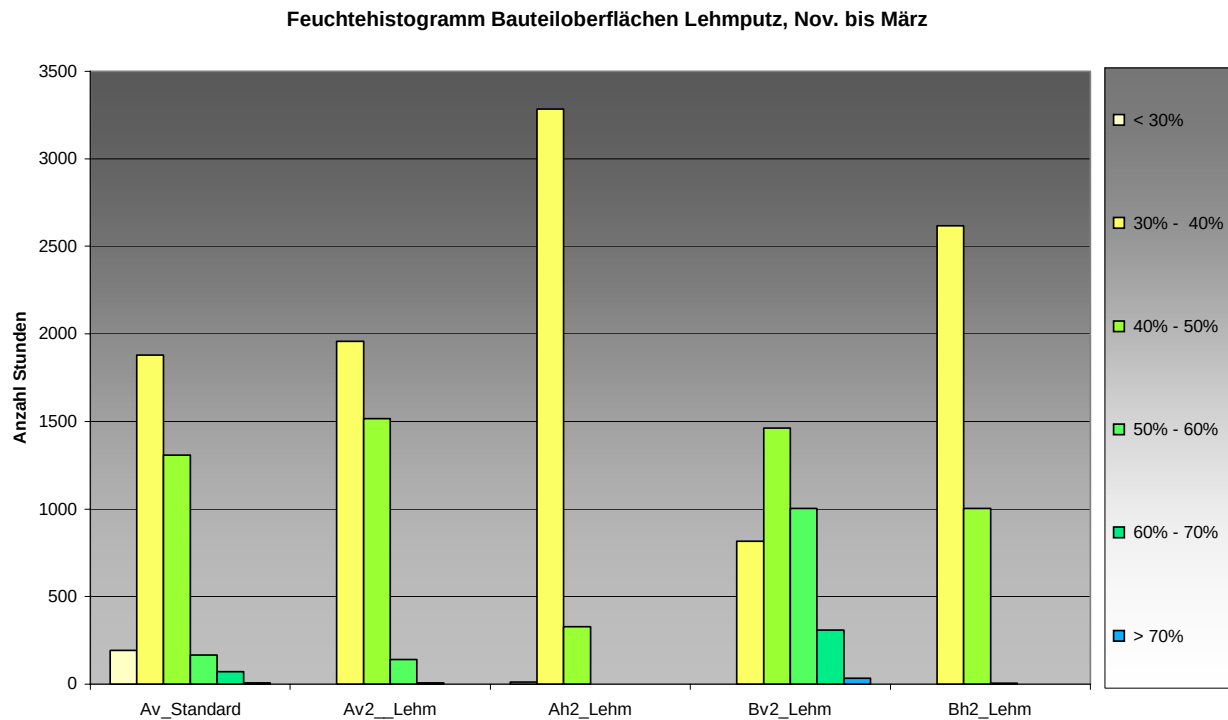
Um den Einfluss des Standortes und der Verglasungsfläche auf die Raumluftheuchte abzubilden, wurden 2 Fenstergrößen und 2 Aufstellungsorte vorne am Fenster und hinten im Raum simuliert. Für die Periode November bis März ergeben sich die folgenden Verteilungen der relativen Feuchte:



- Die bereits diskutierte Standardvariante A mit Pflanzenanordnung am Fenster weist während 50% der Stunden relative Feuchte zwischen 30 und 40% auf, ähnlich hoch ist der Anteil im behaglichen Bereich von 40-70%. Stunden unter 30% relativer Feuchte treten nur an 5% der Stunden auf.
- Ein relativ ähnliches Profil wird für das Zimmer mit großem Fenster bei Situierung der Pflanzen im fensterfernen Bereich erzielt. Die Kennwerte sind allerdings zu niedrigeren relativen Feuchten verschoben. Der schlechte Standort der Pflanze hinten kann also durch das große Fenster kompensiert werden. 40 % der Nutzfläche als Fensterfläche ist allerdings im Wohnbau ein selten erreichter Wert.
- Vergleichsweise ungünstige relative Feuchten werden für den Fall Standardfenster mit im hinteren Bereich aufgestellten Pflanzen erreicht, da auch in den Übergangsmonaten nur wenig Licht die Pflanzen erreicht. Daher wird auch am Tag meist nur der Grund-Feuchteumsatz gewährleistet. Nur während ca. 15% der Zeit können behagliche Raumlufzustände von über 40% relativer Feuchte erzielt werden, allerdings treten sehr trockene Perioden nur an 10% der gesamten Zeiträume auf, eine immer noch deutliche Verbesserung zur Referenzvariante.
- Bereits sehr günstige Raumlufzustände weist die bereits dargestellte Standardvariante B mit großem Fenster und Aufstellung der Pflanzen vorne am Fenster. Fast während 70% des betrachteten Zeitraums liegen die relativen Feuchten zwischen 40 und 70%, an knapp 30% treten zwar nicht optimale allerdings noch akzeptable relative Feuchten von 30-40% auf. Feuchtespitzen über 70% im Frühjahr könnten durch ins Freie stellen zumindest einer Pflanze vermieden werden.

7.3.3.5. Bauteiloberflächen

Der Einfluss der Feuchtepufferung durch besonders hygrysch wirksame Bauteiloberflächen wie Lehmputz an Decke und Wänden und einen geölten Holzfußboden bewirkt vor allem eine Dämpfung der Feuchtespitzen und -senken. Die Verteilung ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



- Durch den Einsatz von hygrysch günstig wirkenden Lehm- und Holzbaustoffen können in allen Varianten trockene Raumluftzustände unter 30% vermieden werden.
- Durch die höhere hygrysche Speichermasse treten die mittleren relativen Feuchten häufiger auf: im Falle der ungünstigsten Variante mit Standardfenster und Pflanzenaufstellung hinten (Ah2_Lehm) treten nunmehr fast nur noch relative Feuchten zwischen 30 und 40% auf, im Falle der günstigsten Varianten große Fenster und Pflanzen vorne (Bv2_Lehm) werden bereits an fast 80% der Zeit behagliche Raumzustände von über 40% relative Feuchte erreicht und die Zustände über 70% können vermieden werden.

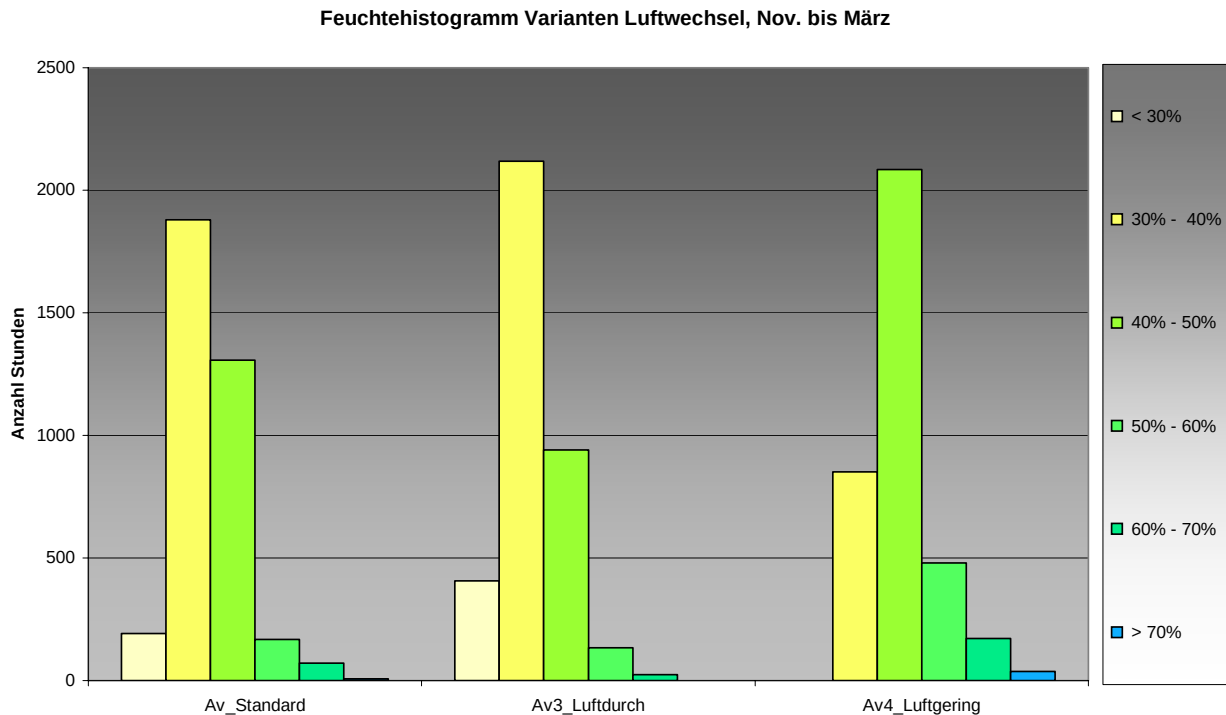
7.3.3.6. Luftwechsel

Der Einfluss des Luftwechsel ist durch die hohen Entfeuchtungsleistungen gerade im Hochwinter von entscheidender Bedeutung für den Feuchtehaushalt von Gebäuden. Im Passivhaus tritt der Einfluss der Infiltration aufgrund von Undichtigkeiten durch die hohe Luftdichtigkeit der Außenhülle in den Hintergrund. Der Luftwechsel durch die Lüftungsanlage liegt dagegen um ca. 10-20fach höher (je nach Betriebszustand). In der Standardvariante wird von üblichen Luftmengen ausgegangen, die Lüftungsanlage wird bei Abwesenheit in die Grundlüftungsstufe zurückgefahren. 2 ebenfalls praktizierte Varianten der Luftstromregelung werden der Ausgangsvariante gegenübergestellt:

- Luftwechsel durchgehend: Der Standardluftwechsel wird durchgefahren, es gibt keine Absenkung
- Luftwechsel gering: Der Luftwechsel wird auf einen Standardluftwechsel von 15m³/h bei Anwesenheit reduziert (dadurch können 1000ppm CO₂-Konzentration nicht mehr

eingehalten werden, die Kennwerte liegen allerdings nicht stark darüber), außerhalb der Anwesenheit werden statt 60 % nur 50% des Standardluftwechsels gefahren.

Es ergibt sich die folgenden Feuchteverteilung:



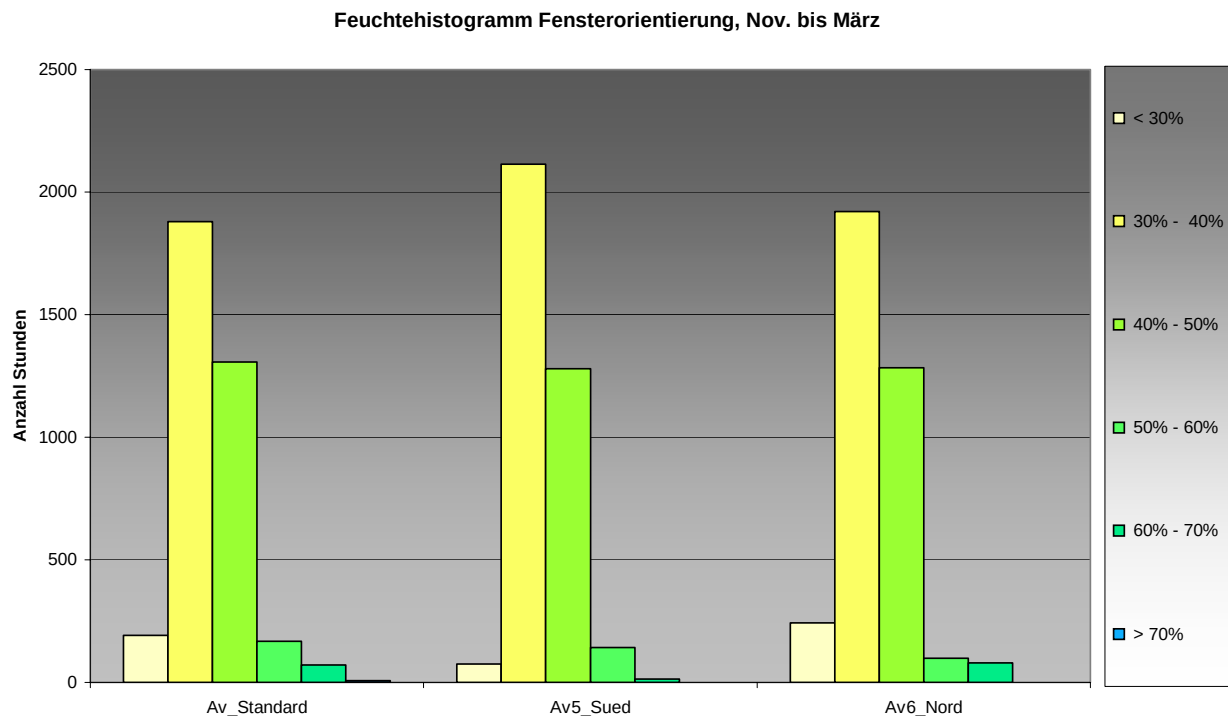
- Durch den durchgehenden Luftvolumenstrom von 20m³/h werden die Stunden unter 30% relativer Feuchte verdoppelt. Es treten nur mehr während 30% des Zeitraums behagliche Raumluftzustände zwischen 40 und 70% auf.
- Die Verringerung des Luftwechsels führt zu einer sehr guten Feuchteverteilung, an 75% der Stunden treten behagliche Raumluftzustände von 40-70% relative Feuchte auf, nur an 1/4 der Zeit liegen die relativen Feuchten zwischen 30 und 40%. Ob es allerdings eine sinnvolle Strategie ist, die Hauptqualität einer Lüftungsanlage – nämlich das Bereitstellen guter Raumluft während der Rekreatiionsphase – nur abgemindert in Anspruch zu nehmen, muss gesondert bewertet werden.

7.3.3.7. Orientierung der Fenster

Die Orientierung der Fenster wirkt sich durch folgende Zusammenhänge auf das Feuchteverhalten von Wohnräumen aus:

- Hohe direkte Sonneneinstrahlung, die vor allem von der Orientierung (und gegebenenfalls von Verschattungen) abhängig ist, erhöht die Feuchteabgabe der Pflanzen
- Eine erhöhte Feuchteabgabe erhöht die Verdunstungskühlleistung der Pflanzen
- Hohe direkte Sonneneinstrahlung erhöht den Wärmeeintrag in den Raum und kann dadurch zu höheren Raumlufttemperaturen führen. Bei gleicher Höhe der absoluten Feuchte führt eine höhere Raumlufttemperatur zu einer Absenkung der relativen Feuchte. Dieser Effekt ist vor allem in den Übergangsmonaten relevant.
- Für beide Effekte ist die Bedienung des außenliegenden Sonnenschutzes, der raumtemperaturabhängig erfolgt, relevant.

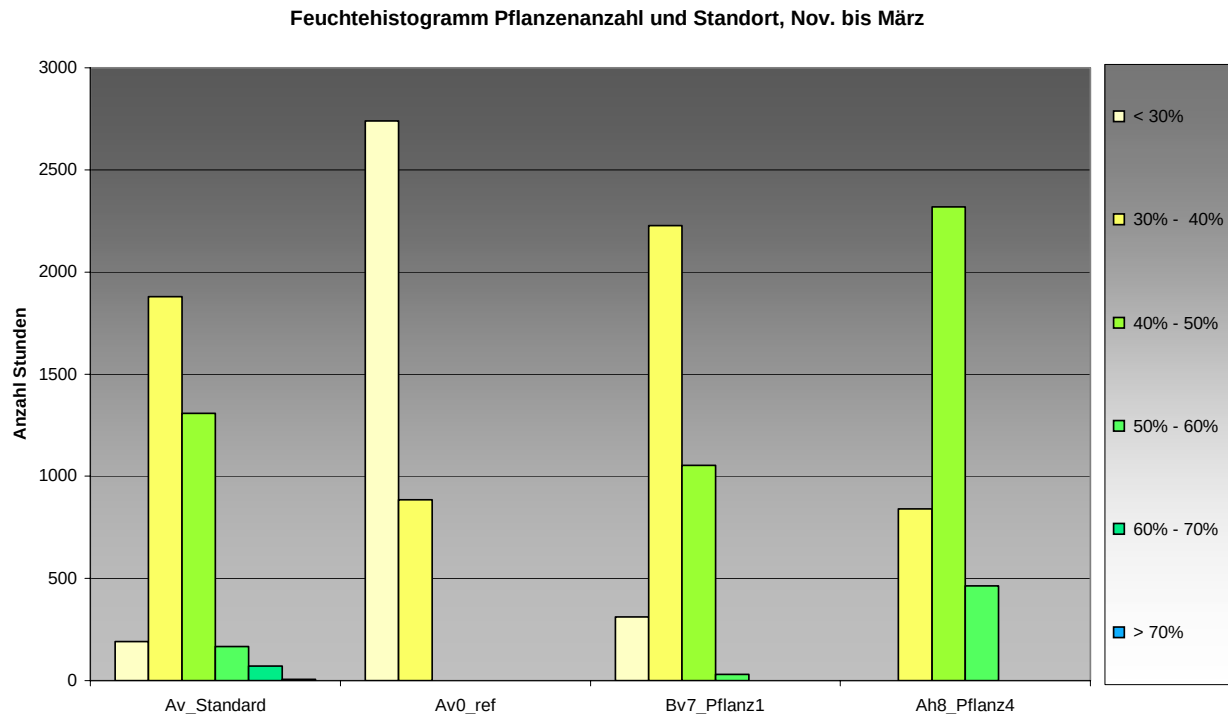
In der folgenden Abbildung sind die beiden Varianten dargestellt.



- Überraschenderweise ist die Feuchteverteilung annähernd unabhängig von der Orientierung. Der Hintergrund liegt in einer Überlagerung der oben genannten Effekte durch das direkte Sonnenlicht, nämlich Erhöhung der Feuchteabgabe und gleichzeitig tendenziell Erhöhung der Raumlufttemperatur
- Die Reduktion der trockenen Raumluftzustände (Relative Feuchte kleiner 30%) um ca. 50% gegenüber der Standardvariante mit Ostfenster durch Südorientierung kommt im Hochwinter an sonnigen Tagen zustande, Nordorientierung ist naturgemäß am ungünstigsten.
- Die Reduzierung der relativen Feuchten größer 60% für die Südverglasung hängt vor allem mit der erhöhten Raumlufttemperatur im März bei gleichzeitiger Nutzung des Sonnenschutzes zusammen (Raumtemperaturen von durchschnittlich 24°C). Die Ostorientierung bewirkt bereits erhöhte Feuchteabgabe der Pflanzen durch Direktstrahlung am Vormittag, der Wärmeeintrag ist im März noch verhältnismäßig gering, der Sonnenschutz muss noch nicht eingesetzt werden.

7.3.3.8. Pflanzenanzahl

Der Einfluss der Pflanzenanzahl wurde durch eine Verdopplung und eine Halbierung der Pflanzen untersucht. Es ergibt sich die folgende Verteilung:

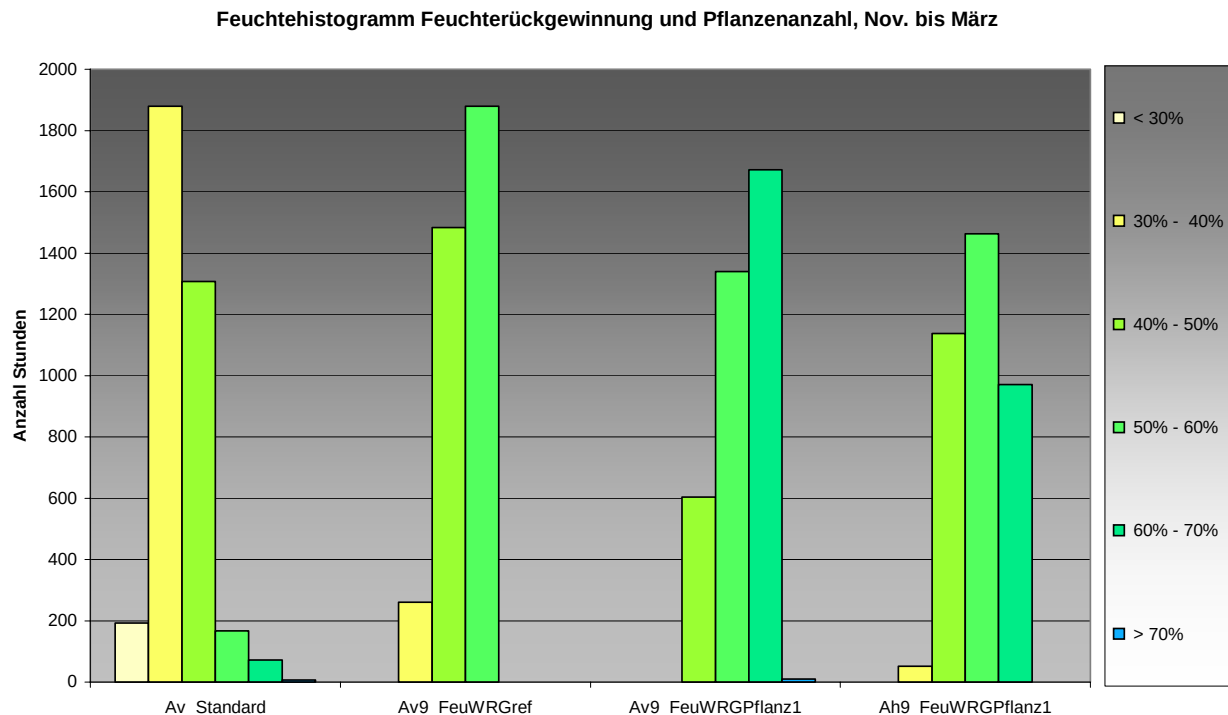


- Ohne Pflanzen in der Referenzvariante sind sehr trockene Raumlufzustände zu erwarten (s.o.)
- Das Aufstellen nur 1 Pflanze im Fall des Zimmers mit großem Fenster führt zu einer deutlich ungünstigeren Performance im Bereich unter 30% relativer Feuchte als mit 2 Pflanzen, gegenüber der Standardvariante A mit 2 Pflanzen ist eine relevante Verschlechterung gegeben: Der behagliche Bereich über 40% relativer Feuchte sinkt von über 43% Stundenanteil auf ca. 30%
- Eine hervorragende Verbesserung wird im Falle des Zimmers mit Standardfenster und Pflanzenaufstellung im hinteren Bereich erzielt, der behagliche Bereich wird an 75% aller auftretenden Stunden erreicht. Das Profil ist der Variante großes Fenster, 2 Pflanzen vorne und Lehmputz ähnlich, wobei relative Feuchten über 60% im gegenständlichen Fall nicht auftreten. 4 Pflanzen hinten schaffen also eine gleichmäßigere –wenn auch auf die Einzelpflanze bezogen geringere- Leistung, der Platzbedarf von 4 Pflanzen dieser Größe muss allerdings beachtet werden.

7.3.3.9. Feuchterückgewinnung

Die Varianten Feuchterückgewinnung basieren auf am Markt befindlichen Geräten, die durch einen Rotationswärmetauscher nicht nur die sensible Wärme, sondern auch Feuchte rückgewinnen können. Durch eine spezielle Ausbildung des Enthalpierückgewinners als Rotationswärmetauscher ist auch eine gute Entkopplung zwischen sensiblen und hygrischen Wärmerückgewinnung möglich. Dies ist bei Feuchterückgewinnungsgeräten, die über Membrane Feuchte und Wärme tauschen, so nicht möglich.

Es wurde sowohl die Referenzvariante ohne Pflanzen als auch die Standardvariante mit 1 Pflanze fensterseitig und hinten simuliert, die Ergebnisse sind nachfolgend dargestellt.

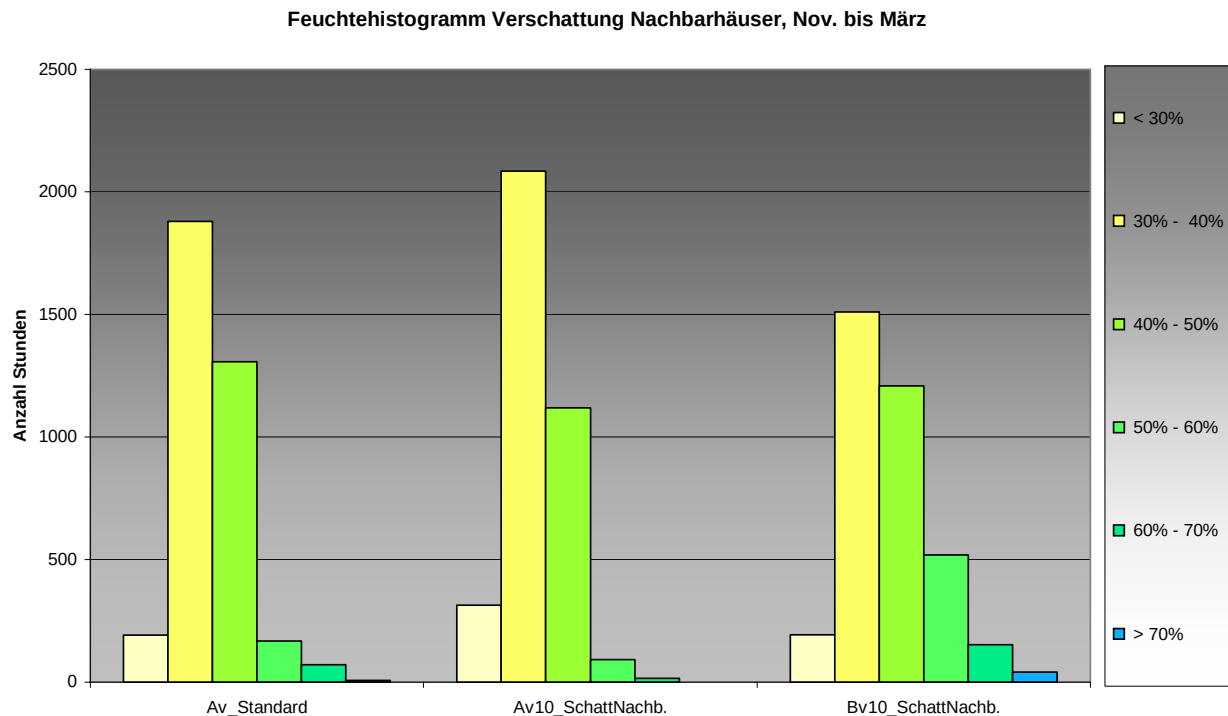


- Für alle Varianten können hervorragende Raumlufzustände mit Raumluftheuten von fast durchwegs über 40% erreicht werden.
- Ohne Pflanzen werden nur an ca. 7% der Stunden relative Feuchten zwischen 30 und 40% erreicht.
- Es muss festgestellt werden, dass mit der Feuchterückgewinnung alleine sehr gute Raumlufzustände hergestellt werden können. Dies bedarf allerdings anderer Feuchtequellen- in diesem Fall der Person. In manchen anderen Bauaufgaben wie z.B. Bürogebäuden findet man, wie wir im Forschungsprojekt HdZ sunny research darstellen konnten, mit den vorhandenen inneren Feuchtequellen trotz Feuchterückgewinnung kein Auslangen. Darüber hinaus sind Pflanzen vielseitiger, sie reduzieren gleichzeitig Luftschadstoffe und können deutlich positive psychologische Wirkung haben, was ein Feuchterückgewinnungsgerät natürlich nicht leisten kann.

7.3.3.10. Fremdverschattung durch Nachbargebäude

Der Einfluss einer Horizontverschattung durch benachbarte Gebäude wurde durch eine Variante berücksichtigt, in der das Fenster durch eine gegenüberliegende Häuserzeile verschattet wird, die dieselbe Höhe aufweist wie vom Fenster entfernt liegt (d.h. 45° Winkel).

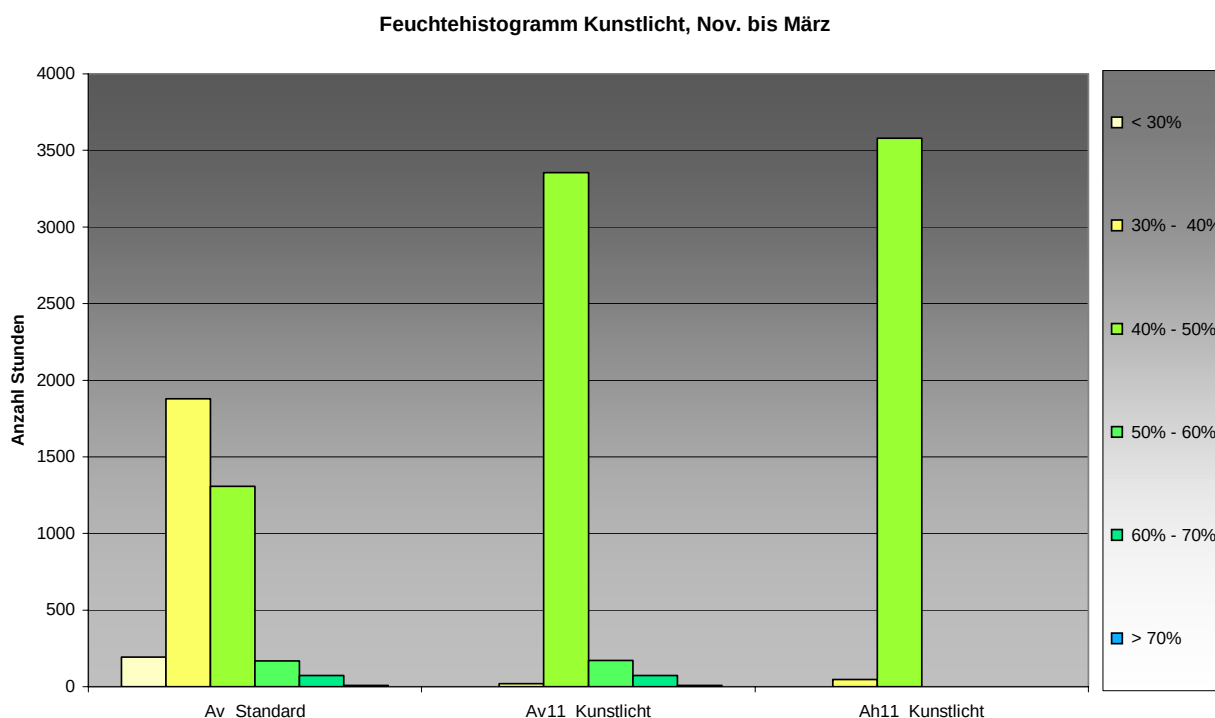
Es ergeben sich die folgenden Feuchteverteilungen:



- Durch die Verschattung wird im Fall des Standardfensters (Av10_SchattNachb.) der Anteil Stunden unter 40% und auch unter 30% relativer Feuchte deutlich erhöht (10% mehr Stunden)
- Im Fall der Zimmer mit großer Verglasung ist der Effekt noch deutlich stärker im Vergleich zur nicht verschatteten Variante. Gegenüber der Standardvariante A ohne Verschattung ergeben sich allerdings deutlich höhere Anteile an Stunden über 40%. Einer Verschattung durch ein Nachbargebäude kann daher zumindest im Bereich Relativer Feuchte durch vergrößerte Fenster entgegengewirkt werden, bzw. der Effekt überkompensiert werden.

7.3.3.11. Kunstlicht und Pflanzen

Gerade im Hochwinter, wo die Außenluft am trockensten und dadurch die Lüftungsanlage hohe Entfeuchtungsleistungen bewirkt, ist der Tageslichtanteil sehr gering. Durch eine effiziente Kunstlichtbeleuchtung können die Pflanzen zu erhöhter Feuchteabgabe angeregt werden. Die Beleuchtung erfolgt nicht in der Nacht (Schlafenszeit) und ist raumfeuchtegesteuert auf einen Bereich 40-45% Raumlufffeuchte. Es ergeben sich die folgenden Kennwerte:



- Für beide untersuchten Varianten (Pflanzen am Fenster und hinten) wird eine hervorragende Performance erzielt, die relativen Feuchten liegen über den gesamten Winter zwischen 40 und 50%

Der Stromverbrauch durch die Kunstbelichtung und der entsprechende Primärenergiebedarf ergibt sich zu

Strombedarf Kunstlicht	Ah11_Kunstlicht	Av11_Kunstlicht
	kWh/m²a	kWh/m²a
Stromverbrauch	5.1	3.1
Primärenergieverbrauch	15.3	9.4

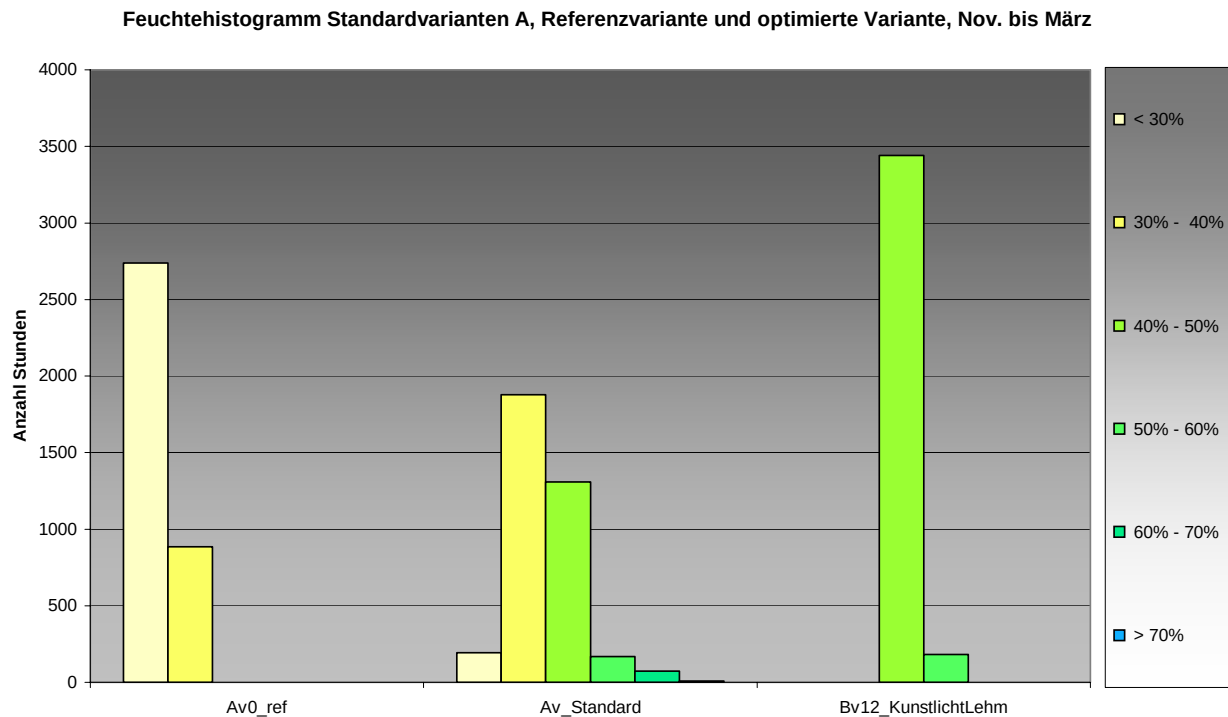
Dabei muss allerdings beachtet werden, dass nicht alle Räume einer Wohnung Zulufräume sind und weiters die inneren Feuchtequellen nicht gleichmäßig auf die Räume verteilt sind. In Wohnräumen mit angelagerter Küche wird daher im Normalfall das Aufstellen von Pflanzen nicht erforderlich sein, ebenso nicht in den Nebenräumen.

Im Falle einer 90 m² Wohnung wären drei Räume, also ca. 40 m² zu berechnen. Legt man den Stromverbrauch auf die gesamte Wohnung um (wie das ja auch z.B. beim Heizwärmebedarf gemacht wird, so erhält man in der Variante Av11 einen Verbrauch von 1,38 kWh/m²,a.

7.3.3.12. Optimierte Variante

Aus den unterschiedlichen Varianten wurde eine optimierte Variante entwickelt, die den Erfordernissen nach hoher Raumluftqualität entspricht:

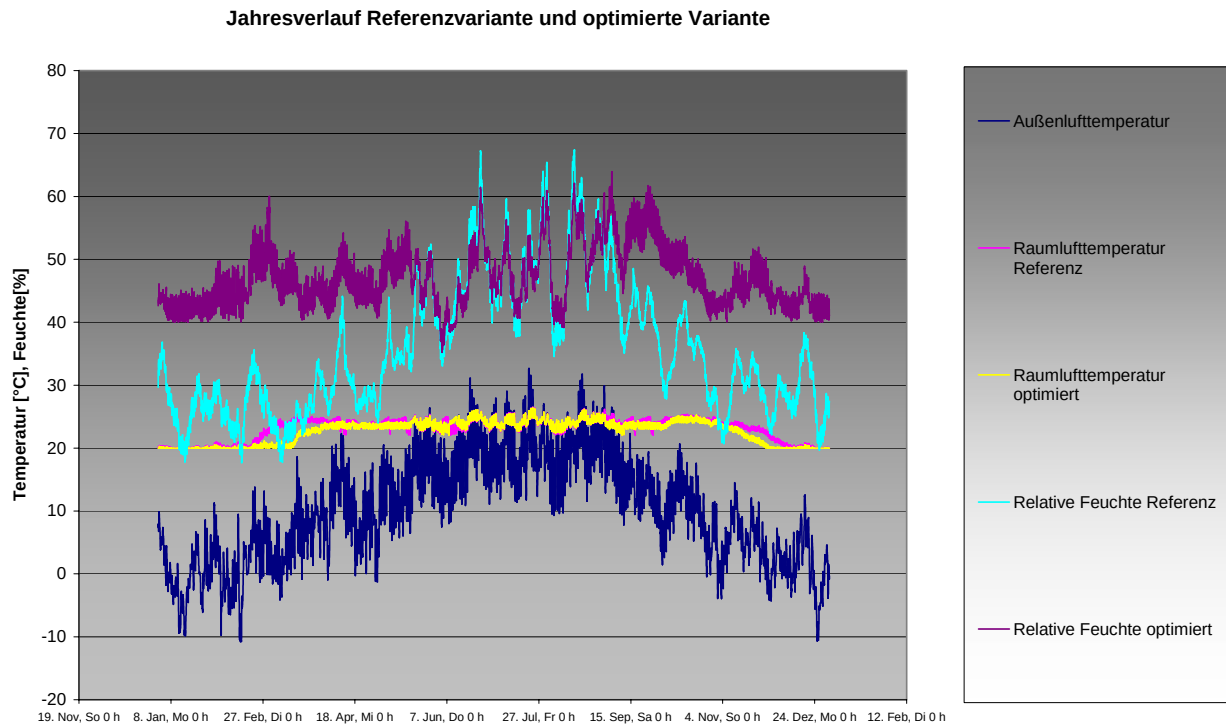
- Große Fenster
- 2 Pflanzen vorne am Fenster, die im Frühjahr auf die Terrasse gestellt werden
- Lehmputz und geölter Fußboden
- Kunstlicht im Hochwinter zur Erhöhung der Feuchteabgabe der Pflanzen



Es ergibt sich die folgende Feuchteverteilung:

- Die Raumluftfeuchte liegt in der optimierten Variante durchgehend im behaglichen Bereich, der Strombedarf liegt bei 2.2kWh/m²Jahr (auf Wohnung umgelegt: 0,98kWh/m²,Jahr)

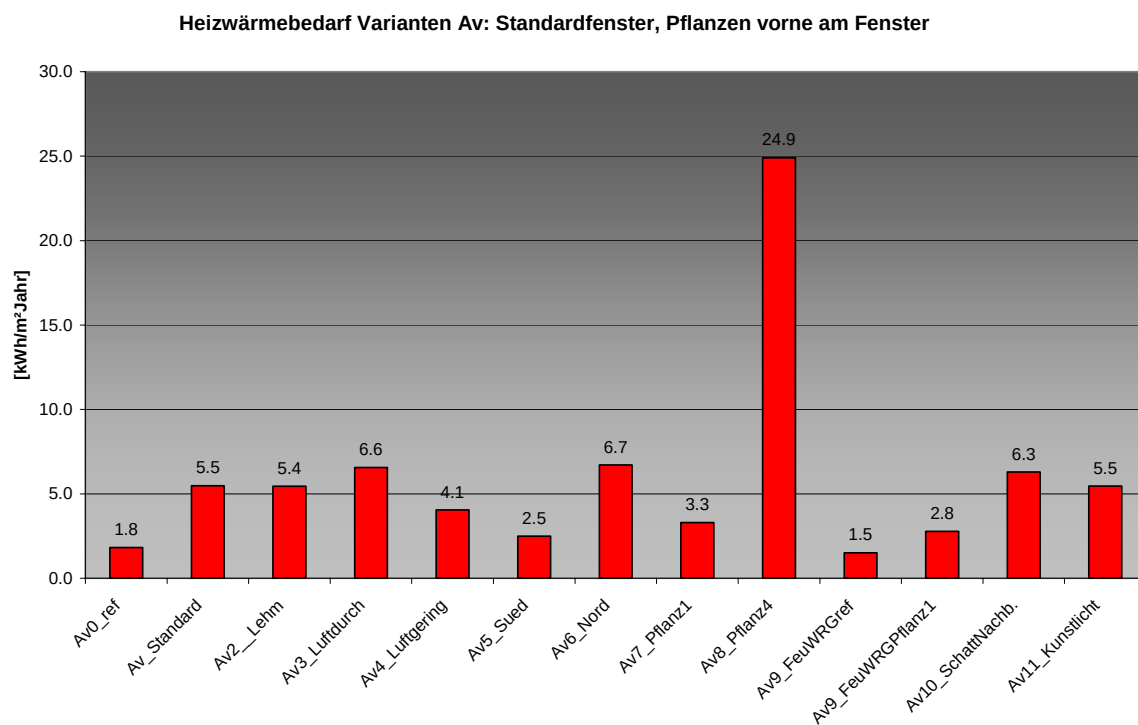
Über das gesamte Jahr ergibt sich die folgende Verteilung:



Die optimierte Variante liegt durchgehend im behaglichen Bereich.

7.3.3.13. Heizwärmebedarf

Für die Verdunstung von Wasser muss Energie aufgewandt werden, die Pflanzen der Raumluft entziehen. Die Wirkungen auf den Heizwärmebedarf sind nachfolgend für die Standardvariante A dargestellt.



- Durch die Verdunstungskühlung, die in der Heizsaison durch die Heizung kompensiert werden muss, liegt der Heizwärmebedarf in den Varianten mit Pflanzen im Schnitt um 3,7 kWh/m² Jahr höher als in der Referenzvariante. Dies muss natürlich auch im Zusammenhang mit der Wohnung und sogar dem Gesamtgebäude gesehen werden. Auf die Wohnung umgelegt ist der HWB um 1,65 kWh/m² Jahr erhöht. Stellt man in Rechnung dass ein gesamter Wohnbau in Passivhausstandard aber im Mittel ca. 15 kWh/m² Jahr verbraucht und natürlich nicht die extrem niedrigen Werte des 5seitig innen liegenden Raumes einhalten kann, so muss für die Befeuchtung im Durchschnitt von einem Mehrbedarf von 10-15 % ausgegangen werden.
- Im Fall von 4 Pflanzen liegt der Heizwärmebedarf vor allem wegen des Ablüftens durch zu hohe Luftfeuchte sehr hoch. Das „nach draußen stellen“ der Pflanzen würde den Heizwärmebedarf deutlich senken.
- Im Fall des Kunstlichts ist auch der zusätzliche Stromverbrauch zu berücksichtigen (s.o.)
- Ähnlich niedrige Kennwerte im Heizwärmebedarf wie in der Referenzvariante werden nur durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erreicht.

7.3.3.14. Zusammenfassung

Die Ergebnisse der thermisch-hygrischen Simulation können wie folgt zusammengefasst werden:

- Ohne Maßnahmen zur Feuchteregulierung (Referenzvariante) ergeben sich in der Heizsaison sehr niedrige relative Feuchten, die unter 40% und meist sogar unter 30% liegen.
- Durch den Einsatz von 2 Pflanzen können die Raumluftzustände deutlich verbessert werden: im Kernwinter um eine Zahl 10-15 , also von 30 % rel. Feuchte auf 40-45%, in der Übergangszeit um eine Zahl 20-25, also von 30% rel. Feuchte auf 50-55%. Bereits im ungünstigsten Fall (Standardfenstergröße, Pflanzen im hinteren Teil des Zimmers situiert) kann im Vergleich zur Referenzvariante eine deutliche Reduktion der sehr ungünstigen relativen Feuchten unter 30% erzielt werden. Im günstigsten Fall (Große Fensterflächen, Pflanzen vor Fenster) treten annähernd keine Raumluftfeuchten unter 30% mehr auf.
- Günstige Oberflächenmaterialien wie Lehmputz und geölte Holzfußböden dämpfen die Feuchtespitzen und reduzieren in allen Varianten mit 2 Pflanzen den Anteil an Stunden mit relativen Feuchten unter 30% auf 0 Stunden. Im günstigsten Fall mit großen Fensterflächen und direkt dahinterstehenden Pflanzen werden bereits an 80% der Stunden in der Heizsaison relative Feuchten über 40% erreicht.
- Absolute Höhe des Luftwechsels und bedarfsgerechte Lüftung haben einen großen Einfluss auf die relative Feuchte von Wohnräumen. Ein durchgehender Luftwechsel ohne Absenken auf Grundlüftung ist wenig sinnvoll, reduzierte Luftwechsel, die allerdings Abstriche in der Raumluftqualität bedingen, führen mit Pflanzen bereits zu sehr angenehmen Raumluftzuständen.
- Die Orientierung des Fensters und die Verschattung durch Nachbarhäuser hat einen verhältnismäßig geringeren Einfluss.
- Durch die Pflanzenanzahl kann auch die verhältnismäßig ungünstige Situation mit Pflanzenaufstellung im hinteren Bereich einigermaßen entschärft werden, die relativen Feuchten liegen durchwegs über 30% relativer Feuchte, der Platzbedarf ist allerdings zu bedenken.
- Ausgezeichnete Raumluftzustände werden in den Varianten mit Pflanzen und Kunstlicht und in jenen Varianten mit Lüftungsanlagen mit Feuchterückgewinnung

erreicht. In fast allen Fällen kann die Raumluchtfeuchte im gesamten Winter über 40% gehalten werden.

- Der Heizwärmebedarf eines Gesamtgebäudes liegt durch die Verdunstungskühlung der Pflanzen (ausschließlich in den Individualräumen) um 10-15% über der Referenzvariante. Im Fall einer Lüftungsanlage mit Feuchterückgewinnung tritt im Vergleich zur Referenzvariante kein erhöhter Heizwärmebedarf auf. Es ist nur der Strombedarf für den Enthalprierückgewinn zu beachten.

Pflanzen verbessern das „hygrische“ Wohlbefinden in Gebäuden mit Lüftungsanlagen, im Speziellen in Passivhäusern in signifikantem Ausmaß. Optimale Bedingungen mit durchwegs Feuchten über 40% bedürfen allerdings zusätzlicher Maßnahmen wie Kunstlicheinsatz oder Lüftungsgeräten mit Feuchterückgewinnung. In der optimierten Variante (Lehmputz, 2 Pflanzen, große Fenster, Kunstlicht) können über das gesamte Jahr hervorragende Raumluftbedingungen hergestellt werden.

8. Sanierungskonzept

Wichtig bei Forschungsvorhaben im Bauwesen ist die Umsetzbarkeit. In diesem Kapitel „Sanierungskonzept“ werden bisher erarbeitete Einzelpunkte am konkreten Objekt überprüft und den Anforderungen entsprechend adaptiert.

Die zu überprüfenden Themen des Sanierungskonzeptes in Kurzform:

Passivhausstandard mit Lüftungsanlage bei Sanierung großvolumiger Wohnbauten

Fenstertausch mit optimierter Belichtung trotz hoher Dämmstärken und Dreifachverglasung

Professionelle und nachhaltige Begrünung großer Fassaden zur Verbesserung des Mikroklimas

Schaffung von wohnungseigenem Freiraum optimiert auf Nutzbarkeit und Belichtung

8.1. Objektsuche

Um die bisher erarbeiteten Ergebnisse am konkreten Objekt zusammenzuführen und anzuwenden, wurden Kontakte mit Bauträgern gesucht. In Anbetracht der großen Anzahl von sanierungsbedürftigen Gebäuden in Wien ist die Bereitschaft zur Zusammenarbeit der Bauträger als ausbaufähig zu bezeichnen.

zum gesuchten Objekt: Großvolumiger Wohnbau ab ca. 100-200 WE, Nachkriegsbau, hoher thermischer Sanierungsbedarf, große Defizite bei wohnungszugeordnetem Freiraum, optional Potential für professionelle Gebäudebegrünung.

Zuerst wurden alle in Wien tätigen Wohnbauträger mit Gebäudebestand kontaktiert. Die meisten erklärten ihr Desinteresse, ohne dass die Kurzunterlagen über das Projekt Grünes Licht zugesandt werden konnten.

Diejenigen, die überhaupt bereit waren, ein kurzes Tefongespräch zu führen, erklärten, dass in der Sanierung keinerlei Spielraum gegeben sei, und dass das Interesse der Mieter oder Eigentümer, mehr als das unbedingt Notwendige für die Sanierung auszugeben, einfach nicht gegeben sei. Die Mieter oder Eigentümer seien die Betriebskosten, die sie zahlen müssten, gewohnt; eine Verringerung der Betriebskosten sei zwar prinzipiell erwünscht, sollte aber im Wesentlichen nicht mit Kosten verbunden sein. Standardverbesserungen wie der Zubau von Balkonen oder gar die Begrünung des Gebäudes wurden als nicht finanzierbar eingeschätzt. Bei der Begrünung lautete die Standardfrage: was bringt das?

Lediglich ein einziger Bauträger (Wien Süd) war zu einem persönlichen Gespräch bereit. Es wurde ein Objekt genannt, zu dem von Seiten der Architekten dann kurze grobe Berechnungen angestellt wurden (Siehe Kap. 8.1.1.1).

Eine Sanierung zum Passivhaus scheint heute, da normale Sanierungen kaum die Unterstützung der Mieter oder Eigentümer erhalten, schwer argumentierbar.

Da der direkte Kontakt mit Bauträgern keinerlei Ergebnis brachte, wurde seitens der Architekten versucht, politische Entscheidungsträger anzusprechen. Die Anfrage wurde daraufhin zum Wohnfonds Wien weitergeleitet. Seitens des Wohnfonds wurde prompt und interessiert reagiert, 2 Bauträger mit möglichen Objekten wurden genannt und ihrerseits zur Kontaktaufnahme mit uns angesprochen, was auch stattfand.

Interessant in diesem Zusammenhang ist, dass von beteiligten Experten (Bauträgern, Wohnfonds Wien) das Passivhauskonzept wenn dann eher für Standorte überlegt wird, an denen mit normalen Lösungen auf Grund der Lärmbelastung keine ausreichende Wohnqualität erzielt werden kann und das Konzept Lüftung daher eine für Laien "zwingende" Begründung erfährt.

8.1.1. angesprochene Bauträger

Nach umfangreichen Kontaktversuchen seitens der Autoren wurden die Gespräche mit insgesamt vier Bauträgern intensiviert. Gesucht wurde in diesem Zusammenhang ein Gebäude mit großem Volumen sowie großem Sanierungsbedarf.

8.1.1.1. WienSüd / Wohnbebauung Ketzergasse

Das Gebäude besitzt drei Wohngeschosse mit jeweils 5 Wohnungen, die z.T. über einen Laubengang erschlossen werden. Im Erdgeschoss befinden sich Garagenplätze und sonstige Nebenräume.

Seine Lage an der Ketzergasse weist es als hoch lärmbelastet aus. Die Wohnungen sind mit den offenen Loggien nach Süden zur Ketzergasse orientiert, zum Hof befindet sich der Laubengang.

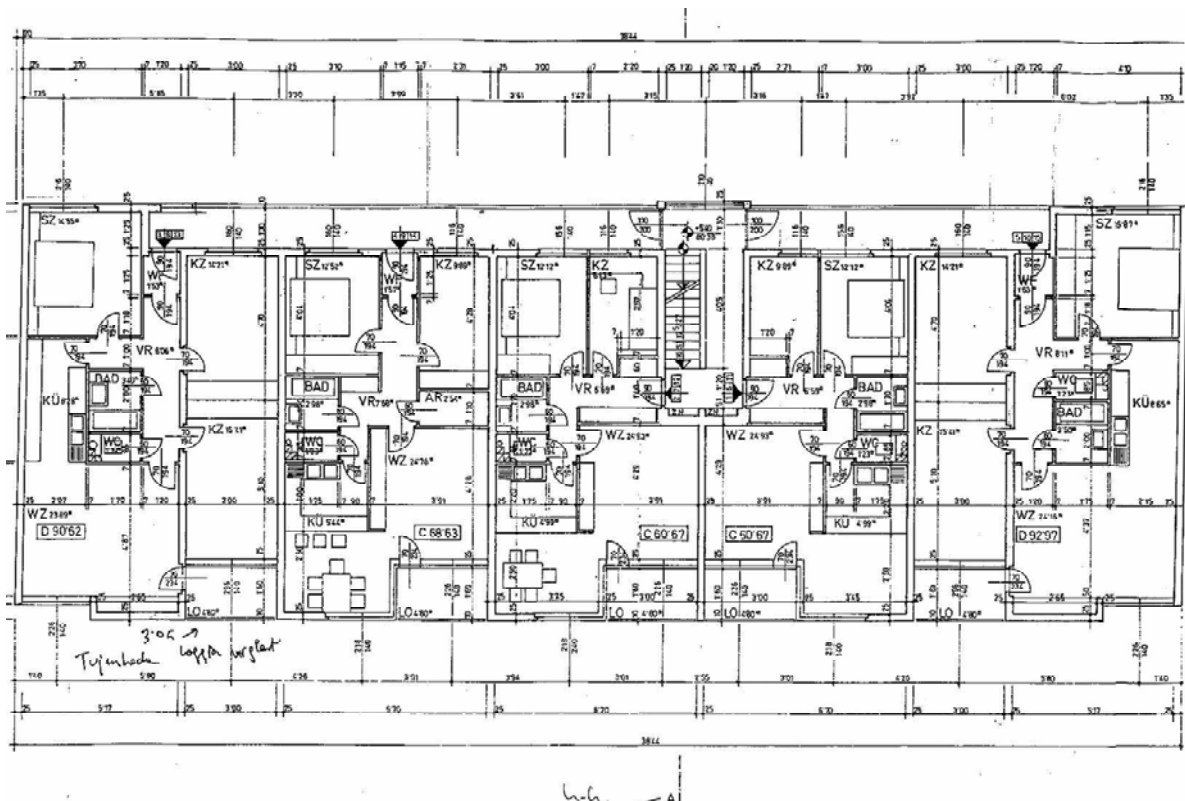


Abb. 211 Grundriss

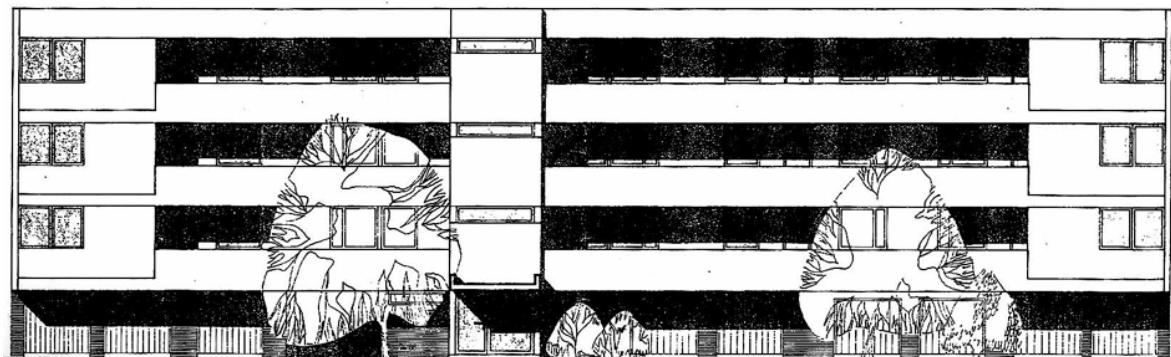


Abb. 212 Nordansicht

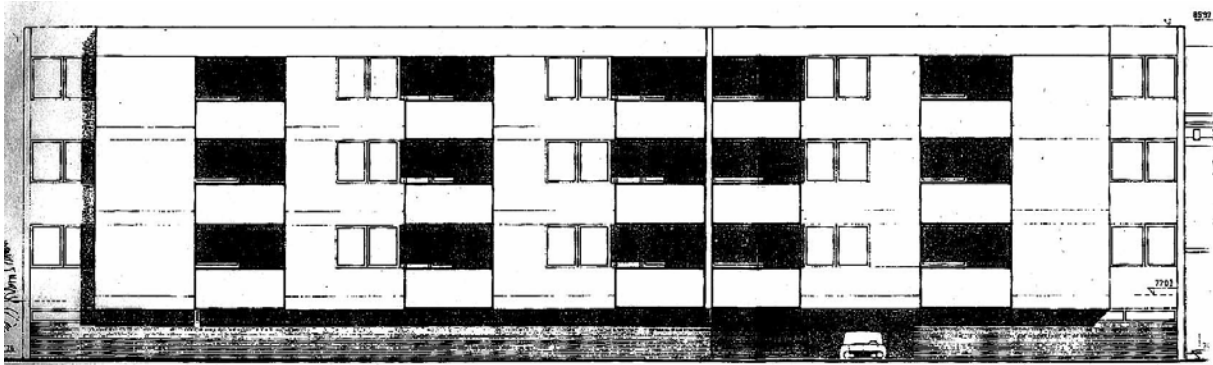


Abb. 213 Südansicht

Das Objekt ist relativ klein mit hohem Wärmebrückenanteil. Im Wesentlichen sind in hoher Zahl alle Wärmebrücken vorhanden, die im Wohnbau möglich sind.

Eine Kombination von hohem Vollwärmeschutz, neuen Fenstern, Aufstockung, Einverleibung der Loggien und des Laubenganges in den Wohnbereich samt Neuerstellung der Erschließung, Wärmedämmung der Decke des unbeheizten Erdgeschosses und Lüftungsanlage hätte allerdings theoretisch Passivhausstandard in Bezug auf den Heizwärmebedarf möglich gemacht.

Allerdings zeigt sich an Objekten wie diesem auch die Grenze der Sinnhaftigkeit von Sanierungen ganz generell.

Die erforderlichen Veränderungen sind enorm, das Haus ist voll belegt und die Qualität der Wohnungen (mit Zimmern, die auf den – wenn auch später thermisch getrennten und offen bleibenden- Laubengang orientiert sind) bleibt mangelhaft.

Als Exempel, was alles bei guter Planung machbar ist, hätte dieses Objekt erhalten können, im Gesamtzusammenhang mit der Bausubstanz und Bauqualität einer modernen Großstadt in Europa scheint jedoch die Prolongierung der Lebenszeit eines Objektes wie diesem nicht sinnvoll zu sein.

Trotz grober Vorstudie betreffend Energieperformance mit und ohne Aufstockung, wurde die weitere Bearbeitung vom Bauträger nicht weiter verfolgt, da das Dach des Gebäudes undicht wurde und eine Sanierung mehr oder weniger sofort in Angriff genommen werden musste und die notwendige Zeit für den Planungsvorlauf, wie sich herausstellte, somit nicht gegeben war.

8.1.1.2. BWS / Wohnbebauung - Kongresshaus Margaretengürtel

Es handelt sich um eine Liegenschaft bestehend aus einem 9-geschossigen Trakt am Margaretengürtel und einer Garage mit darüber liegendem Veranstaltungssaal in der Emil Kralik Gasse.

Der Bauteil am Gürtel ist sehr stark lärmbelastet, der Ausblick ist allerdings angenehm weit, es gibt kein direktes Gegenüber. Er soll umgebaut und saniert werden (die Wohngeschosse mit THEWOSAN), der Trakt zur Emil Kralik Gasse wird abgebrochen und durch einen 8-geschossigen Wohnhausneubau ersetzt.

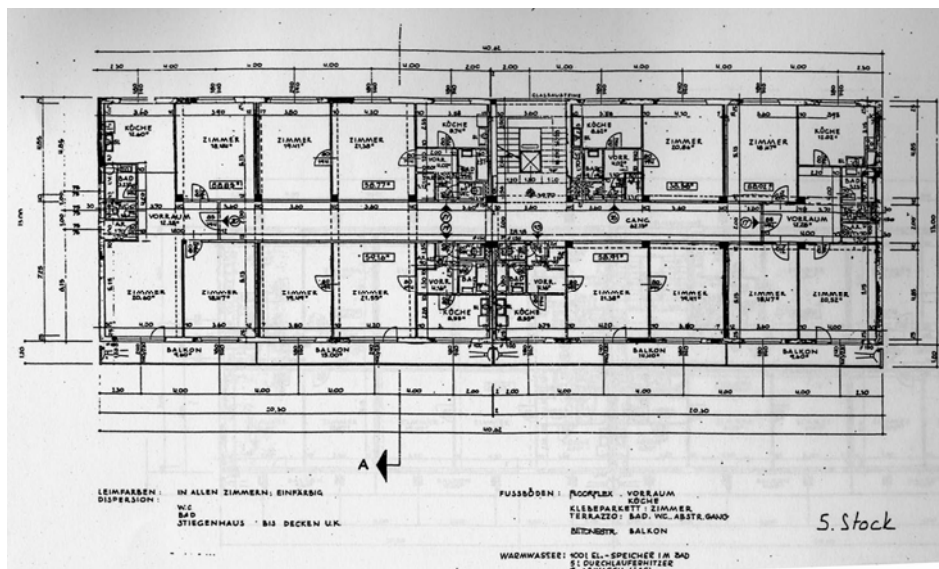
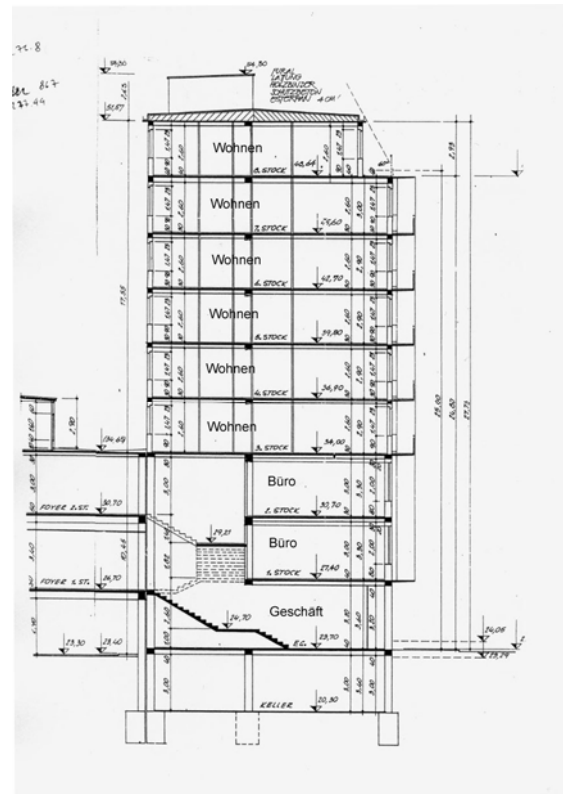
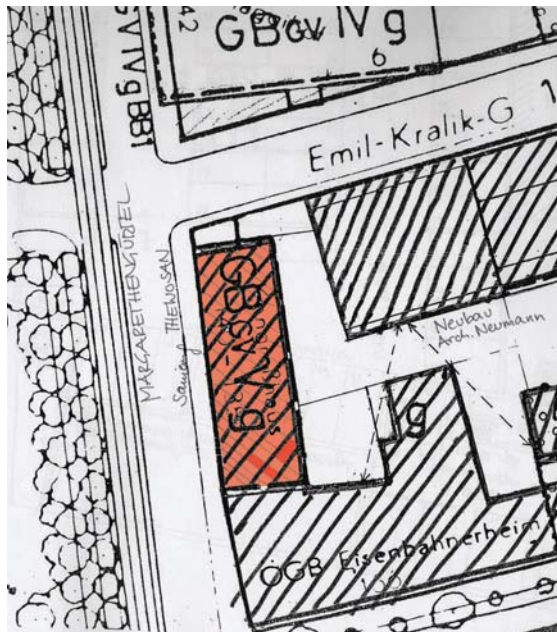


Abb. 214 Margaretengürtel: Lageplan, Schnitt, Regelgrundriss (ohne Maßstab)

Die Vermittlung erfolgt über den Wohnfonds Wien.

Nach der ersten rechnerischen Abschätzung des Projektes hielten wir eine Sanierung zum Passivhaus aus folgenden Gründen für machbar, sinnvoll und sogar ausgesprochen günstig:

Die Wohnungen werden durch einen 2m breiten Gang erschlossen, alle erforderlichen Einbauten für die mechanische Lüftungsanlage könnten in diesem Bereich außerhalb der Wohnung situiert werden. Die übliche Problematik im Bestand (wohin mit den zusätzlichen Lüftungsleitungen?) könnte äußerst elegant gelöst werden, ohne die Wohnungen tangieren zu müssen.

Der Baukörper ist so kompakt, dass Passivhausstandard kostengünstig erreicht werden kann. Nach überschlägiger Berechnung (Passivhausvorprojektierungsprojekt) könnte Passivhausstandard sogar erreicht werden, wenn gegen die Wärmebrücken (auskragende Balkonplatten, westseitig) nichts unternommen wird.

Das Gebäude ist so stark lärmbelastet, dass eine mechanische Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung für die Wohnungen große Vorteile bringen würde, da eine hervorragende Frischluftqualität zu aller Zeit bei geschlossenem Fenster gewährleistet werden könnte.

Das Objekt wäre ideal geeignet und sehr öffentlich wirksam gewesen.

Leider wurden wir zu einem Zeitpunkt mit Bauträger und Objekt konfrontiert, wo bezüglich des Neubaus in der Emil Kralik Gasse schon eine Vorplanung eines Architektenkollegen vorlag. Bauträger BWS wollte die Planung beider Objekte schließlich nur in eine Hand vergeben, weswegen eine weitere Zusammenarbeit nicht stattfinden konnte.

8.1.1.3. Lebensraum / Objekt in Favoriten

Das Objekt ist ein ehemaliges Lager- und Bürohaus mit fünfgeschossigem loftartigem Straßentrakt plus Erd- und Dachgeschoss sowie zweigeschossiger Hofbebauung in Wien-Favoriten. Der Kontakt zum Bauträger Lebensraum wurde vom Wohnfonds Wien hergestellt.

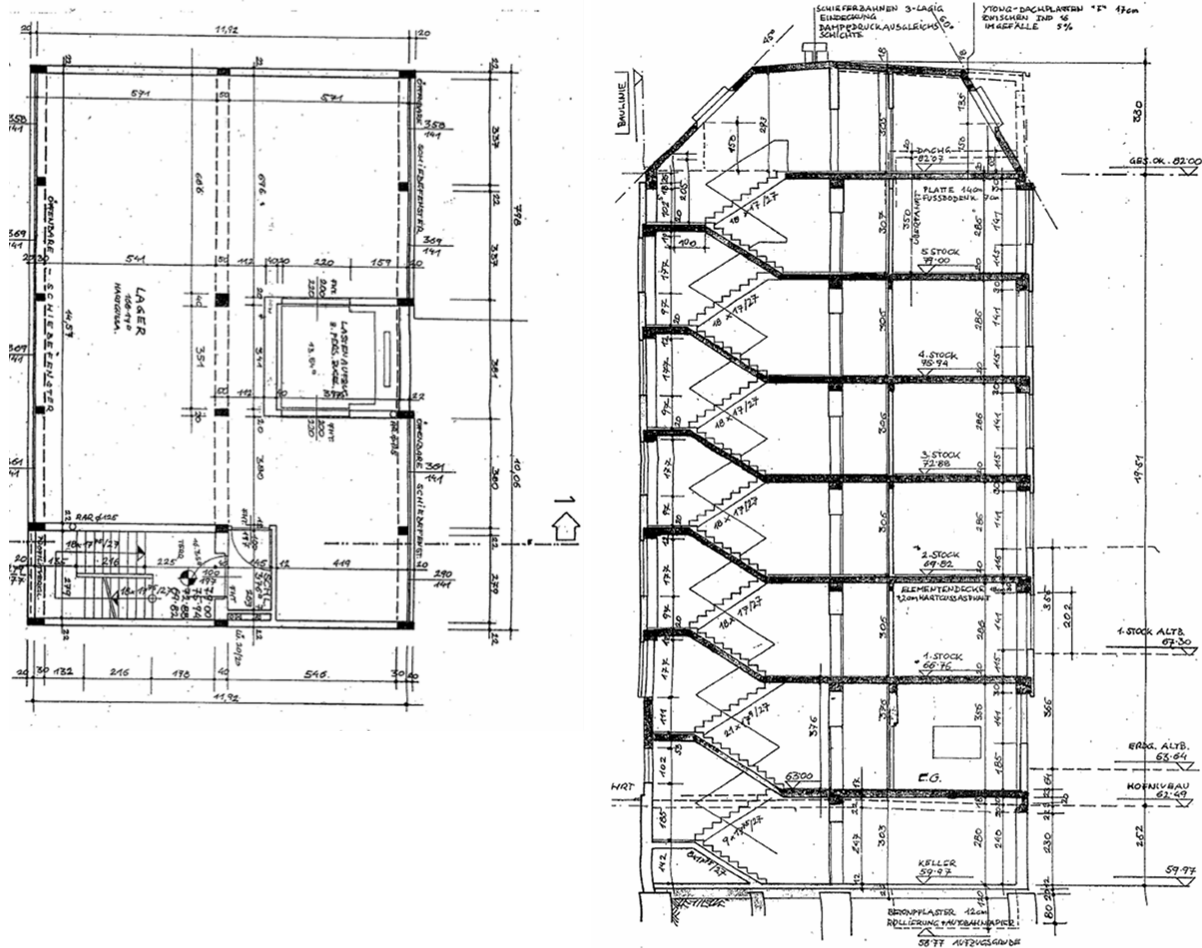


Abb. 215 Favoriten: Regelgeschoss, Schnitt

Das Objekt hätte sich ausgezeichnet für eine passivhausgerechte Sanierung geeignet. Leider scheiterte der Ankauf der Liegenschaft durch den Bauträger.

8.1.1.4. Kuratorium Wiener Pensionistenwohnhäuser

Nach der mehr als 1,5 jährigen vergeblichen Suche nach einem Sanierungsobjekt und Bauträger begannen wir vermehrt Sonderformen im Wohnbau wie Studentenheime oder Pensionistenwohnhäuser in unsere Überlegungen einzubeziehen.

Nach zahlreichen Gesprächen mit verschiedenen Trägergesellschaften zeigte sich das Kuratorium Wiener Pensionisten-Wohnhäuser interessiert und stellt uns 2 Objekte vor, die in weiterer Zukunft einer umgreifenden Sanierung zugeführt werden sollen.

Speziell das Wohnhaus Penzing in der Dreyhausenstr. schien uns interessant, da Erfordernisse der funktionellen Sanierung mit der thermischen Sanierung gut vereinbar sind, ja sogar die Maßnahmen für die thermische Sanierung teilweise mit Argumenten der funktionalen Anforderungen zu begründen sind.

Außerdem besitzt das Haus wirklich großes Volumen.

Wir entschlossen uns daher, ein Sanierungskonzept für diese Objekt zu erarbeiten.

Die Vorerhebungen haben ergeben, dass das Haus Penzing für ein Pilotprojekt aus folgenden Gründen besonders geeignet ist:

Große Kubatur, daher kompakte Gebäudeform erzielbar

Klares Konstruktionssystem mit Raumreserven für Haustechnik

hoher baulicher und energetischer Sanierungsbedarf

Funktionelle Erfordernisse der Anpassung an Barrierefreiheit und Vergrößerung der Wohnfläche.

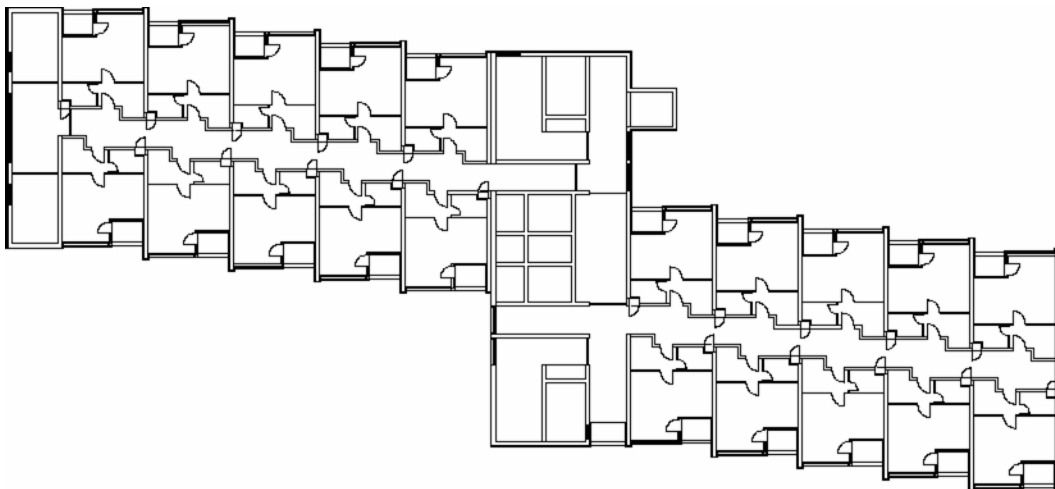


Abb. 216 Regelgeschoss

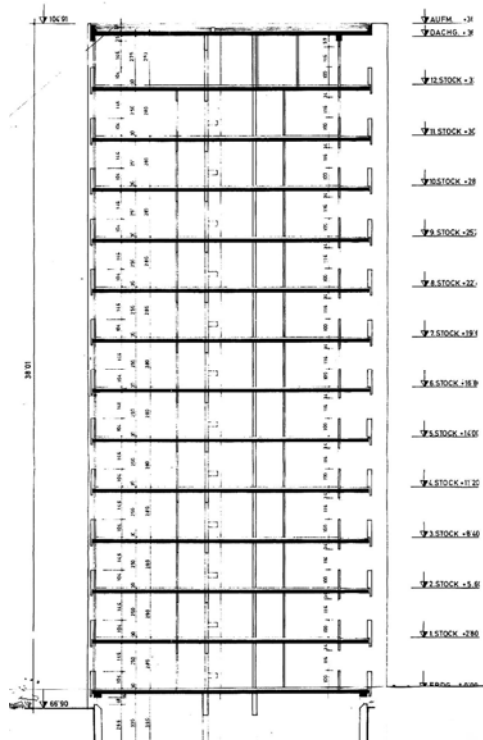


Abb. 217 Schnitt

weitere Pläne, Fotos, Konzept, etc. siehe unten

8.1.2. Objekt Pensionistenwohnhaus Penzing

Das Pensionistenwohnhaus Penzing, Dreyhausenstrasse 29, 1140 Wien ist 1974 eröffnet worden und wird vom Kuratorium Wiener Pensionisten-Wohnhäuser verwaltet.

Es handelt sich um einen 13-geschossigen Stahlbetonbau plus dreigeschossigem Zubau und Untergeschoss.



Abb. 218 Westfassade und Ostfassade

Das Seniorenwohnhaus beinhaltet im EG, 1.OG und 2.OG Gemeinschafts- und Therapieeinrichtungen, eine stationäre Wohneinheit, die Verwaltung und z.T. Privatwohnungen. In den oberen Geschossen befinden sich ausschließlich Privatwohnungen für Senioren mit insgesamt ost- oder westorientierten 195 Einpersonnen- und 18 Zweipersonen-Appartements sowie einer Probewohnung. Im Keller sind Lager- und Nebenräume, die technischen Einrichtungen sowie die Küche samt Lagerflächen untergebracht.

Das Gebäude ist in einer parkähnlichen Gartenanlage situiert und besitzt einen vielfältigen Außenbezug.

8.1.2.1. Regelgeschoss

Die Regelgeschosse sind symmetrisch aufgebaut mit 20 Wohnungen pro Geschoss.

Mittig ist ein Stiegenturm angeordnet mit Abstellräumen, zwei Fluchttiegen, vier internen Aufzügen und einem nachträglich hinzugefügten Bettenaufzug. Im Norden und im Süden ist jeweils ein Wohnungstrakt Wohnungen angeschlossen. Alle Wohnungen sind identisch, nur die beiden nördlichen Eckwohnungen sind um jeweils ein Schlafzimmer ergänzt. Für eine detaillierte Beschreibung einer Regelwohnung siehe Kap. 8.1.2.2.

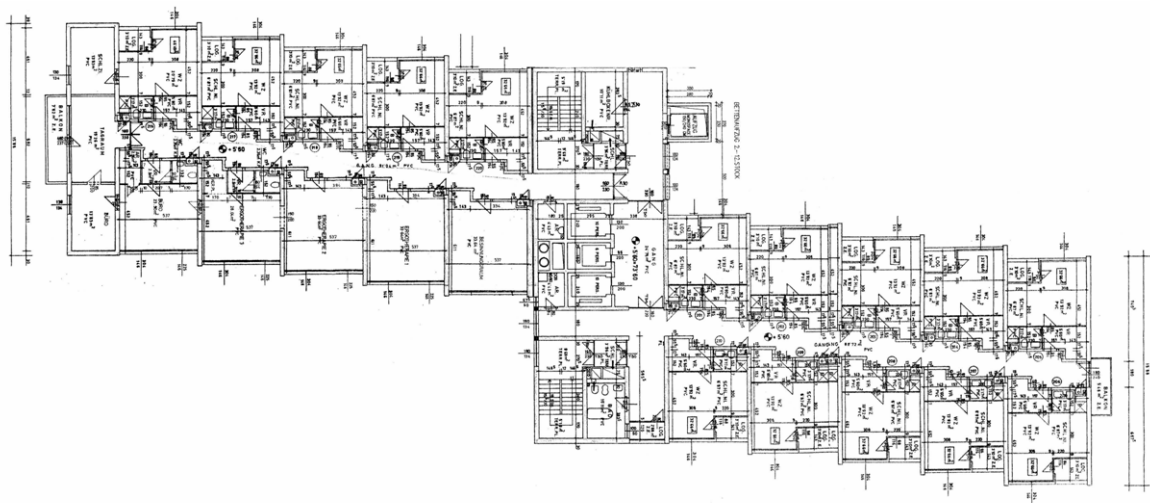


Abb. 219 Regelgeschoss 3.-13. Stock Bestand

Die Wohngeschosse sind identisch gebaut und ausgestattet. Die Geschosshöhe beträgt 2,80m bei einer Raumhöhe von 2,50m.

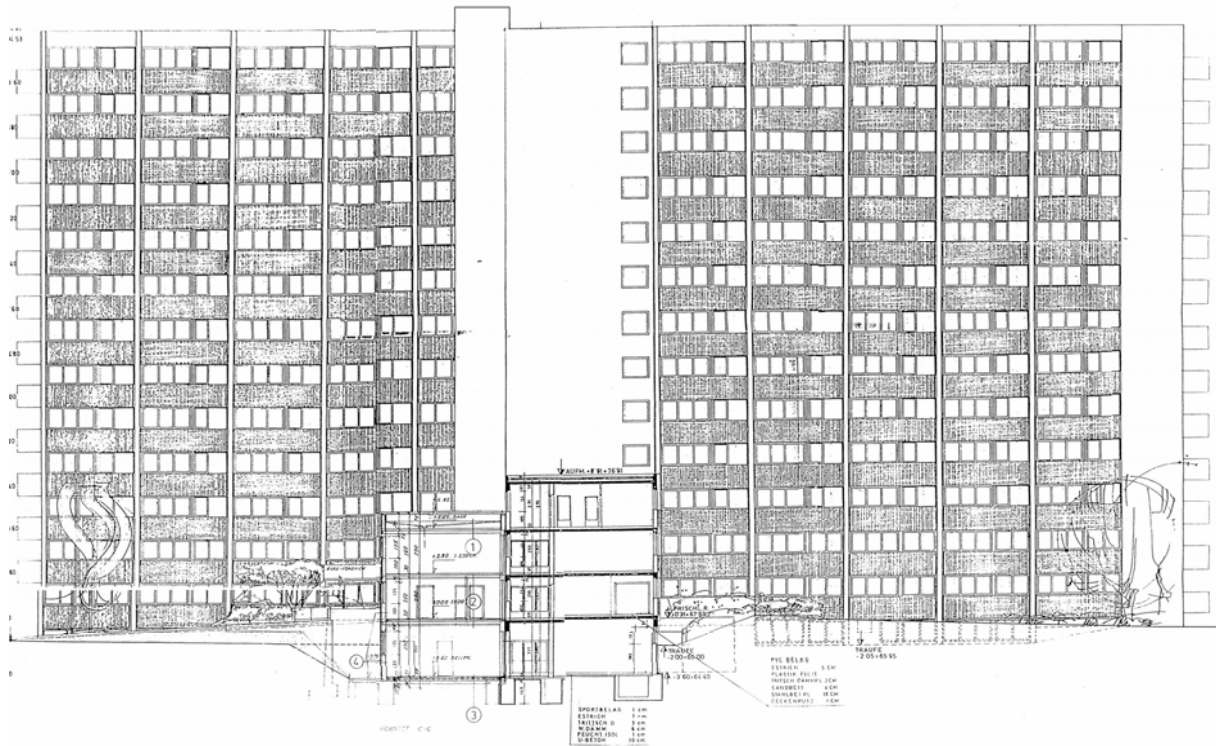


Abb. 220 Ansicht Bestand, Schnitt durch Seitentrakt

8.1.2.2. Regelwohnung

Eine Regelwohnung besteht aus einem relativ groß dimensionierten Vorraum mit Garderobe und Kochmöglichkeit, sowie einem nicht barrierefreien Badezimmer mit Dusche, WC und Waschbecken. An der Decke im Wohnzimmer ist in Verlängerung der Loggia eine Vorhangschiene angebracht, um einen Schlafbereich abtrennen zu können.

Die standardisierte Einpersonnenwohnung hat eine Nettonutzfläche von 33,04 m² inkl. einer Loggia mit 3,45 m², die Nutzfläche ohne Loggia beträgt also 29,59 m².

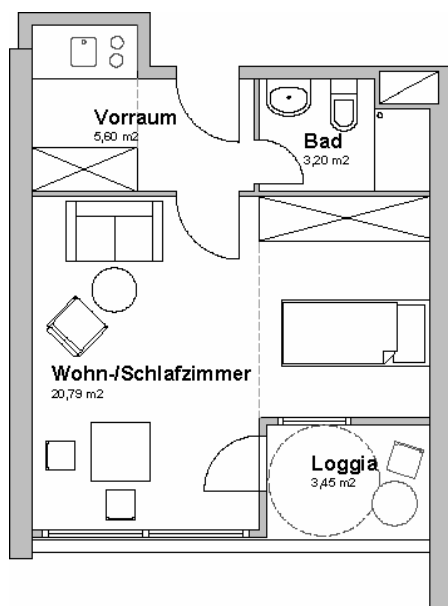


Abb. 221 Grundriss Wohnung Bestand

8.1.2.3. Seitentrakt

Angelagert an das Hochhaus mit den Seniorenwohnungen ist ein Seitentrakt (KG, EG, 1.OG, 2.OG) u.a. mit Gemeinschaftseinrichtungen, Lagerflächen, Personalräumen, Verwaltung sowie mit Küche und Speise/Festsaal. Die Küche befindet sich im KG, der Speisesaal im EG - er ist 2geschossig ausgeführt. Lediglich der südliche Teil des Seitentraktes weist 4 Geschosse auf.

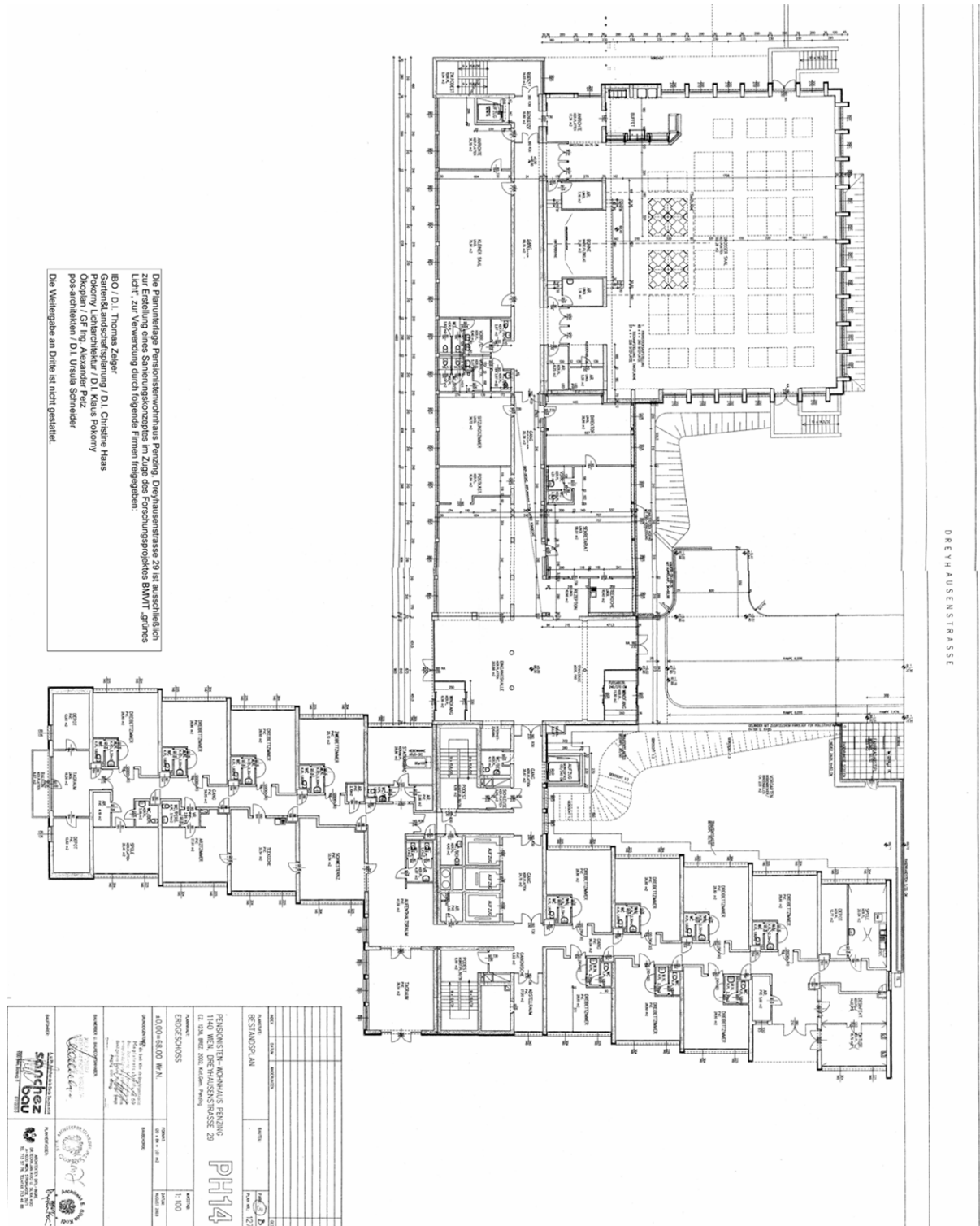


Abb. 222 Erdgeschoss Bestand

8.2. Pensionistenwohnhaus Penzing, Objektanalyse

8.2.1. Datenerhebung

8.2.1.1. Gebäude

Das Pensionistenwohnheim ist gebaut in Stahlbetonbau-Schottenbauweise mit Parapetfertigteilen aus strukturiertem Beton.

In einer ersten Sanierungsmaßnahme 1989 wurde der Hauptbaukörper mit einer dünnen Wärmedämmung versehen (3-5cm) und mit einer hinterlüfteten Vorsatzschale aus Aluminium-Paneelen oder Faserzementplatten verkleidet. Auch die Loggienuntersichten wurden dabei wärmegeklämt.



Abb. 223 Foto Fassadenausschnitt

Die Wohnungen sind zurzeit noch mit den original Holz-Alu-Verbundfenstern ausgestattet. Angenommen wird ein 2-fach-Verbundfenster (6-30-4) mit den Werten $U_g = 2,7$ / $g = 0,72$. Die Rahmendicke beträgt 5 cm bei $U_f = 2,35$.

Mehrere örtlich begrenzte Sanierungs- und Verbesserungsmaßnahmen sind zusätzlich vorgenommen wurden:

1989: Wärmedämmung Wohn- und Seitentrakt max. 5cm Wärmedämmung

1998: Anbau Wintergarten, Umbau Schwesternzimmer, weitere funktionelle Umbauten

Austausch von diversen Fenstern in den unteren Geschossen (1998). Hier können folgende Werte angenommen werden: $U_g = 2,7$ / $g = 0,61$ / Rahmendicke 7 cm / $U_f = 1,8$

2003: Untergeschoss: Sanierung Küchentrakt

Erdgeschoss: Sanierung und Dämmung des Saales

Pflege-trakt: Dämmung und Fenstertausch

1. OG Zubau Gymnastik und Personal

Zubau eines Bettenaufzugs

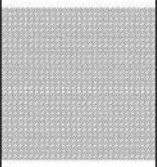
8.2.1.2. Bauteilaufbauten

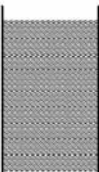
Nach eigener Begehung und aufgrund von Informationen der Betreiber wurden für die weitere Bearbeitung folgende Aufbauten ermittelt:

WW B01		Wand gegen Stgh				 A I M 1:5
Baustoffschichten			d	λ		
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]		
1	Beton B225	☒	0,120	1,900		
2	Mineralfaser Steinw. (100)	☒	0,030	0,039		
3	Gipskartonplatten	☒	0,012	0,210		
Dicke des Bauteils			0,163 [m]			
Wärmedurchgangskoeffizient U		zulässig	vorhanden	erforderlich	vorhanden	
		0,90	0,868		58	58,6 [dB]
Der Bauteil Wand gegen Stgh ist geeignet.						
Es tritt keine Kondensation auf.						
U _{TP}					56	[dB]

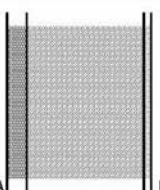
EW B01		Beton Keller				 A I M 1:10
Baustoffschichten			d	λ		
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]		
1	Beton B300	☒	0,250	1,900		
2	Heraklith-MB (3,5cm)	☒	0,030	0,110		
3	Kalk-Zementputz (1600kg)	☒	0,020	0,700		
Dicke des Bauteils			0,300 [m]			
Wärmedurchgangskoeffizient U		zulässig	vorhanden	erforderlich	vorhanden	
		0,50	1,773		47	65,7 [dB]
Der Bauteil Beton Keller ist ungeeignet.						
Kondensation tritt auf. Kondensation größer als 0,5 kg/m2						
U _{TP}					47	[dB]

EW B03		Beton 40cm							
Baustoffschichten						d		λ	
Nr		Bezeichnung				[m]		[W/m K]	
1		Beton B300		☒		0,400		1,900	

AW B05		Beton Keller			
Baustoffschichten			d	λ	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	
1	Beton B225	☒	0,400	1,900	 A M 1:10
Dicke des Bauteils			0,400	[m]	
Wärmedurchgangskoeffizient U		zulässig	vorhanden	erforderlich	vorhanden
		0,50	2,625		47 70,6 [dB]
Der Bauteil Beton Keller ist ungeeignet: Oberflächenkondensation!					

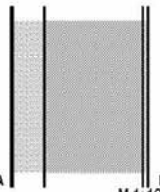
IW IW02		Wohnungstür			
Baustoffschichten			d	λ	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	
1	Holz (R = 900)	☒	0,050	0,200	 A M 1:2
Dicke des Bauteils			0,050	[m]	
Wärmedurchgangskoeffizient U		zulässig	vorhanden	erforderlich	vorhanden
		0,00	1,961		58 33,1 [dB]
Der Bauteil Wohnungstür ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.					

AWH B03		Stahlbeton + Vorsatzschale			
Baustoffschichten		d		λ	
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]		
1	Mineralfaser Steinw. (100)	☒	0,050	0,039	
2	Beton B300	☒	0,300	1,900	
3	Kalk-Zementputz (1600kg)	☒	0,020	0,700	
Dicke des Bauteils			0,370	[m]	
Wärmedurchgangskoeffizient U		zulässig	vorhanden		
		0,50	0,592		
Der Bauteil Stahlbeton + Vorsatzschale ist geeignet.					
Es tritt keine Kondensation auf.					

	
M 1:10	

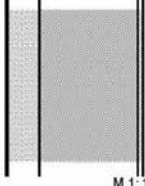
erforderlich		vorhanden	
	47	65,2	[dB]
			[dB]
			[dB]

AW B03		Außenwand WDVS			
Baustoffschichten		d		λ	
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]		
1	Röfix Mineralputz	☒	0,007	0,700	
2	EPS - F	☒	0,080	0,040	
3	HLZ 25 (R=900)	☒	0,250	0,390	
4	Gipsputz (R = 1200)	☒	0,015	0,700	
Dicke des Bauteils			0,352	[m]	
Wärmedurchgangskoeffizient U		zulässig	vorhanden		
		0,50	0,352		
Der Bauteil Außenwand WDVS ist geeignet.					
Kondensation tritt auf. Verunstung größer als Kondensation, Kondensation kleiner als 0,5 kg/m2					

	
M 1:10	

erforderlich		vorhanden	
	47	52,0	[dB]
			[dB]
			[dB]

IW		Wohnungstür			
IW02					
Baustoffschichten			d	λ	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	
1	Holz (R = 900)	☒	0,050	0,200	
Dicke des Bauteils			0,050	[m]	
			zulässig	vorhanden	
Wärmedurchgangskoeffizient U			0,00	1,961	
Der Bauteil Wohnungstür ist geeignet. Es tritt keine Kondensation auf.					

AW B03		Außenwand WDVS			
Baustoffschichten			d	λ	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	
1	Rohf. Mineralputz	☒	0,007	0,700	
2	EPS - F	☒	0,080	0,040	
3	HLZ 25 (R=900)	☒	0,250	0,390	
4	Gipsputz (R = 1200)	☒	0,015	0,700	
				</	

WD B01 Trenndecke Bestand							
Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]				
1	Kalk-Zementputz (1500kg)	0,010	0,700				
2	Stahlbetondecke	0,180	2,300				
3	Sand/Kies lufttrocken	0,040	0,700				
4	ISOVER-TDPT 20/20 Trittschalldpl	0,020	0,035				
5	Polyethylen-Folie	0,001	0,230				
6	Zementestrich (R = 1800)	0,050	1,110				
7	PVC-Belag	0,001	0,160				
Dicke des Bauteils		0,302	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,90	0,897				
Der Bauteil Trenndecke Bestand ist geeignet.							
Es tritt keine Kondensation auf.							

DGK B01 Kellerdecke							
Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]				
1	Stahlbetondecke (18cm)	0,180	2,300				
2	Schüttung (Sand)	0,040	0,700				
3	ISOVER-TDPT 25/20 Trittschalldpl	0,020	0,035				
4	Polyethylen-Folie	0,001	0,230				
5	Estrich (Beton-)	0,050	1,400				
6	PVC-Belag	0,002	0,160				
Dicke des Bauteils		0,293	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,45	0,410				
Der Bauteil Kellerdecke ist geeignet.							
Es tritt keine Kondensation auf.							

EB B02 Bestand Keller							
Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]				
1	Unterbeton	0,100	1,350				
2	Blumen	0,010	0,170				
3	XPS - G (glatte Oberfl., Altbestand) (45)	0,060	0,030				
4	ISOVER-TDPT 35/30 Trittschalldpl	0,030	0,035				
5	Zementestrich (R = 1800)	0,070	1,110				
6	Kunststoffbelag (R = 1400)	0,010	0,210				
Dicke des Bauteils		0,280	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,45	0,305				
Der Bauteil Bestand Keller ist ungeeignet.							
Kondensation tritt auf. Verdunstung kleiner als Kondensation!							

AD B01 Gründach über 1.Stock							
Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]				
1	Dachgartenerde	0,020	2,100				
2	Substrat	0,080	1,000				
3	Filtervlies	0,005	0,200				
4	Blumen-Dachdichtungsbahn	0,015	0,170				
5	XPS - G (glatte Oberfl., Altbestand) (45)	0,185	0,030				
6	Aluminium-Folie (1mm)	0,001	200,000				
7	Stahlbetondecke	0,160	2,300				
8	Luftsch. waag. u-> 5 cm	0,050	0,294				
9	Gipskartonplatten	0,015	0,210				
Dicke des Bauteils		0,531	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,25	0,146				
Der Bauteil Gründach über 1.Stock ist geeignet.							
Kondensation tritt auf. Verdunstung größer als Kondensation, Kondensation kleiner als 0,5 kg/m2							

ID B01 Decke ü. Keller u. Erdgeschoss							
Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]				
1	Linoleum (R = 1200)	0,005	0,170				
2	Zementestrich (R = 1800)	0,060	1,110				
3	EPS - T	0,010	0,044				
4	Stahlbetondecke	0,160	2,300				
5	Luftsch. waag. u-> 5 cm	0,050	0,294				
6	Gipskartonplatten	0,015	0,210				
Dicke des Bauteils		0,300	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,00	1,041				
Der Bauteil Decke ü. Keller u. Erdgeschoss ist geeignet.							
Es tritt keine Kondensation auf.							

EB B01 Fussboden gegen Erdreich							
Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]				
1	Rollierung	0,150	0,700				
2	Unterbeton	0,150	1,300				
3	Blumen	0,010	0,170				
4	PAE-Folie	0,001	0,230				
5	Schutzbeton	0,040	1,300				
6	PAE-Folie	0,001	0,230				
7	EPS	0,070	0,041				
8	EPS - T	0,005	0,044				
9	Aluminium-Folie (1mm)	0,001	200,000				
10	Zementestrich (R = 1800)	0,060	1,110				
11	Fliesen im Dunnbett	0,010	1,000				
Dicke des Bauteils		0,498	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,45	0,403				
Der Bauteil Fussboden gegen Erdreich ist geeignet.							
Kondensation tritt auf. Verdunstung größer als Kondensation, Kondensation kleiner als 0,5 kg/m2							

AWH B01 Beton + Vorsatzschale							
Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]				
1	Mineralfaser Steinw. (100)	0,050	0,039				
2	Beton B225	0,250	1,900				
3	Heraklith-MB (3,5cm)	0,030	0,110				
4	Kalk-Zementputz (1600kg)	0,020	0,700				
Dicke des Bauteils		0,350	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,50	0,517				
Der Bauteil Beton + Vorsatzschale ist geeignet.							
Es tritt keine Kondensation auf.							

AD B02 Kiesdach Bestand							
Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]				
1	Schüttung (Kies 16/32)	0,050	0,700				
2	Blumen	0,015	0,170				
3	PU-Hartschaum (R = 45)	0,050	0,027				
4	Blumen	0,010	0,170				
5	Gefällebeton	0,095	1,300				
6	Stahlbetondecke	0,180	2,300				
Dicke des Bauteils		0,400	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,25	0,419				
Der Bauteil Kiesdach Bestand ist geeignet.							
Kondensation tritt auf. Verdunstung größer als Kondensation, Kondensation kleiner als 0,5 kg/m2							

AWH B02 Loggia Holzkonstruktion							
Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung	[m]	[W/m K]				
1	Mineralfaser Steinw. (100)	0,050	0,039				
2	Vollholzschalung	0,020	0,150				
3	Mineralfaser Steinw. (100)	0,050	0,039				
4	Vollholzschalung	0,020	0,150				
Dicke des Bauteils		0,140	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,50	0,328				
Der Bauteil Loggia Holzkonstruktion ist geeignet.							
Kondensation tritt auf. Verdunstung größer als Kondensation, Kondensation kleiner als 0,5 kg/m2							

Abb. 224 Bestandaufbauten mit Dämmwerten

8.2.1.3. Energieverbrauch

Jahr 2003: Fernwärmeverbrauch des Gesamtobjektes: 3249 MWh (Heizung und WW)

Jahr 2004: 3052,82 MWh, Strom 1.011.680 kWh.

Für Heizung und Warmwasser werde täglich 25.000 Liter auf 60° erzeugt. Dies kann in etwa mit einer Wärmemenge von 550 MWh gleichgesetzt werden.

Verbleibender Fernwärmeverbrauch für Heizung für das Jahr 2003 daher ca. 2700 MWh.

Gesamtfläche Wohntrakt Bestand: 12881 m², Servicetrakt Bestand: 3266 m², Gesamtfläche beheizt Bestand: 16150 m²

Daraus ergibt sich ein Wärmeverbrauch Heizung von durchschnittlich 167 kWh/m² Jahr

Nach Erhebung der Bauteilaufbauten wurde eine Abschätzung des Heizwärmebedarfes im Bestand, geteilt nach Wohntakt und Servicetrakt versucht.

Dies ergab für den Servicetrakt einen Heizwärmebedarf im Bestand von 153 kWh/m²,a und für den Wohntrakt einen Heizwärmebedarf im Bestand von 138 kWh/m², a. Siehe auch Grafik in Kap. 8.3.1.3.1 Dies ergibt gesamt rund 2280 MWh/a. Berücksichtigt man noch die Verteilverluste, so errechnet sich in etwa ein Ergebnis, wie für das Jahr 2003 tatsächlich notiert.

8.2.2. Sanierungsbedarf und Sanierungswunsch

Es besteht Sanierungsbedarf in vielerlei Hinsicht. Die durchzuführenden Maßnahmen lassen sich in zwei Hauptgruppen unterteilen. Wichtig ist einerseits eine energetische, andererseits eine funktionelle Optimierung des Bestands.

Das Objekt wurde für diese Forschungsarbeit vor allem deshalb ausgewählt, weil bei vielen Gebäuden dieser Zeit, bzw. diesen Alters in den nächsten Jahren Sanierungen anstehen und dort gleiche, bzw. ähnliche Sanierungsmaßnahmen vorzunehmen sind.

8.2.2.1. Energetischer Sanierungsbedarf

Angestrebt wird ein Heizwärmebedarf nach PHI-Definition von max. 15 kWh/m². Eine Kombination unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen wird vorgeschlagen und ausgearbeitet. Einerseits betreffen diese die Gebäudehülle, andererseits die Haustechnik.

8.2.2.1.1. Sanierungsbedarf der thermischen Hülle

8.2.2.1.1.1. Hüllfläche - A/V-Verhältnis

Volumen Berechnung:

	BGF	Geschosshöhe	BRI
Wohntrakt	m ²	m	m ³
KG	153,8	3,30	507,5
EG	1265,0	2,80	3542,0
1.OG	1265,0	2,80	3542,0
2.-11.OG	1203,5	2,80	33698,0
12. OG	1203,5	3,05	3670,7
	5090,8		44960,2
Seitentrakt			
KG	1307,0	3,73	4875,1
EG	524,0	5,85	3065,4
	130,0	3,05	396,4
	736,1	2,80	2061,0
1.OG	437,9	2,80	1226,1
	298,2	3,05	909,4
2.OG	437,9	3,05	1335,6
	3871,0		13869,1
Gesamt	8961,8		58829,3

Hüllflächen Berechnung:

	Länge	Höhe	Hüllfläche
Wohntrakt	m	m	m ²
Kellerboden	153,8		153,8
KG	97,9	3,30	323,1
EG	211,1	2,80	591,1
1.OG	212,5	2,80	595,0
2.-11.OG	285,1	2,80	7982,8
12. OG	285,1	3,05	869,6
Dachfläche	1203,5		1203,5
			11718,8
Seitentrakt			
Kellerboden	1307,0		1307,0
KG	170,0	3,73	634,1
EG	85,6	5,85	500,8
	29,5	2,80	82,6
1.OG	85,0	2,80	237,9
	48,3	3,05	147,4
2.OG	113,1	3,05	345,0
Dachflächen	1358,2		1358,2
			4613,0
Gesamt			16331,8

Das A/V-Verhältnis (BGF/Hüllfläche) beträgt somit $16331,8 / 58829,3 = 0,28$.

Rein auf den Wohntrakt bezogen ergibt sich ein ähnliches A/V-Verhältnis von **0,26**

Die beiden Werte sind nicht sehr verschieden. Dies ist insofern beachtenswert, weil das Volumen des Wohntraktes fast viermal größer ist als das Volumen des Seitentraktes. Die Oberfläche der Fassade ist hier im Verhältnis zum Volumen sehr groß. Insbesondere die Vor- und Rücksprünge der Loggia, sowie der Versatz der Wohnungen zueinander vergrößern die Hüllfläche.

Gebäude wie der Haupttrakt mit einem Volumen von über 50.000 m³ weisen, wenn sie kompakt gebaut sind, ein A/V Verhältnis von 0,21 auf, Gebäude mit einem Volumen wie der Seitentrakt mit einem Volumen von ca. 15000 m³ weisen, wenn sie kompakt gebaut sind, ein A/V Verhältnis von ca. 0,26 auf.

Hüllfläche bezogen auf eine Wohnung:

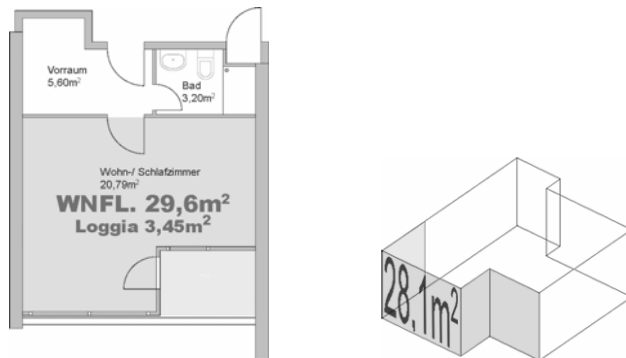


Abb. 225 Fassadenoberfläche einer Wohnung

Eine Wohnung besitzt 28,1m² Fassadenfläche bei 29,6m² WNFL (+3,45m² Loggia), d.h. einem Quadratmeter Wohnnutzfläche sind 0,95m² Fassade zugeordnet. (Dach, Keller, allgemeine Flächen nicht eingerechnet).

8.2.2.1.1.2. Dämmung

Dämmung der nicht-transparenten Bauteile siehe Aufbauten Kap. 0.1.1.1

Diese Dämmstärke (5cm) genügt heutigen Ansprüchen an eine Fassade nicht. Selbst wenn man dämmtechnisch nicht in den Passivhausbereich vordringen möchte, ist eine energetische Sanierung notwendig.

Der Standard der Fensterqualität entspricht in etwa dem Dämmstandard der massiven Bauteile. Die Luftdichtheit des Bestandes wurde nicht geprüft. Bei Passivhaussanierung ist allerdings eine geprüft luftdichte Hülle Pflicht.



Abb. 226 Verglasung der Loggia, im Bild rechts ist die dünne Wand der Loggia gut erkennbar.

8.2.2.1.1.3. Fassadenbekleidung

Die Fassadenbekleidung besteht aus hinterlüfteten Faserzementplatten (im Foto grau) oder einer Metallverkleidung (im Foto braun).

In diesem Zusammenhang muss erwähnt werden, dass die Struktur und die Materialität der Fassadenoberfläche einen kühlen, abweisenden Charakter hat, der im Widerspruch steht zu modernen Pensionistenwohnhäusern, welche offen, freundlich und farbenfroh geplant und gebaut werden. Im Zuge einer Sanierung sollte ein zeitgemäßes äußeres Erscheinungsbild geschaffen werden.



Abb. 227 Loggia

8.2.2.1.1.4. Wärmebrücken

Jede Wohnung ist mit einer Loggia ausgestattet.

Die bestehende Loggia ist unter modernen energetischen Gesichtspunkten in der derzeitigen Ausführung, d.h. mit durchlaufender Geschossdecke ohne thermische Trennung oder allseitiger Dämmung, nicht zu rechtfertigen. Selbst bei ausreichender Dämmung der Wände wird durch diese Wärmebrücken viel Energie verloren. Die Wärmebrücke der Loggiabodenplatte und der angehängten Betonbrüstung ist allein mit Maßnahmen des Vollwärmeschutzes nicht zu beheben. Mit steigender Wärmedämmung der opaken Außenbauteile erhöht sich der Verlust über die Wärmebrücke.

Es müssen daher Lösungen entwickelt werden, die ohne die Loggia in ihrer jetzigen Position funktionieren.

Des Weiteren existieren zum Keller hin massive Wärmebrücken durch die Wände, bzw. Betonscheiben.

8.2.2.1.2. haustechnischer Sanierungsbedarf

Im Rahmen einer Passivhaussanierung muss auch die Haustechnik an moderne Anforderungen angepasst werden.

8.2.2.1.2.1. Lüftung

Laut Aussage des Betreibers ist es an einigen Tagen wegen des Windes schwierig, die oberen Geschosse natürlich zu belüften. Einerseits ist es oben aufgrund der Höhe des Gebäudes teilweise sehr windig, andererseits haben die Bewohner ein höheres Wärmebedürfnis als ein Durchschnittsmensch. Einige Wohnungen bleiben daher teilweise für längere Zeit unbelüftet, insbesondere im Winter.

Kombiniert mit einer besseren Dämmung ist eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sinnvoll. Auch energetisch ist eine Lüftungsanlage zweckmäßig, da bis zu 85% der Heizenergie wieder rückgeführt werden.

Die Entlüftung der Bäder wird derzeit in einem Strang ohne Schalldämpfer geführt, sodass sowohl Gerüche (Zigarettenrauch) als auch Schall von einem Bad in ein anderes übertragen werden.

8.2.2.1.2.2. Regelung der Heizungsanlage

Die Heizungsverteilung erfolgt mit einem Strang für übereinanderliegenden 13 Wohneinheiten. Es wird darüber geklagt, dass die Temperaturverteilung nicht gleichmäßig erfolgt, sondern dass das Temperaturniveau von unten nach oben abnimmt.

8.2.2.1.2.3. Sanitäre Einrichtungen

Die Bäder sind nicht barrierefrei, es gibt keine Wasserspararmaturen, die Teeküchen sind nicht als Nassbereiche ausgebildet. Es kommt daher immer wieder zu Wasserschäden, weil das Wasser in der Küche (z.B. zum Kühlen einer Flasche Bier) unkontrolliert rinnen gelassen wird.

8.2.2.1.2.4. Küchenbereich

Der Küchenbereich ist mit einer neuen Lüftungsanlage ausgestattet (25.000 m³/h) und ist ca. 12h täglich in Betrieb (mehrstufige Anlage mit rekuperativer Wärmerückgewinnung). Es gibt allerdings keine Kühlung, sodass die Arbeitsbedingungen in der Küche nicht als optimal zu bezeichnen sind.

Weiters hat der Saunabereich (ca. 1500 m³/h) eine Lüftungsanlage sowie der Speisesaal und der Pflegebereich.

8.2.2.1.2.5. Speise/ Veranstaltungssaal

Der Veranstaltungssaal besitzt zwar eine Lüftung, jedoch keine Kühlung. Es finden allerdings in einem Pensionistenwohnhaus ganzjährig Veranstaltungen statt, und diese meist am frühen Nachmittag. Im Sommer ist daher die Temperatur im voll besetzten Saal bereits nach weniger als einer Stunde so hoch, dass ein Teil der Veranstaltungsteilnehmer die Veranstaltung vorzeitig, zumeist in der Pause verlassen muss.

8.2.2.2. Funktioneller Sanierungsbedarf

Zahlreiche funktionelle Anforderungen haben sich seit der Errichtung des Pensionistenhauses im Jahr 1974 geändert. Allerdings ist zeitgemäßer Wohnkomfort eine z.T. sehr subjektive Größe, die z.B. Barrierefreiheit, Raumgröße, Ausstattung, natürliche Belichtung/Besonnung, Lüftung und einen persönlichen Außenbereich mit Bepflanzung beinhaltet.

8.2.2.2.1. Barrierefreiheit

Zahlreiche Bauteile bzw. Abstände sind laut ÖNORM B1600 bzw. B1601 nicht barrierefrei:

- Die Sturzhöhe aller Türen beträgt 1,94m – diese Größe ist im Seniorenbereich nach Meinung der Autoren vernachlässigbar, da ältere Menschen noch selten so groß sind.
- Die Wohnungstür ist 0,85 cm breit, gefordert sind 0,90 cm.
- Die Dusche ist nicht schwellenlos betretbar.
- Der Bewegungsradius $r=75$ cm ist im Bad nicht vorhanden.
- Der Außenraum ist nur über eine Schwelle erreichbar und die Brüstung ist zu hoch.

8.2.2.2.2. Nutzflächenvergrößerung

Nach Aussagen des Direktors des Pensionistenwohnhauses ist eine Vergrößerung der Wohnfläche in einer baukonstruktiv und ökonomisch sinnvollen Größenordnung erstrebenswert. Schon jetzt muss das Pensionistenhaus mit anderen Wohnhäusern für Senioren konkurrieren, wo teilweise deutlich geräumigere Appartements geboten werden.

8.2.2.2.3. Ausstattung

Selbstverständlich muss das Wohnhaus nach der Sanierung in der gesamten Ausstattung barrierefrei nach ÖNORM sein. Man muss beachten, dass die Bewohner im Normalfall den großen Teil ihres Tages hier verbringen und daher die Ausstattung sowohl langlebig und robust als auch zeitgemäß und für Senioren attraktiv sein sollte.

Innerhalb der Wohnung wird die Funktionszone (Bad, Kochzeile, Garderobe, etc.) vom Heim gestellt, auf eigene Möbel der Nutzer wird Wert gelegt.

8.2.2.2.4. natürliche Belichtung / Besonnung/ Ausblick

Zurzeit sind die Wohnbereiche zwar hell, es gibt jedoch einen deutlichen Abfall im Bereich hinter der Loggia, der jeweils nur ein kleines Fenster zur Loggia aufweist. Die Fensterebene des Hauptfensters liegt weit in der Wand, Brüstung, bzw. Parapet sind mit 1,00 bis 1,10 m sehr hoch. Die Loggia, siehe Abb. 228, ist stark verschattet, die dahinter angeordnete Schlafnische auch. Dadurch, dass sie zum Hauptwohnbereich versetzt liegt, ist auch kaum ein direkter Sichtbezug zur Loggia hergestellt.

Ziel ist eine größere Glasfläche, die den Innenraum besser und gleichmäßiger natürlich belichtet, dazu eine verbesserte Erlebbarkeit des Balkones und ein verbesserter Ausblick (siehe auch Abb. 243 Belichtungsstudie mit Falschfarbendarstellung)

8.2.2.2.5. Verschattung

Da das Gebäude ost-westorientiert ist, neigen die Wohnungen zu sommerlicher Überwärmung. Geeignete Maßnahmen wie z.B. außenliegende Verschattung sind anzuwenden. Hier könnte auch mit dem Element der sommerlichen Verschattung durch vertikale Bepflanzung gearbeitet werden.

8.2.2.2.6. privater Freiraum

Jede Wohnung besitzt eine eigene private Loggia mit großzügigem Blick über Wien. Neben den energetischen Problemen (s.o.), wird die Loggia laut Aussage der Betreiber wenig genutzt. Dies ist nicht weiter verwunderlich. Die Loggia ist schlecht an den Innenraum angebunden, die Kontrolle über den Innenraum geht dadurch psychologisch beim Aufenthalt auf dem Balkon komplett verloren (mangelndes Sicherheitsgefühl). Der Außenraum der Loggia ist abweisend, eher dunkel und unattraktiv, es wird weiters über starken Wind geklagt.

Dies könnte u.U. auch darauf zurückzuführen sein, dass es durch die vielen rechtwinkligen Kanten und Vor und Rücksprünge der Fassade vermehrt zu Windverwirbelungen kommt.



Abb. 228 Ausblick mit hoher Brüstung, Abb. 229 Fassadenstruktur mit Loggien

Zusätzlich behindert die massive Brüstung der bestehenden Loggia – die Wiener Bauordnung schreibt für Hochhäuser eine Höhe von 1,10m vor – einen umfassenden Ausblick in die Umgebung. Gerade für ältere Menschen, die häufig gebückt gehen, nicht sehr groß sind und sich auf ihrem Balkon primär sitzend aufhalten, ist so der Ausblick, den der eigene Freibereich bietet, nicht zur Gänze erlebbar. Die ÖNORM B 1601 schreibt für Seniorenhäuser o.ä. vor, dass mindestens ab einer Brüstungshöhe von 60 cm die Absturzsicherung so ausgeführt werden muss, dass ein Ausblick gewährleistet werden kann.

8.3. Sanierungskonzept

Zwei voneinander unabhängige Maßnahmenpakete greifen ineinander, um das Gebäude an heutige funktionelle und energetische Standards eines Pensionistenwohnhauses anzupassen. Für beide Pakete wurden jeweils mehrere Varianten entwickelt und gegeneinander abgewogen. Einige Maßnahmen, wie z.B. die neue Balkonkonstruktion, könnten natürlich beiden Sanierungspaketen zugeteilt werden.

8.3.1. Energetische Sanierung

Die energetisch wirksame Sanierung betrifft primär die Gebäudehülle und die Haustechnik. Diverse kombinierte Maßnahmen sind zum Erreichen des Passivhausstandards notwendig.

8.3.1.1. Thermische Hülle

8.3.1.1.1. Varianten

Drei Fassadenkonfigurationen werden entwickelt und untersucht. Die Isometrie zeigt jeweils die Fassadenfläche bezogen auf die Grundfläche. Energetisch, räumlich und funktional erscheint die Variante B optimal. Die Wohnfläche ist vergrößert, die Hüllfläche stark verringert, der räumliche Bezug zum Balkon und die damit einhergehende subjektive Erweiterung der Wohnfläche nach außen ist gegeben.

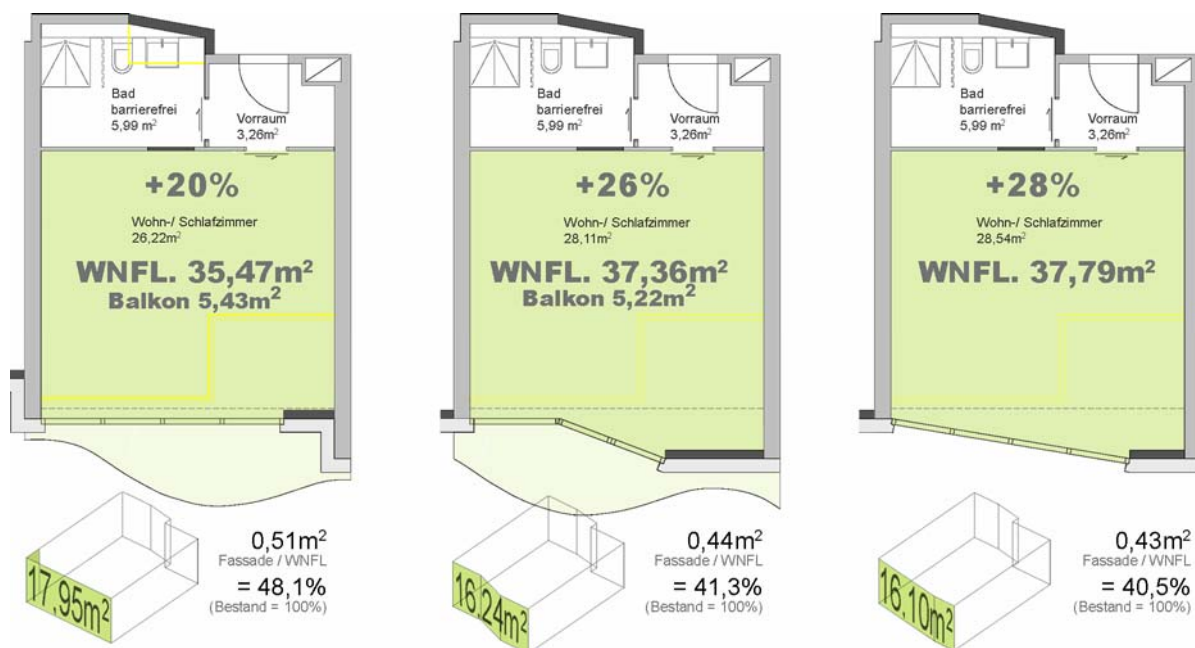


Abb. 230 Fassadenvarianten A, B, C (von links nach rechts)

Variante A wird primär durch den bestehenden Rohbau definiert. Die Loggia wird geschlossen und ein barrierefreier Balkon ergänzt. Das Verhältnis Hüll-/Nutzfläche ist stark verbessert, allerdings noch weiter optimierungsfähig.

Variante B vereint die Vorteile der beiden anderen Varianten. Geplant wird eine barrierefreie Wohnung mit einer im Verhältnis zur Nutzfläche geringen Fassadenfläche sowie eine Vergrößerung der inneren Nutzfläche mit behindertengerechten Balkon.

Variante C ist sowohl in der Herstellung als auch im Betrieb die kostengünstigste Lösung, da hier auf den privaten Freiraum verzichtet wird, die Hüllfläche sehr klein ist und keine konstruktiven Wärmebrücken auftreten. Allerdings ist der Wegfall des privaten Freibereiches

nach Ansicht der Autoren ein so gravierender Einschnitt in die Lebensqualität der Bewohner, dass diese Variante im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt wird.

In der weiteren Bearbeitung wird mit der Variante B vertieft betrachtet. Die einzelnen Maßnahmen können aber auf beide anderen Varianten übertragen werden.

8.3.1.1.2. zusätzliche Variante: Westseite des Südflügels

Als weitere Option wurde eine abweichende Gestaltung der Westseite des Südflügels angedacht, um die Fenster mehr Richtung Süden zu orientieren.



Abb. 231 Alternative Westfassade des Südflügels

Interessant ist hier nur dieser Flügel, da die Westseite des Nordflügels durch das Stiegenhaus zu stark verschattet wird. Nach Abwägung der solaren, räumlichen und baukonstruktiven Vor- und Nachteile, haben wir uns entschlossen, die Fassade überall gleich zu behandeln.

8.3.1.1.3. Verbesserung des A/V-Verhältnisses

Vergrößern der Wohnfläche – Verkleinern der Hüllfläche

Die bestehende Außenfassade wird bis auf die massiven Betonschotten entfernt. Die Fläche der bestehenden Loggia wird der Wohnfläche zugeschlagen, so dass die Vor- und Rücksprünge durch eine Loggia entfernt werden. Zusätzlich wird der Versprung zwischen den Wohnungen genutzt, um den Wohnraum zu vergrößern.

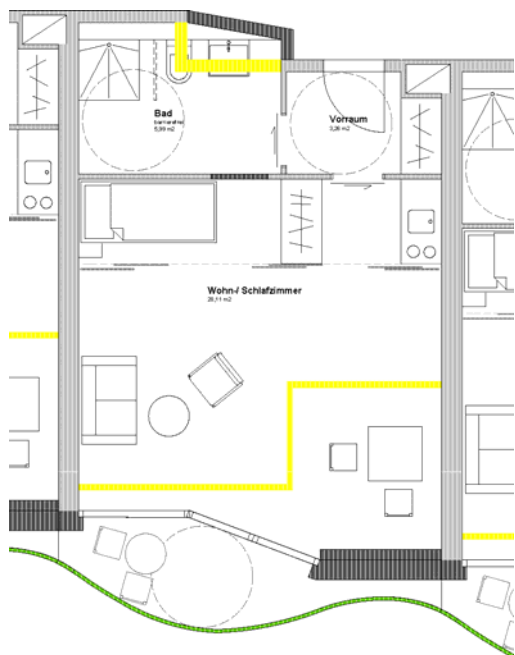


Abb. 232 Konstruktive Maßnahmen (Abbruch in gelb, Neu in dunkelgrau)

Die beheizte Wohnnutzfläche wird so um 26% vergrößert. Gleichzeitig wird die Hüllfläche vermindert. Jede Wohnung hat vor der Sanierung eine Fassadenoberfläche von $28,1\text{m}^2$ (siehe Abb. 225), nach der Sanierung eine Fassadenfläche von $16,24\text{m}^2$. Bezogen auf die bestehende Grundfläche kann so die Gebäudeoberfläche von $0,95\text{m}^2$ Fassadenfläche / $1,00\text{m}^2$ WNFL (100%) auf $0,44\text{m}^2$ (41,3%) verringert werden. Das Verhältnis „Fassadenoberfläche / WNFL“ wird mehr als halbiert (siehe Abb. 230).

Das absolute A/V-Verhältnis hat sich wie folgt verbessert:

	BGF	Geschosshöhe	BRI		Höhe Hüllfläche	
Wohntrakt	m ²	m	m ³	Wohntrakt	m	m ²
KG	153,8	3,30	507,5	Kellerboden	153,8	153,8
EG	1364,7	2,80	3821,2	KG	97,9	323,1
1.OG	1364,7	2,80	3821,2	EG	192,4	538,7
2.-11.OG	1307,0	2,80	36596,0	1.OG	192,4	538,7
12. OG	1307,0	3,57	4666,0	2.-11.OG	201,7	5646,5
				12. OG	201,7	719,9
				Dachfläche	1307,0	1307,0
			49411,9			9073,9

Die Hüllfläche des Wohntraktes, über die Wärme verloren geht, wird von $11718,8\text{ m}^2$ auf $9073,9\text{ m}^2$ verringert. Verglichen mit den Werten des Bestandes ergibt sich eine Verbesserung um 23,5%. Das A/V-Verhältnis des Wohntraktes beträgt nun 0,18. Das Soll eines kompakten Baukörpers wird nach den Sanierungsmaßnahmen sogar unterschritten.

Das Gesamtgebäude inklusive Seitentrakt besitzt nach der Sanierung ein A/V-Verhältnis von 0,215..

8.3.1.1.4. Verbesserung des Dämmwertes der Außenhülle:

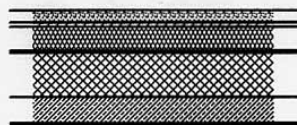
Die Wärmedämmung und die Fenster werden ausgetauscht.

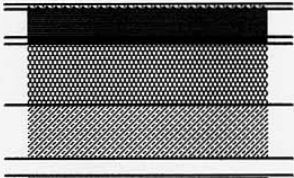
Die gewählten und berechneten Fenster der Fa. Sigg haben folgende Werte:

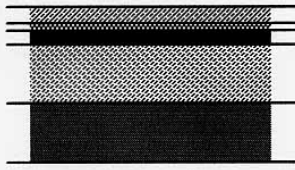
U-Wert Glas: 0,70 W/(m²/K), U-Wert Rahmen: 0,93 W/(m²/K), U-Wert gesamt: 0,83 W/(m²/K), g-Wert 0,53.

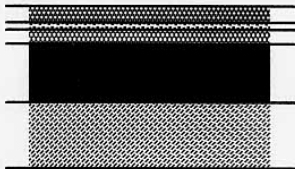
U.a. werden folgende Aufbauten vorgeschlagen:

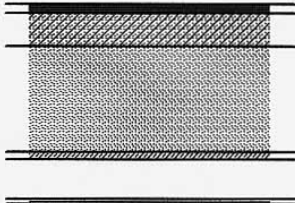
Decken:

AD K01		Gründach extensiv			O							
Baustoffschichten			d	λ								
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]								
1	Humusschicht	✓	0,100	1,800								
2	Blähton	✓	0,030	0,160								
3	Vlies	✓	0,001	0,220								
4	XPS - G (glatte Oberfl.; Zellgas Luft; d > 70 mm)	✓	0,180	0,041								
5	Abdichtung wurzelfest 2-lag.	✓	0,008	0,230								
6	steinopor® 700 EPS-W25	✓	0,340	0,036								
7	PE - Dichtungsbahnen	✓	0,001	0,250								
8	Dampfdruckausgleichsschicht	✓	0,001	0,230								
9	Stahlbeton-Decke (20cm)	✓	0,200	2,300								
10	Kalkputz	✓	0,015	0,800								
Dicke des Bauteils			0,876	[m]	U M 1:50							
		zulässig	vorhanden									
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,25	0,069	[W/m²K]					R _w	erforderlich	vorhanden	
Der Bauteil Gründach extensiv ist geeignet: Kondensation tritt auf. Verdunstung größer als Kondensation, Kondensation kleiner als 0,5 kg/m2									L _{nT,w}	47	66,2	[dB]
									L _{nT,w}	48		[dB]
					D _{nT,w}			[dB]				

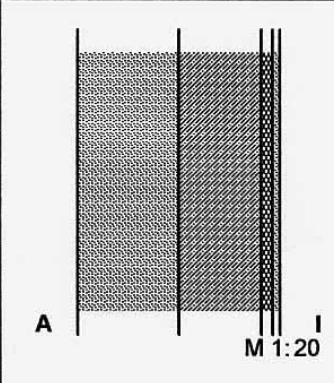
AD B01		Gründach über 1.Stock			O			
	Baustoffschichten		d	λ				
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	 U M 1:20			
1	Dachgartenerde	✓	0,020	2,100				
2	Substrat	✓	0,080	1,000				
3	Filtervlies	✓	0,005	0,200				
4	Bitumen-Dachdichtungsbahn	✓	0,015	0,170				
5	XPS - G (glatte Oberfl.; Altbestand) (45)	✓	0,185	0,030				
6	Aluminium-Folie (1mm)	✓	0,001	200,000				
7	Stahlbeton-Decke	✓	0,160	2,300				
8	Luftsch. waagr. u>o 5 cm	✓	0,050	0,294				
9	Gipskartonplatten	✓	0,015	0,210				
Dicke des Bauteils			0,531	[m]				
		zulässig	vorhanden			erforderlich	vorhanden	
Wärmedurchgangskoeffizient U		0,25	0,146	[W/m²K]	R _w	47	58,9	[dB]
Der Bauteil Gründach über 1.Stock ist geeignet: Kondensation tritt auf. Verdunstung größer als Kondensation, Kondensation kleiner als 0,5 kg/m2					L _{nT,w}	48		[dB]
					D _{nT,w}			[dB]

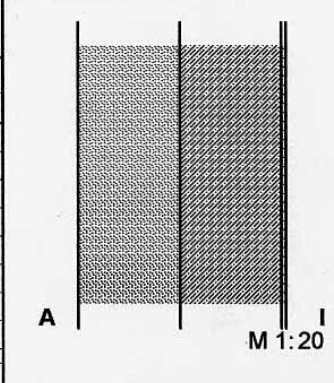
DGK K01		Kellerdecke + Tektalan			O
Baustoffschichten			d	λ	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	
1	Tektalan-SD (17,5cm)	✓	0,175	0,046	
2	Stahlbeton-Decke (18cm)	✓	0,180	2,300	
3	Schüttung (Sand)	✓	0,040	0,700	
4	ISOVER-TDP 25/20 Trittschalldpl	✓	0,020	0,035	
5	Polyethylen-Folie	✓	0,001	0,230	
6	Estrich (Beton-)	✓	0,050	1,400	
7	PVC-Belag	✓	0,002	0,160	
Dicke des Bauteils			0,468	[m]	U M 1:20
Wärmedurchgangskoeffizient U			zulässig 0,45	vorhanden 0,204	
Der Bauteil Kellerdecke + Tektalan ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.					R _w erforderlich 58 vorhanden 61,6 [dB]
					L _{nT,w} 60 [dB]
					D _{nT,w} 55 [dB]

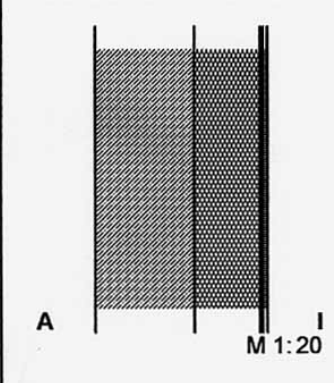
DGK K02		Kellerdecke + Mineralfaser			O
Baustoffschichten			d	λ	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	
1	Holzwoledeckschicht 5 mm (WW)	✓	0,000	0,150	
2	Mineralfaser Steinw. (30)	✓	0,200	0,041	
3	Stahlbeton-Decke (18cm)	✓	0,180	2,300	
4	Schüttung (Sand)	✓	0,040	0,700	
5	ISOVER-TDP 25/20 Trittschalldpl	✓	0,020	0,035	
6	Polyethylen-Folie	✓	0,001	0,230	
7	Estrich (Beton-)	✓	0,050	1,400	
8	PVC-Belag	✓	0,002	0,160	U M 1:20
Dicke des Bauteils			0,494	[m]	
Wärmedurchgangskoeffizient U			zulässig 0,45	vorhanden 0,167	
Der Bauteil Kellerdecke + Mineralfaser ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.					R _w erforderlich 58 vorhanden 61,6 [dB]
					L _{nT,w} 60 [dB]
					D _{nT,w} 55 [dB]

ID B01		Decke ü. Keller u. Erdgeschoss			O
Baustoffschichten			d	λ	
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]	
1	Linoleum (R = 1200)	✓	0,005	0,170	
2	Zementestrich (R = 1800)	✓	0,060	1,110	
3	EPS - T	✓	0,010	0,044	
4	Stahlbeton-Decke	✓	0,160	2,300	
5	Luftsch. waagr. u>= 5 cm	✓	0,050	0,294	
6	Gipskartonplatten	✓	0,015	0,210	
Dicke des Bauteils			0,300	[m]	U M 1:10
Wärmedurchgangskoeffizient U			zulässig 0,00	vorhanden 1,041	
Der Bauteil Decke ü. Keller u. Erdgeschoss ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.					R _w erforderlich vorhanden [dB]
					L _{nT,w} [dB]
					D _{nT,w} [dB]

Aussenwände:

AW B04		Beton + 30cm WDVS						
Baustoffschichten			d	λ				
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]				
1	Röfix Mineralputz	✓	0,007	0,700				
2	EPS - F	✓	0,300	0,040				
3	Beton B225	✓	0,250	1,900				
4	Heraklith-MBE (3,5cm)	✓	0,030	0,110				
5	Kalk-Zementputz (1600kg)	✓	0,020	0,700				
Dicke des Bauteils			0,607	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		zulässig	vorhanden			erforderlich	vorhanden	
		0,50	0,123	[W/m²K]	R_w	47	66,8	[dB]
Der Bauteil Beton + 30cm WDVS ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.					$L_{nT,w}$			[dB]
					$D_{nT,w}$			[dB]

AW K03		Stahlbeton + Vorsatzschale						
Baustoffschichten			d	λ				
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]				
1	Röfix Mineralputz	✓	0,007	0,700				
2	EPS - F	✓	0,300	0,040				
3	Beton B300	✓	0,300	1,900				
4	Kalk-Zementputz (1600kg)	✓	0,020	0,700				
Dicke des Bauteils			0,627	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		zulässig	vorhanden			erforderlich	vorhanden	
		0,50	0,127	[W/m²K]	R_w	47	68,0	[dB]
Der Bauteil Stahlbeton + Vorsatzschale ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.					$L_{nT,w}$			[dB]
					$D_{nT,w}$			[dB]

WGK K01		AW Keller Beton + WD innen						
Baustoffschichten			d	λ				
Nr	Bezeichnung		[m]	[W/m K]				
1	Beton B300	✓	0,300	1,900				
2	XPS - R (rauhe Oberfl.; Zellgas Luft; d < 130 mm)	✓	0,200	0,037				
3	Aluminium-Folie (1mm)	✓	0,001	200,000				
4	Faserzementplatten	✓	0,015	0,580				
Dicke des Bauteils			0,516	[m]				
Wärmedurchgangskoeffizient U		zulässig	vorhanden			erforderlich	vorhanden	
		0,90	0,171	[W/m²K]	R_w	58	68,6	[dB]
Der Bauteil AW Keller Beton + WD innen ist geeignet: Es tritt keine Kondensation auf.					$L_{nT,w}$			[dB]
					$D_{nT,w}$	55		[dB]

8.3.1.1.4.1. Luftdichtigkeit der Hülle

Die neue Hülle wird luftdicht ausgeführt und nach Fertigstellung auf Luftdichtheit getestet. Allgemeine Türen in der wärmedämmenden Hülle werden mit Selbstschließer ausgeführt.

8.3.1.1.5. Vermeidung von Wärmebrücken

8.3.1.1.5.1. Loggia

Die Loggiafläche wird in die beheizte Wohnfläche integriert. Dadurch befindet sich die durchgehend betonierte Decke vollständig im gedämmten Bereich und ist keine Wärmebrücke mehr.

8.3.1.1.5.2. Balkonkonstruktion

siehe 8.3.1.4.6

8.3.1.1.5.3. Keller

Die warmen Kellerräume (wie z.B. die Waschküche) erhalten mangels anderer Möglichkeiten eine Innendämmung. Der Kellerfußboden bleibt unverändert. In den kalten Räumen ist eine Dämmung der EG Decke von unten vorgesehen. Die Fensterbänder werden teilweise geschlossen, insbesondere in den Bereichen der Abstellräume.

Die Wärmebrücken durch die massiven Betonscheiben und die anderen Innenwände bleiben bestehen und sind in der PHPP-Berechnung berücksichtigt.

8.3.1.1.6. Wohnungen in Randlage

Das Dach wird mit insgesamt 52cm Isolationsmaterial gedämmt (siehe Konstruktionsaufbau), um die Heizlasten in den Randwohnungen in einem haustechnisch innerhalb der Passivhausbauweise realisierbaren Maß zu erhalten (siehe auch 8.3.1.2 Konzept Heizung/ Lüftung, Wohntrakt).

8.3.1.1.7. Sonnenschutz

Ein außenliegender Sonnenschutz, wie z.B. die Verwendung von Jalousien, ist sinnvoll, um die sommerliche Überwärmung der ost- und westorientierten Wohnungen im Hauptgebäude zu verhindern. Unterstützt wird die sommerliche Verschattung durch die vertikale Bepflanzung, wie in Kap.6 – Bauwerksbegrünung erarbeitet wurde.

8.3.1.2. Konzept Heizung/ Lüftung, Wohntrakt

8.3.1.2.1. Zusammenfassung der Ergebnisse

8.3.1.2.1.1. Übersicht

Auf Basis diverser Studien zum Thema Energieeffizienz und Luftqualität im Wohnungsbau, von Referenzprojekten und von Berechnungen zu Energieverbrauch, Tageslichtnutzung, Sommerverhalten und Luftqualität wird für die Sanierung Pensionistenwohnhaus Penzing ein Gebäudeklimakonzept mit hohem Nutzerkomfort, hoher Wohnqualität bei niedrigen Betriebskosten und niedrigem Energieverbrauch gemäß Passivhausstandard konzipiert.

Der Studienschwerpunkt aus haustechnischer Sicht ist die Erarbeitung der verschiedenen Möglichkeiten zur Lüftungsausführung. Es werden die Lösungsansätze „dezentrale Lüftung/ Fassade“, „dezentrale Lüftung“, „semizentrale Lüftung“ und „zentrale Lüftung“ aufgezeigt und beschrieben (Lüftungsprinzip, Grundriss, allgemeine Vor- und Nachteile, Herstell- und Betriebskosten, Umsetzungsmöglichkeit und jeweils kritische Punkte im spezifischen Sanierungsprojekt). Darüber hinaus werden verschiedene Strategien der Wärmeeinbringung/ Wärmeabgabe im Raum untersucht.

Hinsichtlich Komfort- und Energieverbrauchsberechnungen liegen die Schwerpunkte zum einen bei der wärmetechnischen Sanierung. Zum anderen ergeben sich hohe Anforderungen an eine Sanierung mit guter Tageslichtnutzung, da im Vergleich zum modernen, hellen Wohnungsbau relativ geringe Fenstergrößen durch den Bestand vorgegeben sind und die (thermisch günstigen) tiefen Baukörper dunkle innere Erschließungs- und Aufenthaltsflächen erzeugen können. Ein geeignetes Tages- und Kunstlichtkonzept soll hier ausreichend helle

Räume gewährleisten und verhindern, dass die Passivhauseinsparungen im Wärmebereich durch einen hohen Stromverbrauch beim Kunstlicht konterkariert werden. Als drittes Thema neben der thermischen Sanierung in Passivhausqualität und der Tageslichtnutzung wird die Sommertauglichkeit behandelt. Die Einhaltung von angenehm kühlen sommerlichen Raumtemperaturen ist aufgrund des beinahe ständigen Aufenthalts der Pensionisten in ihren Wohnungen ebenfalls ein wichtiger Punkt zum Thema Raumklimakomfort.

Mit der folgenden, überblicksartigen Bewertung soll für das vorliegende Wohnbau-Sanierungsprojekt die optimale Haustechnikkombination empfohlen und dem Investor eine übersichtliche Systemgegenüberstellung ermöglicht werden.

8.3.1.2.1.2. Variantenvergleich Lüftung

Variantenvergleich Lüftungskonzepte

Variantenbezeichnung		Komfort	Investitions-kosten
A	dezentral wohnungsweise/ Fassade	-	0
B	dez. 3-4 Wohnungen	+	-
C	semizentral halbgeschossweise	++	0
D	zentral	-	++

Skala: +_vorteilhaft, 0_neutral, -_ungünstig

Favorit: hervorgehoben

8.3.1.2.1.3. Variantenvergleiche Heizung

Variantenvergleich Heizungskonzepte

Variantenbezeichnung		Komfort	Investitions-kosten
1	Heizen über Lüftung	-	+
2	„Wärmefrischlufthbox“ *)	++	0
3	Heizkörper	+	0
4	Fußbodenheizung	++	-

Skala: +_vorteilhaft, 0_neutral, -_ungünstig

Favorit: hervorgehoben

*) Kombination aus Luftauslass und Kleinheizkörper

8.3.1.2.2. Grundlagen zur Dimensionierung

Um den Passivhausstandard zu erreichen, werden Außenbauteile und Wärmebrücken optimiert: Eine detaillierte Übersicht über die relevanten Außenbauteile findet sich in den betreffenden Kapiteln.

8.3.1.2.2.1. Energiekennzahlen - PHPP-Berechnung:

Um besonders kritische Wohnungen darzustellen, wurden jene mit dem höchsten Anteil an Außenflächen und Wärmebrücken und somit dem schlechtesten Oberflächen/Volumen – Verhältnis bzw. jene mit den schlechtesten solaren Einstrahlungsverhältnissen im Erdgeschoss ausgewählt und mit dem Passivhausprojektierungspaket 2004 modelliert.

Folgende Wohneinheiten wurden für die Analyse der Heizlast-Bandbreite herangezogen:

a) Modul 1 - innenliegende Wohnung im Regelgeschoss

b) Modul 2 – Randwohnung im Regelgeschoss

c) Modul 3 – Randwohnung im Erdgeschoss

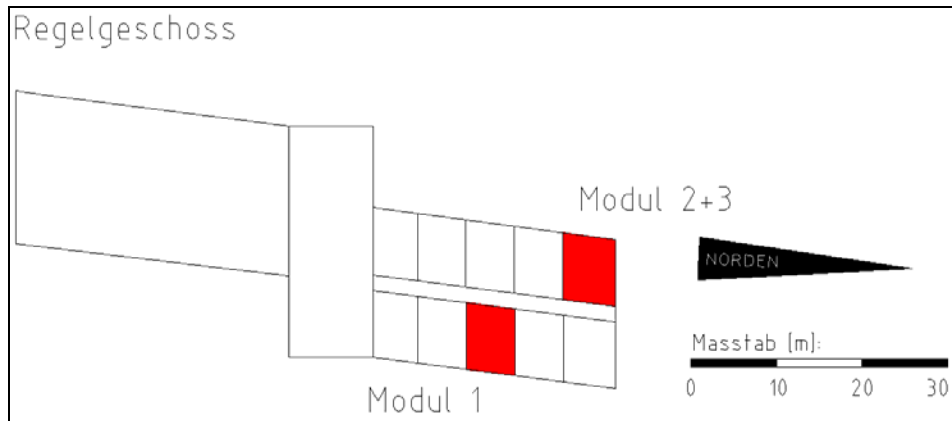


Abb. 233

Energiekennzahlen Grünes Licht	HWB _{IST} [kWh/m ² .a]	P _{H,IST} [W/m ²]
modul 1 (innen-WHG ost)	9	8,3
modul 2 (NordWest Eck Whg)	17	10,7
modul 3 (modul 1 im EG)	41	15,0

Randbedingung: 24°C Raumtemperatur

8.3.1.2.2.2. Gebäudeklimakzept

Ausgangsbasis zum Gebäudeklimakzept ist das thermisch und lichttechnisch optimierte Gebäude, das aufgrund von Gebäudekonstruktion, Wärmedämmung, Verglasungen, Sonnenschutz, Speichermassen, baulichen Tageslichtmaßnahmen etc. von vornherein nur mehr sehr wenig Energie zum Erreichen eines guten Raumklimakomforts benötigt. Die wesentlichen Komponenten des geplanten Gebäudeklimakonzepts ergeben sich wie folgt:

8.3.1.2.2.2.1. Passivhaustaugliche Gebäudehülle:

Thermisch hochwertige Qualität der Gebäudehülle, insbesondere:

Hohe Dämmstärken Außenwand, Dächer, U – Werte 0.1 bis 0.14 W/m²K, Vermeidung bzw. Reduzierung von Wärmebrücken.

3 – Scheibenverglasung Weißglas mit hohem g – Wert (Verglasung U = 0.6 bis 0.7 W/m²K, g = 50 bis 55%). Kunststoffabstandhalter, thermisch optimierter Rahmen und Scheibenrandverbund, Fenster inklusive Rahmen und Randverbund gesamt U = 0.8 W/m²K.

Konsequent in Planung und Realisierung durchgeführtes Luftdichtigkeitskonzept, messtechnische Überprüfung mittels Blowerdoor test.

8.3.1.2.2.2.2. Lüftung mit Wärmerückgewinnung:

Kontrollierte Be- und Entlüftung zur Herstellung einer optimalen Raumluftqualität in den Wohnung (CO₂ – Konzentration << 1000 bis 1200 ppm) und zur erheblichen Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten.

8.3.1.2.2.2.3. Einfaches Heizsystem über Heizkörper:

Pro Wohnung ein Heizkörper, Placierung nicht notwendigerweise im Fassadenbereich, damit sehr kleines Heizungsnetz möglich. Regelung z.B. über Thermostatventile.

8.3.1.2.2.2.4. Tageslichtmaßnahmen:

Hinsichtlich Tageslichtnutzung und Sommertauglichkeit optimierte Konstruktionen Fenster, und Sonnenschutz.

8.3.1.2.2.2.5. *Passive Kühlmaßnahmen Sommer:*

Außenliegender Sonnenschutz Fenster, Nachtlüftung der innenliegenden Erschließungsflächen durch wenige über Stellmotoren automatisierte, gut angeordnete Fensterflügel, stromsparendes EDV – Equipment.

8.3.1.2.2.2.6. *Sonnenschutz:*

Eine effizienter Sonnenschutz ist außenliegend oder gleichwertig (z.B. in thermisch optimierten Mehrschichtfassaden) einzuplanen und muss gut hinterlüftet sein (ca. 10 cm Abstand zur Fassade, Entlüftung im oberen Bereich Sonnenschutz). Je dunkler das gewünschte Sonnenschutzprodukt ist, desto effizienter ist die Hinterlüftung herzustellen. Insbesondere bei standortbedingt höheren Windlasten oder Böengefahr ist eine entsprechende Sicherheit des Sonnenschutzes konstruktiv und von der Gebäudesituierung her zu beachten, ein hoher Anteil an fixen Sonnenschutzelementen z.B. über Deckenauskragungen o.ä. ist hier günstig.

8.3.1.2.3. Heizungs- und Lüftungskonzepte

8.3.1.2.3.1. *Gegenüberstellung möglicher Lüftungskonzepte*

Für eine gute Frischluftqualität in den Wohnräumen und zur Reduzierung des Heizwärmebedarfs auf kleiner 15 kWh/m²a ist die kontrollierte, mechanische Be- und Entlüftung mit hoher Wärmerückgewinnung, energieeffizienten Ventilatoren und optimierter Lüftungsregelung ein unersetzlicher Bestandteil des Haustechnikkonzeptes. Bei einem Neubau ergeben sich grundsätzlich 3 Möglichkeiten der Lüftungsausführung: zentrale Lüftung des gesamten Gebäudes, semizentrale Lüftung von Gebäudeabschnitten und dezentrale Lüftung der einzelnen Räume. Gebäude Randbedingungen, Nutzeranforderungen, Standort, Kostenrahmen und die projektspezifisch mögliche Qualität von Planung und Ausführung führen hier zur Variantenentscheidung zwischen den im Prinzip hinsichtlich Vor-/Nachteilen ähnlich zu bewertenden Varianten. In der Sanierung sind im Allgemeinen Varianten, die stärker in den Bestand eingreifen – zentrale oder semizentrale Lüftung – nur eingeschränkt möglich. Nichtsdestoweniger erfolgt hier eine Untersuchung auch dieser Varianten, um eine breite Auseinandersetzung mit dieser Frage zu leisten.

8.3.1.2.3.1.1. *Variantenbeschreibung A - D:*

Gesichtspunkte die zum Vergleich der Lüftungsvarianten herangezogen wurden:

- Implementierbarkeit im Gebäudebestand
- Position der Frischluftansaugung
- Außenluft- Vorerwärmung (GW, L-EWT)
- Größe + Platzbedarf + Luftmenge Lüftungsgerät
- Lüftungserschließung Kanalführung AUL/FOL bzw. ZUL/ABL
- Regelung

8.3.1.2.3.1.2. *Variante A: dezentrale Lüftung/ Fassade*

Jede Wohnung wird über eine separate Lüftungseinheit an der Außenwand versorgt. Die Nennluftmenge beträgt 40m³/h. Jedes Gerät ist ausgestattet mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung (>80%) sowie mehrstufig geregelten energieeffizienten Ventilatoren. Die Geräte werden direkt an der Außenwand montiert.

Ausgehend von den dezentralen Lüftungsgeräten ergeben sich die Lüftungskomponenten und die Luftverteilung im Gebäude wie folgt:

Außenluft- und Fortluft wird pro Wohnraum direkt an die Außenwand geführt und dort über Gitter angesaugt bzw. ausgeblasen. Ein entsprechendes haustechnisch und konstruktiv funktionierendes Fassadendetail ist zu entwickeln. Zwei notwendige Wanddurchbrüche für Frischluft und Fortluft mit jeweils ca. DN100

Belüftung erfolgt rein über Raumdurchströmung

Die Bäder werden über ein separates semizentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung und Gleichstromventilatoren, das jeweils 13 übereinanderliegenden Bädern zugeordnet ist, be- und entlüftet. Die Geräte befinden sich im Technikraum oder über Dach. Die Rohrführung Sanitärbelüftung erfolgt über vertikale Steigschächte.

Ein Erdkollektorsystem zur Außenluftvorwärmung im Winter bzw. Zuluftkühlung im Sommer entfällt, da die Erschließung in die einzelnen Räume nicht wirtschaftlich ausgeführt werden kann.

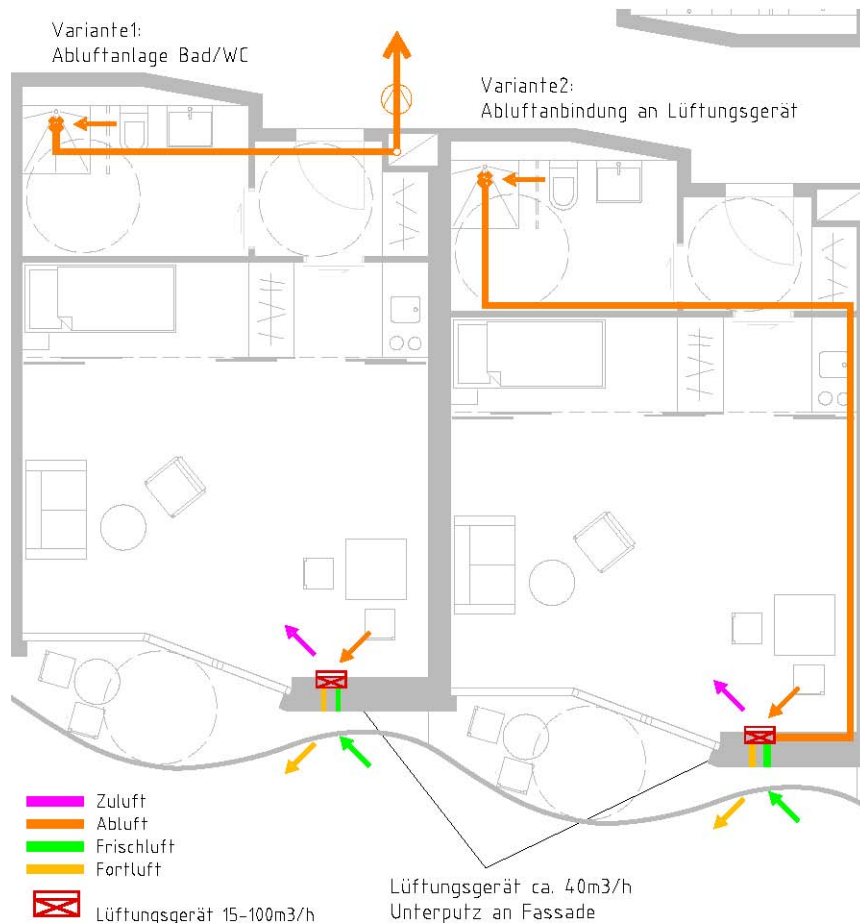


Abb. 234 Lüftungsverteilung, Variante A

Bewertung Variante A/ dezentrale Lüftung – wohnungsweise (+ Vorteile, - Nachteile):

Einfache Auslegung, modulweise Anwendbarkeit.

Geringer Koordinationsaufwand in Planung und Realisierung der Gebäudelüftung insbesondere im Gebäudeinneren: keine größeren Steigschächte, keine horizontale Luftverteilung über eine Abhängendecke.

Einfache raumspezifische Regelung: keine aufwändige zentrale Lüftungsregelung über Volumenstromregler, hohe Flexibilität im Betrieb gemäß der raumspezifischen Nutzung, gute Einstellbarkeit der raumspezifisch notwendigen Luftmenge ohne lufthydraulischer Abhängigkeit von einem größeren zentralen oder semizentralen Luftkanalnetz.

kein Luftkanalnetz, geringer Aufwand für hygienische Überprüfungen

Gang ohne abgehängter Decke

geschossweise Sanierung möglich

Kein Rotationswärmetauscher -> allgemein trockenere Raumluft im Winter.

pro Wohnung 2 Durchdringungen durch die Gebäudehülle

Aufwändigere Kondensatentwässerung für die dezentralen Lüftungsgeräte.

Höherer Wartungsaufwand durch die Filterwechsel pro Gerät.

Höherer Aufwand für eine ausreichend geringe Schallbelastung

Höheres Risiko von Kälteerscheinungen durch zu kalte Zuluft z.B. aufgrund von sehr kalten Außenluftbedingungen, verschmutzten/nicht gewechselten Abluftfiltern, Geräteregeleungsfehlern.

Keine Außenluftkühlung im Sommer z.B. über Erdwärmetauscher, damit höhere Raumtemperaturen im Sommer bei sonst gleichem Gebäudeklimakonzept im Vergleich zur (semi-)zentralen Lüftung.

Aufwändiges Fassadendetail für die Außenluftansaugung und Fortluftausblasung über die Fassade zu entwickeln, welches allen Anforderungen hinsichtlich Akustik, Lüftungsquerschnitten, Kondensatvermeidung, Luftdichtigkeit, Fassadendämmeigenschaften, Vermeidung von höheren Fortluftanteilen in der Zuluft etc. genügt.

keine Belüftung des Gangbereichs

keine PH zertifizierten Geräte am Markt

o Wohnungszusammenlegung 2-3 Zimmer leicht möglich

Kostenschätzung Variante A/ dezentrale Lüftung Fassade:

Investitionskosten Sanierung Pensionistenwohnhaus Penzing				
Variante A - hygienische Lüftungsanlage dezentral Fassade				
bestehend aus wohnungsweise Fassaden-Lüftungsgeräten mit WRG und DC-Ventilatoren				
Volumenstromregelung 3-stufig				
Lüftungsanlage Wohnungstrakt				
Anzahl	dezentrales Fassaden-Lüftungsgerät	ST/m/m ²	Summe	
			[EUR]	
250	Lüftungsgerät 30-60 m ³ /h, 76% Wärmegrückgewinnung, EC-Gleichstrom Radial-Ventilatoren; incl. Montageset und Fassadenanschluss	ST	268.000,00	
	Sanitär Lüftung inkl. Kanalnetz	m/m ²	184.000,00	
Summe Lüftungsanlage netto			452.000,00 €	
Summe spezifisch pro m ² Nutzfläche			48,6 €	
Summe spezifisch pro Wohnung			1738,5 €	

8.3.1.2.3.1.3. Variante B: dezentrale Lüftung, 3-4 Wohnungen gemeinsam

Die Be- und Entlüftung erfolgt über dezentrale Lüftungsgeräte mit einer Luftmenge von ca. 120 - 160 m³/h für 3 bzw. 4 Wohneinheiten. Jedes Gerät ist ausgestattet mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung (80 – 90%) sowie stufenlos geregelten Gleichstromventilatoren, die Geräteabmessungen liegen bei ca. H x B x T = 25 x 74 x 210 cm pro Gerät ohne Luftkanalnetz und Zubehör. Die Situierung der Geräte kann im Gangbereich (wie gezeichnet), in einer Wohnung oder auch an der Außenwand erfolgen

Die Außenluft- und Fortluftführung für dieses Gerät erfolgt über eigene Außen- und Fortluftschächte über Dach oder über die Fassade(vgl. Variante A).

Zuluft- und Abluftkanalnetz sowie Schalldämpfer sind genauso wie Wärmerückgewinnungseinheit, energieeffiziente Ventilatoren und dezentrale, individuelle Raumlüftungsregelung im Gerät bereits integriert.

Belüftung der Wohnräume und Garderobenbereiche z.B. über Luftauslässe im Bereich oberhalb des Garderobeschrankes oder oberhalb der Kochnische, Mischlüftungsprinzip, Telefoneschalldämpfer zwischen den Wohnungen.

Überströmung der Raumluft durch haustechnisch realisierte (schallisolierte) Überströmöffnungen von den Wohnbereichen in die Bäder.

Sämtliche über dezentrale Geräte erschlossene Räume erhalten jeweils Zuluft- und Abluftauslässe in Abstimmung mit der innenarchitektonischen Integration der Lüftungsgeräte.

Ein wasser- oder luftgeführtes Erdkollektorsystem zur Frischluftvorwärmung im Winter und Außenluftkühlung im Sommer kann integriert werden.



Abb. 235 Luftführung Variante B

Bewertung Variante B/ dezentrale Lüftung (+ Vorteile, - Nachteile):

geschossweise Sanierung möglich

Geringer Koordinationsaufwand in Planung und Realisierung der Gebäudelüftung insbesondere im Gebäudeinneren: keine größeren Steigschächte.

Gute Einstellbarkeit der raumspezifisch notwendigen Luftmenge ohne lufthydraulischer Abhängigkeit von einem größeren zentralen oder semizentralen Luftkanalnetz.

Kurzes Luftkanalnetz, geringer Aufwand für hygienische Überprüfungen.

einfache Lufthydraulik, Regelung

Gang zum Großteil ohne abgehängter Decke

kleine, passivhaustaugliche Lüftungsgeräte

Wohnungszusammenlegung 2-3 Zimmer leicht möglich

Kosten höher

Wartungsaufwand (Filterwechsel) steigt

- o Wohnungszusammenlegung - Vergrößerung auf 2-3 Zimmer leicht möglich
- o die Vor- und Nachteile zu Fassadengeräten siehe Variante A.)

Kostenschätzung Variante B/ dezentrale Lüftung:**Variante B - hygienische Lüftungsanlage dezentral**

bestehend aus dezentralen Lüftungsgeräten mit WRG und DC-Ventilatoren für 3 bzw. 4 Wohnungen
Volumenstromregelung 4-stufig - feuchtegeführt

Lüftungsanlage Wohnungstrakt			
Anzahl	dezentrale Lüftungsanlage		Summe
		ST/m/m²	[EUR]
52	Lüftungsgerät 120 m³/h dezentral mit WRG, DC-Ventilatoren, fertig montiert ohne bauliche Maßnahmen	ST	150.000,00
26	Lüftungsgerät 160 m³/h dezentral mit WRG, DC-Ventilatoren, fertig montiert ohne bauliche Maßnahmen	ST	80.000,00
	Kanalnetz (verzinnte Stahlrohre, DN 100-150, Formstücke, Kanal- und Formstückisolierung,...)	m/m²	155.000,00
	Kanaleinbauten (Lufteinlässe, Alufttellerventile, Rohr- und Telefonie Schalldämpfer, Wetterschutzgitter, Fortlufthaube,...)	ST	175.000,00
Summe Lüftungsanlage netto			560.000,00 €
Summe spezifisch pro m² Nutzfläche			60,2 €
Summe spezifisch pro Wohnung			2153,8 €

8.3.1.2.3.1.4. Variante C/ semizentrale Lüftung; geschossweise je Stiege

Über je zwei Lüftungsgeräte pro Geschoss mit je 400m³/h werden jeweils 10 Wohneinheiten versorgt. Jedes Gerät ist ausgestattet mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung mit einem Rotationswärmetauscher (> 80% Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung) sowie druckgesteuerten, stufenlos geregelten energieeffizienten Ventilatoren. Die Situierung der Geräte erfolgt für beide Stiegenhäuser im Erschießungskern.

Zu den bzw. ausgehend von den semizentralen Lüftungsgeräten ergeben sich die Lüftungskomponenten und die Luftverteilung im Gebäude wie folgt:

Außenluftansaugung über Dach in einen vertikalen Steigschacht oder direkt über die Fassade im Bereich der jeweiligen Geräteposition.

Zuluftverteilung horizontal in der abgehängten Decke in den Gangzonen über Luftkanäle ca. 20 auf 20 cm Innenlichte oder einzelne Wickelfalzrohre lichter Durchmesser 160 bis 225 mm, entsprechende Kreuzungen und Durchbrechungen der im Bestand gegebenen Deckenunterzüge abzuklären.

Belüftung der Wohnräume und Garderobenbereiche z.B. über Luftauslässe im Bereich oberhalb des Garderobeschrankes oder oberhalb der Kochnische, Mischlüftungsprinzip, Telefonieschalldämpfer zwischen den Wohnungen.

Volumenstromregelung der Zuluft für die einzelnen Räume dezentral in der Zuluftrohrstrecke für die jeweilige Wohneinheit.

Überströmung der Raumluft durch haustechnisch realisierte (schallisolierte) Überströmöffnungen von den Wohnbereichen in die Bäder.

Außenluft- und Fortluftführung mittels vertikalem Steigschacht über Dach.

Ein wasser- oder luftgeführtes Erdkollektorsystem zur Frischluftvorwärmung im Winter und Außenluftkühlung im Sommer kann integriert werden. Bei Frischluftansaugung über die Fassaden entfällt ein Erdkollektorsystem zur Außenluftvorwärmung im Winter bzw. Zuluftkühlung im Sommer, da die Erschließung in die einzelnen Räume nicht wirtschaftlich ausgeführt werden kann.



Abb. 236 Luftführung Variante C

Bewertung Variante C/ semizentrale Lüftung (+ Vorteile, - Nachteile):

ein Lüftungsgerät pro Halbgeschoss

Jedes Gerät ist ausgestattet mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung (ev. mit einem Rotationswärmetauscher) (>80%) sowie druckgesteuerten, stufenlos geregelten Gleichstromventilatoren

kompaktes Kanalnetz

Einsatzmöglichkeit von Rotationswärmetauschern, damit angenehmere, höhere Raumluftheuchten im Winter.

Einbindung eines zentralen Erdwärmetauschers mit vertretbarem Aufwand -> höhere Zulufttemperaturen und Wärmeeinsparungen im Winter, kühlere Zulufttemperaturen im Sommer.

Wärmeausgleich wärmere/kühlere Zonen durch die zentrale Abluft und die Wärmerückgewinnung.

Gang-/Erschließungsflächen können automatisch mitbelüftet werden.

Vergleichsweise geringer Aufwand der Wartung der semizentralen Lüftungsgeräte.

Im Vergleich zur zentralen Lüftung kürzere Luftkanalleitungslängen und einfachere Regelung der Lüftung.

bei Positionierung des Lüftungsgeräts an der Fassade keine vertikale Lüftungerschießung notwendig

Höhere Anforderungen der Lüftung bei Schallschutz, Brandschutz und Regelung im Vergleich zur dezentralen Lüftung.

Risiko der Geruchsverschleppung durch die Abluft (frühzeitige Abklärung diesbezüglich nötig, geringere Flexibilität hinsichtlich Nutzungsänderungen im Betrieb).

Relativ hoher Planungs-, Abstimmungs- und Ausführungsaufwand zur Integration im Bestand verglichen mit einer dezentralen Lüftung.

im Erschießungsgang wird keine Abhängung der Decke benötigt

o die Vor- und Nachteile zu Fassadengeräten siehe Variante A.)

Kostenschätzung Variante C/ semizentrale Lüftung:

Variante C - hygienische Lüftungsanlage semizentral

bestehend aus semizentralen Lüftungsgeräten je Geschoss mit Rotationstauscher-WRG und AC-Ventilatoren
Volumenstromregelung über Frequenzumformer über DDC-Anlage - feuchtegeführt

Lüftungsanlage Wohnungstrakt			
Anzahl	semizentrale Lüftungsanlage		Summe
		ST/m/m²	[EUR]
26	Lüftungsanlage 400 m³/h mit Wärmerückgewinnung, AC-Ventilatoren	ST	130.000,00
	Kanalnetz (verzinkte Stahlrohre, DN 100-150, Formstücke, Kanal- und Formstückisolierung,...)	m/m²	200.000,00
	Kanaleinbauten (Lufteinlässe, Aluflechtventile, Rohr- und Telefonie Schalldämpfer, Wetterschutzgitter, Fortlufthaube,...)	ST	150.000,00
Summe Lüftungsanlage netto			480.000,00 €
Summe spezifisch pro m² Nutzfläche			51,6 €
Summe spezifisch pro Wohnung			1846,2 €

8.3.1.2.3.1.5. Variante D/ zentrale Lüftung

Lüftungsgeräte, Lüftungsanlagen

Über je ein zentrales Lüftungsgerät mit 10.500 m³/h Nennluftmenge wird der gesamte Wohnungstrakt versorgt. Das Gerät ist ausgestattet mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung mit einem Rotationswärmetauscher (> 80% Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung) sowie druckgesteuerten, stufenlos geregelten energieeffizienten Ventilatoren.

Die Situierung der Geräte kann z.B. am Dach oder in einem dafür vorgesehen Technikraum im Keller erfolgen.

Zu den bzw. ausgehend von den zentralen Lüftungsgeräten ergeben sich die Lüftungskomponenten und die Luftverteilung im Gebäude wie folgt:

Außenluftansaugung direkt über Dach, Außenluftschächte zu zentralen Lüftungsgeräten.

Zuluftverteilung horizontal in der abgehängten Decke in den Gangzonen über Luftkanäle ca. 20 auf 20 cm Innenlichte oder einzelne Wickelfalzrohre lichter Durchmesser 160 bis 225 mm, entsprechende Kreuzungen und Durchbrechungen der im Bestand gegebenen Deckenunterzüge abzuklären.

Belüftung der Wohnräume und Garderobenbereiche z.B. über Luftauslässe im Bereich oberhalb des Garderobeschranks oder oberhalb der Kochnische, Mischlüftungsprinzip, Telefonieschalldämpfer zwischen den Wohnungen.

Volumenstromregelung der Zuluft für die einzelnen Räume dezentral in der Zuluftrohrstrecke für die jeweilige Wohneinheit.

Überströmung der Raumluft durch haustechnisch realisierte (schallisolierte) Überströmöffnungen von dem Wohnbereich in die Bäder.

Außenluft- und Fortluftführung mittels vertikalem Steigschacht über Dach

Ein wasser- oder luftgeführtes Erdkollektorsystem zur Frischluftvorwärmung im Winter und Außenluftkühlung im Sommer kann integriert werden.

Bild: siehe Variante C/ außer dem Lüftungsgerät ist die Variante D ident mit Variante C betreffend die Geschossweise Verteilung.

Bewertung Variante D/ zentrale Lüftung (+ Vorteile, - Nachteile):

ein Lüftungsgerät für den gesamten Wohnungstrakt

Einsatzmöglichkeit von Rotationswärmetauschern, damit angenehmere, höhere Raumluftfeuchten im Winter.

Einfache Möglichkeit der Einbindung eines zentralen Erdwärmetauschers -> höhere Zulufttemperaturen und Wärmeeinsparungen im Winter, kühlere Zulufttemperaturen im Sommer.

Wärmeausgleich wärmere/kühlere Zonen durch die zentrale Abluft und die Wärmerückgewinnung.

Gang-/Erschließungsflächen werden automatisch mitbelüftet

Vergleichsweise geringer Aufwand der Wartung des zentralen Lüftungsgeräts

Teilbeheizung über die Zuluft möglich, geringeres Risiko von Kälteempfinden durch zu kühle Zuluft in den Wohnungen, entsprechend kleineres Heizungsnetz.

der Erschließungsgang benötigt Abhängung der Decke

Schwierige horizontale Luftverteilung in den Gangbereichen aufgrund der im Bestand vorgegebenen Deckenstruktur

Höhere Anforderungen der Lüftung bei Schallschutz, Brandschutz und Regelung im Vergleich zur semizentralen oder dezentralen Lüftung.

Höhere Luftkanalleitungslängen in die „hinteren“ Räume bei der Horizontalerschließung.

Aufwändige individuelle Raumregelung der zentralen Lüftung oder sehr eingeschränkte raumspezifische Regelungsmöglichkeiten.

Risiko der Geruchsverschleppung durch die zentrale Abluft (frühzeitige Abklärung diesbezüglich nötig, geringere Flexibilität hinsichtlich Nutzungsänderungen im Betrieb).

Sehr hoher Planungs-, Abstimmungs- und Ausführungsaufwand zur Integration der Lüftung im Bestand.

Kostenschätzung Variante D/ zentrale Lüftung:

Variante D - hygienische Lüftungsanlage zentral

bestehend aus einem zentralen Lüftungsgeräten für den Wohntrakt mit Rotationstauscher-WRG und AC-Ventilator
Volumenstromregelung über Frequenzumformer über DDC-Anlage - feuchtegeführt

Lüftungsanlage Wohnungstrakt			
Anzahl	zentrale Lüftungsanlage	ST/m/m²	Summe [EUR]
1	Lüftungsanlage 11000 m³h mit Rotationswärmetauscher, AC-Ventilatoren	ST	26.000,00
	Kanalnetz (verzinne Stahlrohre, DN 100-150, Formstücke, Kanal- und Formstückisolierung,...)	m/m²	200.000,00
	Kanaleinbauten (Lufteinlässe, Alufellerventile, Rohr- und Telefonie Schalldämpfer, Wetterschutzgitter, Fortlufthaube,...)	ST	150.000,00
Summe Lüftungsanlage netto			376.000,00 €
Summe spezifisch pro m² Nutzfläche			40,4 €
Summe spezifisch pro Wohnung			1446,2 €

8.3.1.2.3.2. Gegenüberstellung möglicher Konzepte zur Wärmeabgabe im Raum

8.3.1.2.3.2.1. Variantenbeschreibung 1 - 4:

In der Variantenanalyse wurden die Gesichtspunkte wie Wärmeabgabe raumseitig, Wärmeverteilung und Regelung / Nutzungskomfort herangezogen.

b.) Heizungsanlage Wohnungstrakt			
Anzahl	Heizungsanlage	ST/m/m²	Summe [EUR]
	Heizungsnetz (Wohnungsintern und wohnungsextern)	ST	152.000,00
Summe Lüftungsanlage netto			152.000,00 €
Summe spezifisch pro m² Nutzfläche			16,3 €

8.3.1.2.3.2.2. Variante 1/ Heizen über die Lüftung

Wird über die Lüftung geheizt, so ist der entsprechende Raumbedarf im Lüftungsgerät (bzw. in den Lüftungskanälen) zu berücksichtigen. Es ergeben sich hierbei kostengünstigere Lösungen im Vergleich zu einem Lüftungssystem mit Heizung über Heizkörper aufgrund des Entfalls der wassergeführten Heizkörperheizung.



Abb. 237 Wärmeabgabe Variante 1

Bewertung Variante 1 (+ Vorteile, - Nachteile):

- innenliegende Wohnungen zum Größtenteil über die Luft beheizbar
- keine Entkoppelung von Frischluftzufuhr und Heizung
- Gefahr von zu trockener Luft im Winter
- keine individuelle Regelbarkeit
- Sonderlösung für Randwohnungen nötig

8.3.1.2.3.2.3. Variante 2/ Wärmefrischlufthbox (WFB)

Die Wärmefrischlufthbox ist ein Luft/Wasser Nachheizelement. Ein sehr kleiner aber klassischer Heizkörper der direkt unterhalb des Zuluftauslasses positioniert ist, sorgt für die gewünschte Raumtemperatur. Die Anbindung der VL- und RL-Leitungen erfolgt im Deckenbereich. Im Badezimmer wird ein üblicher Heizkörper vorgesehen.

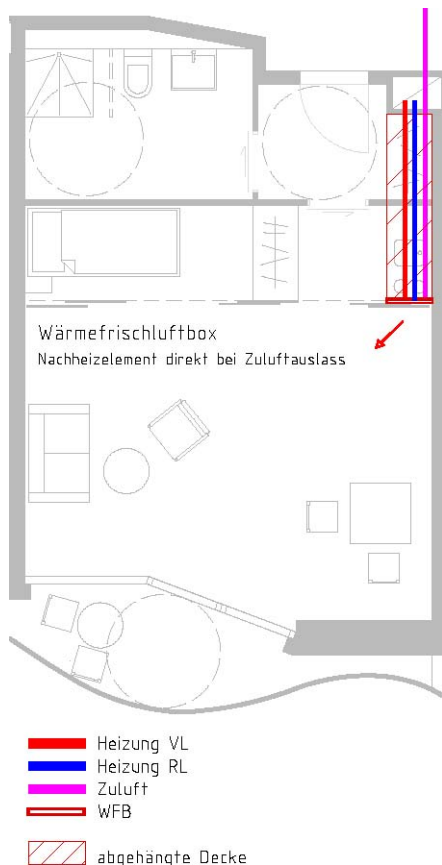


Abb. 238 Wärmeabgabe Variante 2

Bewertung Variante 2 (+ Vorteile, - Nachteile):

- Gefahr von zu trockener Luft im Winter gebannt
- Entkoppelung von Frischluftzufuhr und Heizung
- trotzdem Nacherwärmung der Zuluft
- kleine kompakte Heizfläche
- wohnungsweise Regelbarkeit
- sehr reduziertes Heizungsnetz
- keine „gewöhnliche“ Heizkörperposition

8.3.1.2.3.2.4. Variante 3/ Heizkörper an Zwischenwand

Heizkörper können bei Brüstungen oder Parapeten relativ einfach untergebracht werden, bei raumhohen Verglasungen sind sie oft störend. Bodenbündige Unterflurkonvektoren sind hinsichtlich Kosten und baulich rechtzeitig zu berücksichtigen. Bei guter Fassadenqualität und kontrollierter Be-/Entlüftung ist ein Heizkörper pro Wohnraum ausreichend, welcher nicht vor der Verglasung platziert werden muss.

Bewertung Variante 3 (+ Vorteile, - Nachteile):

- keine Sonderbetrachtung für Randwohnungen
- vorhandene Rohrleitungen eventuell verwendbar
- wie der Nutzer es kennt, sichtbaren Heizflächen
- wohnungsweise Regelbarkeit

8.3.1.2.3.2.5. Variante 4/ Fußbodenheizung (FBH)

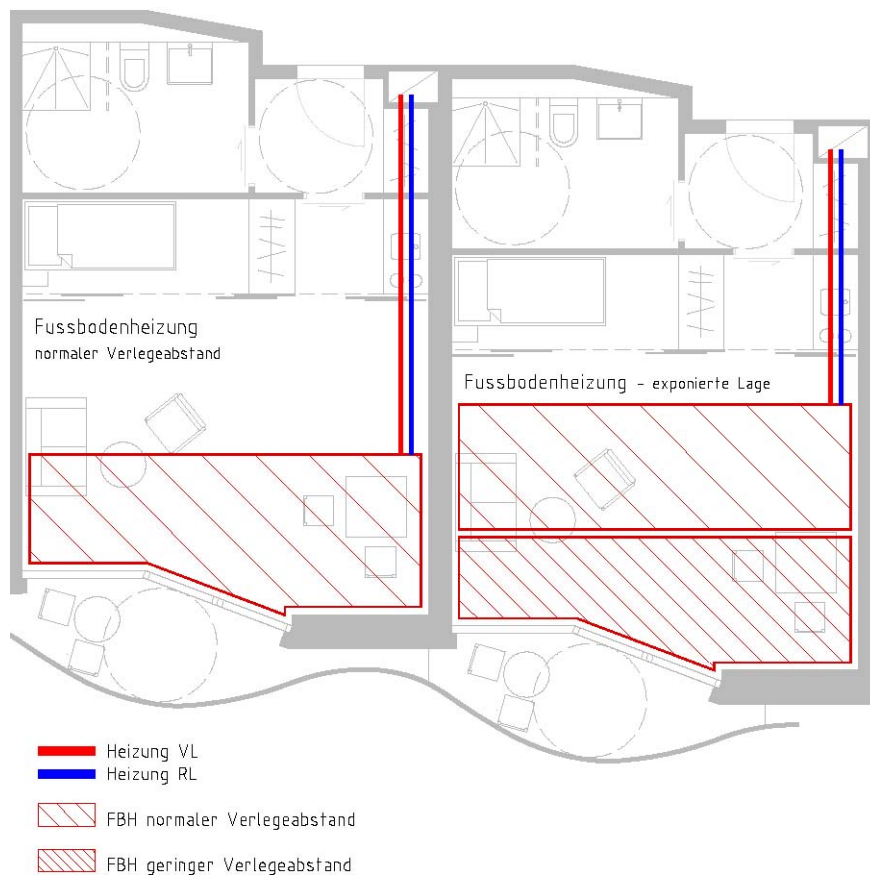


Abb. 239 Wärmeabgabe Variante 4

Bewertung Variante 4 (+ Vorteile, - Nachteile):

- keine Sonderbetrachtung für Randwohnungen
- vorhandene Rohrleitungen eventuell verwendbar
- wohnungsweise Regelbarkeit
- keine sichtbaren Heizflächen
- behagliches Raum(Strahlungs)klima
- Mehrkosten

8.3.1.2.3.3. Beschreibung Kombinationsvariante C –2 : semizentrales Lüftungsanlage mit Wärmefrischlufthbox

Schemaschnitt Heizungs - und Lüftungstechnik

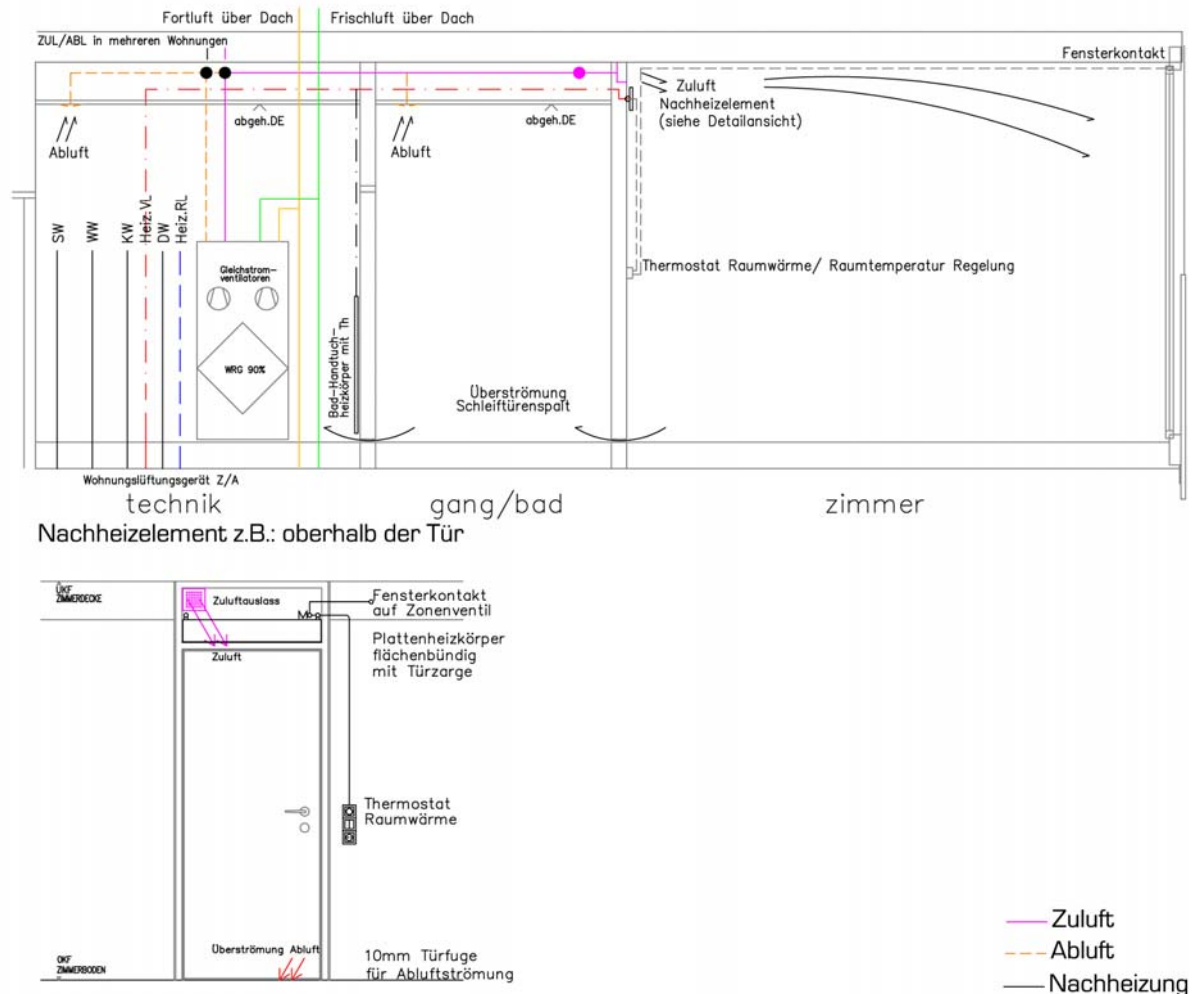


Abb. 240 Darstellung der Kombinationsvariante C 2

Kombination von Heizung und Lüftung : Ein Wärmenetz (70/50°C) bringt die Raumheizwärme im 2-Rohrsystem bis in die Wohnungen zu den Tür-Nachheizelementen.

Das Wasser/Luft Nachheizelement an der Raumzulufteinbringung ermöglicht Einzel-Raumtemperatur-Regelung über Einzelraumthermostat bei der Zimmereingangstüre (=Frischlufthbox-Raumwärme-Zimmertürelement) mit maximalem Bedienkomfort (ähnlich wie bei gewohntem Heizkörpersystem), benötigt aber gleichzeitig keine aufwändige klassische Heizungsinstallation in den Wohnungen. (kurze Leitungsführungen in der Abhängdecke im Vorraum). Die Nachheizelemente sind sichtbar direkt an den Zuluft einströmungen positioniert, also nicht direkt im geführten Luftstrom, um die für die Bewohner gewohnten sichtbaren und angreifbaren wärmenden Elemente zu erhalten (im Unterschied zur klassischen Passivhaustechnikkonzeption) und um eine hohe Betriebssicherheit des Raumheizsystems zu gewährleisten (kein Heizungsausfall bei Lüftungsgeräteausfall und umgekehrt).

Im Badezimmer sorgt ein zusätzlicher Kleinheizkörper für die Möglichkeit einer erhöhten Raumtemperatur von 24°C und die gewohnte Nutzung als „Handtuchtrockner“.

8.3.1.2.3.4. Aufbauten, U-Werte

Bezeichnung	U-Wert [W/m ² K]	Konstruktionsaufbau von außen nach innen
Außenwand Bestand	0,13	0,7 cm Mineralputz 30,0 cm EPS WLG 040 30,0 cm Beton 2,0 cm Kalk-Zementputz
Außenwand neu bei Fenster	0,12	0,7 cm Mineralputz 30,0 cm EPS WLG 040 30,0 cm Beton mit EPS Zuschlag 1,0 cm Kalk-Zementputz
Wohnungstrennwand	0,49	1,5 cm Gipskartonplatte 6,0 cm Mineralfaser Glaswolle WLG 043 18,0 cm Betonhohlstein 1,5 cm Kalkputz
Kellerdecke	0,17	0,5 cm Holzwolledeckschicht 20,0cm Mineralfaser Steinwolle WLG 041 20,0cm Stahlbeton-Decke 18,0cm Schüttung 4,0cm Trittschalldämmplatten Polyethylen-Folie 5,0cm Estrich 0,2cm PVC-Belag
Gründach	0,07	10,0cm Humusschicht 3,0cm Blähton Vlies 20,0cm XPS –G WLG 041 20,0cm wurzeldichte Abdichtung 2lagig 20,0cm EPS WLG 036 PE- Dichtungsbahn Dampfdruckausgleichsschicht 20,0cm Stahlbeton-Decke 1,5cm Kalkputz

8.3.1.2.3.5. Ausführliche Darstellung der Kostenschätzungen Lüftungsvarianten

Variante A - hygienische Lüftungsanlage dezentral Fassade

bestehend aus dezentralen Fassadenlüftungsgeräten je TOP mit Kreuzstrom-WRG und DC-Ventilatoren
Sanitärräume werden über ein zentrales Zu- und Abluftgerät für alle Geschosse mit WRG und DC-Ventilator

Investitionskostenschätzung

a.) Lüftungsanlage Wohnungstrakt			
Anzahl	dezentrale Lüftungsanlage	ST/m/m²	Summe [EUR]
250	Lüftungsgerät 30-60 m³/h, 76% Wärmegrückgewinnung, EC-Gleichstrom Radial-Ventilatoren; incl. Montageset und Fassadenanschluss	ST	267.300,00
20	Lüftungsgerät 200 m³/h, EC-Gleichstrom Radial-Ventilatoren; incl. WRG, Heiz- Kühlregister, Filterstufen	ST	76.000,00
	Nachheizregister	ST	0,00
	Kanalnetz verzinkt, 0,7mm	m²	0,00
	Formstücke, verzinkt 0,7mm	m²	0,00
1560	Rohrleitungen verzinkt DN 100-250	m	46.800,00
	Rohrleitungen verzinkt DN 300-400	m	0,00
260	Formstücke, wie Bogen, Abzweiger, Red., etc., DN 100-250	ST	7.280,00
	Formstücke, wie Bogen, Abzweiger, Red., etc., DN 300-400	ST	0,00
	Kanal- und Formstückisolierung	m²	0,00
	Lufteinlässe BKZ 125	ST	0,00
520	Ablufttellerventile DN 100-150	ST	15.080,00
	Anschlußkasten für Zu- und Abluftventile	ST	0,00
	Volumenstromregler (feuchtegeführt) mit Stellmotor	ST	0,00
	Überströmöffnungen schallgedämmt	ST	0,00
20	Wetterschutzgitter Frischluft	ST	8.000,00
	Fortlufthaube inkl. Dachdurchführung Dm 600	ST	0,00
260	Rohr- und Telefonie Schalldämpfer DN 100 -160	ST	23.400,00
	Rohr- und Telefonie Schalldämpfer DN 200 -300	ST	0,00
	Brandschutzklappen mit Meldekontakt auf DDC	ST	0,00
	Messstopfen	ST	0,00
	Thermometer	ST	0,00
20	Bezeichnungsschilder	ST	220,00
	Rückschlagklappen in AUL / FOL	ST	0,00
	Revisionsdeckel	ST	0,00
2	Kreislaufverbundsystem zur Frischluftvorwärmung	PA	4.600,00
	Datenpunkte für DDC-Regelungsanteil "Lüftung" inkl. Peripheriegeräte	ST	0,00
1	Inbetriebnahme + Abnahme	Pa	3.000,00

Kostenschätzung für Wohnungstrakt "Lüftungsanlage" (ohne Küche) gesamt **450.000,00** €

Kostenschätzung pro m² Nutzfläche für Wohnungstrakt (ohne Küche) gesamt **48,39** €

Kostenschätzung pro Wohnung gesamt netto **1.730,77** €

Variante B - hygienische Lüftungsanlage dezentral

bestehend aus dezentralen Lüftungsgeräten mit WRG und DC-Ventilatoren für 3 bzw. 4 Wohnungen

Volumenstromregelung 4-stufig - feuchtegeführt

WC-Anlagen für PTS und HS jeweils über ein zentrales Zu- und Abluftgerät für alle Geschosse mit WRG u

78

Anz

pro

LG

Investitionskostenschätzung**a.) Lüftungsanlage Wohnungstrakt**

Anzahl	dezentrale Lüftungsanlage	Summe	
		ST/m/m²	[EUR]
52	Lüftungsgerät 120 m³/h dezentral mit WRG, DC-Ventilatoren, fertig montiert ohne bauliche Maßnahmen	ST	150.800,00
26	Lüftungsgerät 160 m³/h dezentral mit WRG, DC-Ventilatoren, fertig montiert ohne bauliche Maßnahmen	ST	75.400,00
	Lüftungsgerät 500m³/h für WC-Anlagen mit WRG, DC-Ventilatoren	ST	0,00
	Kanalnetz verzinkt, 0,7mm	m²	0,00
	Formstücke, verzinkt 0,7mm	m²	0,00
3276	Rohrleitungen verzinkt DN 100-160	m	98.280,00
858	Formstücke, wie Bogen, Abzweiger, Red., etc., DN 100-160	ST	30.459,00
1286	Kanal- und Formstückisolierung	m²	25.729,64
260	Lufteinlässe BKZ 125	ST	27.300,00
260	Ablufttellerventile DN 100-150	ST	7.540,00
520	Anschlußkasten für Zu- und Abluftventile	ST	15.600,00
78	Wetterschutzgitter Frischluft	ST	22.230,00
78	Fortlufthaube inkl. Dachdurchführung Dm 300	ST	36.660,00
624	Rohr- und Telefonie Schalldämpfer	ST	56.160,00
26	Brandschutzklappen mit Meldekontakt auf DDC	ST	8.060,00
13	Messstopfen	ST	123,50
13	Thermometer	ST	325,00
13	Bezeichnungsschilder	ST	143,00
Summe Lüftungsanlage netto			554.810,14
Summe spezifisch pro m² Nutzfläche			59,66

16

42

11

16

1

1

8

2

Kostenschätzung für Wohnungstrakt "Lüftungsanlage" (ohne Küche) gesamt **550.000,00** €Kostenschätzung pro m² Nutzfläche für Wohnungstrakt (ohne Küche) gesamt **59,14** €Kostenschätzung pro Wohnungs gesamt netto **2.115,38** €

Variante C - hygienische Lüftungsanlage semizentral

bestehend aus semizentralen Lüftungsgeräten je Geschoss mit Rotationstauscher-WRG und AC-Ventilatoren
 Volumenstromregelung über Frequenzumformer über DDC-Anlage - feuchtegeführt
 WC-Anlagen über ein zentrales Zu- und Abluftgerät für alle Geschosse mit WRG und DC-Ventilatoren

Investitionskostenschätzung

a.) Lüftungsanlage Wohnungstrakt			
Anzahl	semizentrale Lüftungsanlage	Summe	
		ST/m/m²	[EUR]
26	Lüftungsanlage 400 m³/h mit Rotationswärmetauscher, AC-Ventilatoren	ST	128.700,00
	Lüftungsgerät 500m³/h für WC-Anlagen mit WRG, DC-Ventilatoren	ST	0,00
	Nachheizregister	ST	0,00
	Kanalnetz verzinkt, 0,7mm	m²	0,00
	Formstücke, verzinkt 0,7mm	m²	0,00
3380	Rohrleitungen verzinkt DN 100-250	m	101.400,00
910	Rohrleitungen verzinkt DN 300-400	m	34.580,00
364	Formstücke, wie Bogen, Abzweiger, Red., etc., DN 100-250	ST	10.192,00
312	Formstücke, wie Bogen, Abzweiger, Red., etc., DN 300-400	ST	17.784,00
1685	Kanal- und Formstückisolierung	m²	33.693,58
260	Lufteinlässe BKZ 125	ST	27.300,00
260	Ablufttellerventile DN 100-150	ST	7.540,00
260	Anschlußkasten für Zu- und Abluftventile	ST	7.800,00
26	Volumenstromregler (feuchtegeführt) mit Stellmotor	ST	10.608,00
	Überströmöffnungen schalldämmend	ST	0,00
2	Wetterschutzgitter Frischluft	ST	800,00
2	Fortlufthaube inkl. Dachdurchführung Dm 600	ST	1.800,00
572	Rohr- und Telefonie Schalldämpfer DN 100 -160	ST	51.480,00
52	Rohr- und Telefonie Schalldämpfer DN 200 -300	ST	4.680,00
52	Brandschutzklappen mit Meldekontakt auf DDC	ST	16.120,00
13	Messstopfen	ST	123,50
13	Thermometer	ST	325,00
13	Bezeichnungsschilder	ST	143,00
52	Rückschlagklappen in AUL / FOL	ST	13.000,00
	Revisionsdeckel	ST	0,00
	Kreislaufverbundsystem zur Frischluftvorwärmung	PA	0,00
	Datenpunkte für DDC-Regelungsanteil "Lüftung" inkl. Peripheriegeräte	ST	0,00
1	Inbetriebnahme + Abnahme	Pa	7.000,00

Kostenschätzung für Wohnungstrakt "Lüftungsanlage" (ohne Küche) gesamt **480.000,00** €

Kostenschätzung pro m² Nutzfläche für Wohnungstrakt (ohne Küche) gesamt **51,61** €

Kostenschätzung pro Wohnungs gesamt netto **1.846,15** €

Variante D - hygienische Lüftungsanlage zentral

bestehend aus einem zentralen Lüftungsgeräten für den Wohntrakt mit Rotationstauscher-WRG und AC-Ventilator
 Volumenstromregelung über Frequenzumformer über DDC-Anlage - feuchtegeführt
 WC-Anlagen über ein zentrales Zu- und Abluftgerät für alle Geschosse mit WRG und DC-Ventilatoren

Investitionskostenschätzung

a.) Lüftungsanlage Wohnungstrakt			
An- zahl	zentrale Lüftungsanlage	Summe	
		ST/m/m²	[EUR]
1	Lüftungsanlage 11000 m³/h mit Rotationswärmetauscher, AC-Ventilatoren	ST	26.000,00
	Lüftungsgerät 500m³/h für WC-Anlagen mit WRG, DC-Ventilatoren	ST	0,00
	Nachheizregister	ST	0,00
	Kanalnetz verzinkt, 0,7mm	m²	0,00
	Formstücke, verzinkt 0,7mm	m²	0,00
3380	Rohrleitungen verzinkt DN 100-250	m	101.400,00
910	Rohrleitungen verzinkt DN 300-400	m	34.580,00
364	Formstücke, wie Bogen, Abzweiger, Red., etc., DN 100-250	ST	10.192,00
312	Formstücke, wie Bogen, Abzweiger, Red., etc., DN 300-400	ST	17.784,00
1685	Kanal- und Formstückisolierung	m²	33.693,58
260	Lufteinlässe BKZ 125	ST	27.300,00
260	Ablufttellerventile DN 100-150	ST	7.540,00
260	Anschlußkasten für Zu- und Abluftventile	ST	7.800,00
26	Volumenstromregler (feuchtegeführt) mit Stellmotor	ST	10.608,00
	Überströmöffnungen schalldämmend	ST	0,00
2	Wetterschutzgitter Frischluft	ST	800,00
2	Fortlufthaube inkl. Dachdurchführung Dm 600	ST	1.800,00
572	Rohr- und Telefonie Schalldämpfer DN 100 -160	ST	51.480,00
52	Rohr- und Telefonie Schalldämpfer DN 200 -300	ST	4.680,00
52	Brandschutzklappen mit Meldekontakt auf DDC	ST	16.120,00
13	Messstopfen	ST	123,50
13	Thermometer	ST	325,00
13	Bezeichnungsschilder	ST	143,00
52	Rückschlagklappen in AUL / FOL	ST	13.000,00
	Revisionsdeckel	ST	0,00
	Kreislaufverbundsystem zur Frischluftvorwärmung	PA	0,00
52	Datenpunkte für DDC-Regelungsanteil "Lüftung"	ST	13.000,00
1	Inbetriebnahme + Abnahme	Pa	5.000,00

Kostenschätzung für Wohnungstrakt "Lüftungsanlage" (ohne Küche) gesamt r **380.000,00** €

Kostenschätzung pro m² Nutzfläche für Wohnungstrakt (ohne Küche) gesamt r **40,86** €

Kostenschätzung pro Wohnungs gesamt netto **1.461,54** €

8.3.1.3. Konzept Heizung/ Kühlung/ Lüftung Servicetrakt

8.3.1.3.1. Zieldefinition Energieeffizienz und Komfort

Aufgrund der hohen Luftmengen und besonderen Nutzungsbedingungen ist das – für den Wohnbau entwickelte – Passivhauskonzept nicht direkt umlegbar auf den Veranstaltungs- und Küchentrakt. Die Vorgabe für den Heizwärmebedarf im Vergleich zum passivhaustauglichen Wohntrakt ist in der folgenden Grafik dargestellt.

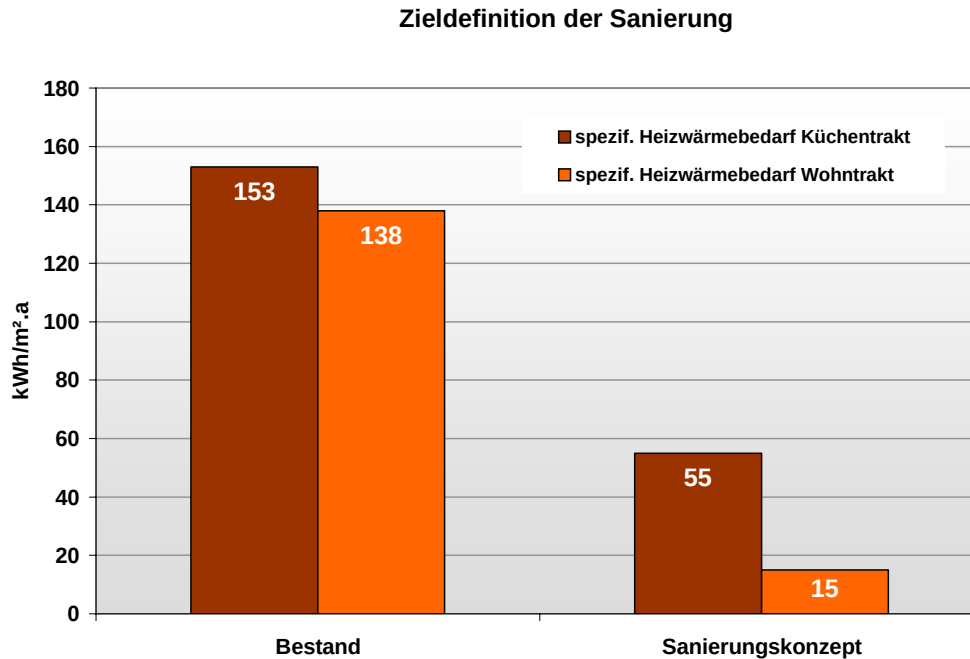


Abb. 241 Ziele der Sanierung betreffend Heizwärmebedarf

Komfortverbesserungen durch die Sanierung betreffen im Küchentrakt unter anderem folgende Aspekte:

- Wärme- und Feuchteabfuhr aus der Küche
- Kühlung des Veranstaltungssaals durch einen Mix aus passiven und aktiven Maßnahmen, um im Sommer angenehme raumklimatische Bedingungen bei Veranstaltungen herzustellen
- Optimale Tageslichtbeleuchtung der Aufenthaltsräume bei ausreichender Verschattung im Sommer

8.3.1.3.2. Beschreibung der Konzeptbestandteile

8.3.1.3.2.1. Großer Saal

8.3.1.3.2.1.1. Heizung:

Wärmebedarf durch passive Maßnahmen minimiert (Wärmedämmung)

Frischlufte wird über Luft-Erdreich- Wärmetauscher vorgewärmt

Einbringung der Wärme über Zuluft

8.3.1.3.2.1.2. Kühlung

Kältebedarf durch passive Maßnahmen minimiert (Wärmedämmung, außenliegende Verschattung, Nachtlüftung)

Kältequelle aktive Kühlung: Direktkühlbetrieb Grundwasser oder wassergeführter Fundamentabsorber

Einbringung der Kälte über Zuluft

Frischlufte wird über Luft-Erdreich- Wärmetauscher vorgekühlt

8.3.1.3.2.1.3. Lüftung

Personenbezogener Luftwechsel 40m³/h.Pers

Lüftungsgerät mit effizienter Wärmerückgewinnung (75%)

Induktive Zuluft einbringung über Weitwurfdüsen

Abluftabsaugung im Deckenbereich

8.3.1.3.2.2. Untergeschoss/ Küche

8.3.1.3.2.2.1. Heizung:

Wärmebedarf im Betrieb durch hohe innere Lasten sehr gering

Wärmeeinbringung außerhalb der Betriebszeit über Radiatoren

8.3.1.3.2.2.2. Kühlung

Kältequelle Grundlast: Kompressionskältemaschine

Kältequelle Spitzenlast: Grundwasser oder wassergeführter Fundamentabsorber

Kälteabgabe über Deckenkühlung

8.3.1.3.2.2.3. Lüftung

Luftwechsel 6-fach pro Stunde

Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung (75%)

Frischlufte wird über Luft-Erdreich- Wärmetauscher vorgewärmt/-gekühlt

8.3.1.3.2.3. Allgemeinbereiche, Personalräume

8.3.1.3.2.3.1. Heizung:

Wärmebedarf durch passive Maßnahmen minimiert (Wärmedämmung, optimierte Wärmeschutzfenster)

Wärmequelle: Fernwärme, Innere Gewinne aus den Wärmelasten Küche

Wärmeabgabe über Kleinheizkörper

8.3.1.3.2.3.2. Kühlung

Kältebedarf durch passive Maßnahmen minimiert (Wärmedämmung, Sommer- Nachtlüftung - keine aktive Kühlung erforderlich)

8.3.1.3.2.3.3. Lüftung

Luftwechsel 1,5 pro Stunde

Lüftungsgerät mit effizienter Wärmerückgewinnung (75%)

Frischlufte wird über Luft-Erdreich- Wärmetauscher vorgewärmt/-gekühlt

Zuluft einbringung über Weitwurfdüsen im Deckenbereich

Abluftabsaugung im Deckenbereich

8.3.1.4. Balkon mit Fassadenbegrünung

8.3.1.4.1. Funktionelle oder energetische Sanierung?

Der vorgesetzte Balkon erfüllt vielfältige Funktionen: Raumerweiterung, persönlicher Freiraum, Verschattung...

Obwohl auch viele funktionelle Gründe für den Zubau einer Balkonschicht sprechen, wird der Balkon in dieser Arbeit im Rahmen der (energetischen) Fassadensanierung betrachtet, da diese Maßnahme diverse energetische Vorteile (siehe Kapitel 6) wie z.B. Verschattung, Temperaturspitzenpuffer, etc. bietet und als Ersatz für die energetisch problematisch anzusehende Loggia dient.

Allerdings ist die Balkonkonstruktion unter rein energetischen Gesichtspunkten nicht absolut notwendig (siehe Abb. 230, Var. C) und könnte daher auch als funktionelle Verbesserungsmaßnahme angeführt werden.

8.3.1.4.2. Räumliche Wirkung

Bei der Gestaltung des Balkons wurde Wert darauf gelegt, den Balkon so zu positionieren, dass er als Fortsetzung des Wohnraumes dient. Die Dimensionen der Fensterflächen und der Balkone sind aufeinander abgestimmt, um einen optimalen räumlichen Zusammenhang herzustellen.



Abb. 242 Innenperspektive

8.3.1.4.3. natürliche Belichtung

Der Balkon und die Fenster sind so angeordnet, dass sich das Belichtungsverhältnis der Wohnung im Geschoss darunter trotz passivhausgerechter Ausführung und Balkon nicht verschlechtert. Möglich wird dies vor allem dadurch, dass die Fensterfläche insgesamt größer wird und kein Parapet geplant ist.

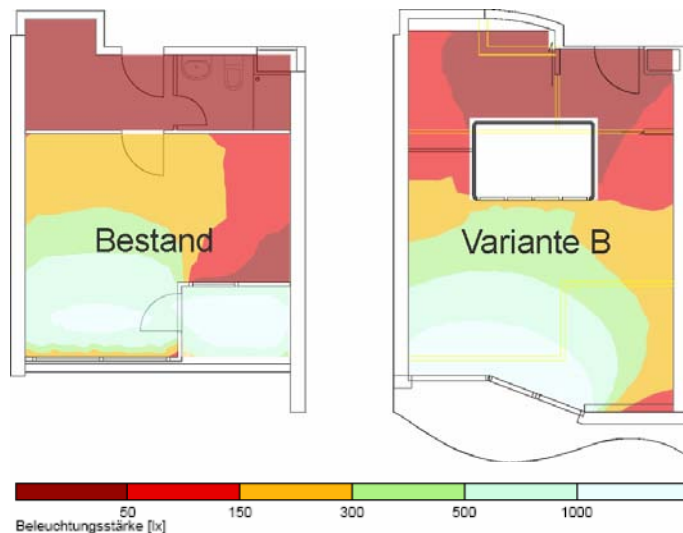


Abb. 243 Belichtungsstudie mit Falschfarbendarstellung

8.3.1.4.4. Barrierefreiheit- Ausblick

Um sowohl die Wiener Bauordnung (Kap. Hochhäuser) als auch ÖNORM B 1601 zu erfüllen, muss die Balkonbrüstung mit einer G-30 / VSG - Verglasung ausgeführt werden.

8.3.1.4.5. Barrierefreiheit - Schwelle

Freibereiche müssen laut ÖNORM B 1601 stufenlos erreichbar sein mit einem zulässigen Niveauunterschied von max. 2cm. Der Markt bzw. die Technik bieten z.Z. noch keine barrierefreie, passivhaustaugliche, vollverglaste Terrassentür an. Die Angaben der Hersteller zu diesem Punkt variieren sehr.

Die Fa. Wiegand Fensterbau aus Deutschland bietet eine Tür an, die den Passivhausanforderungen recht nahe kommt. Der seitliche und der obere Rahmen entsprechen ihrem zertifizierten Passivhausfenster, die Schwelle muss man lt. Hersteller mit einem Psi-Wert von 0,1 bis 0,2 belegen.

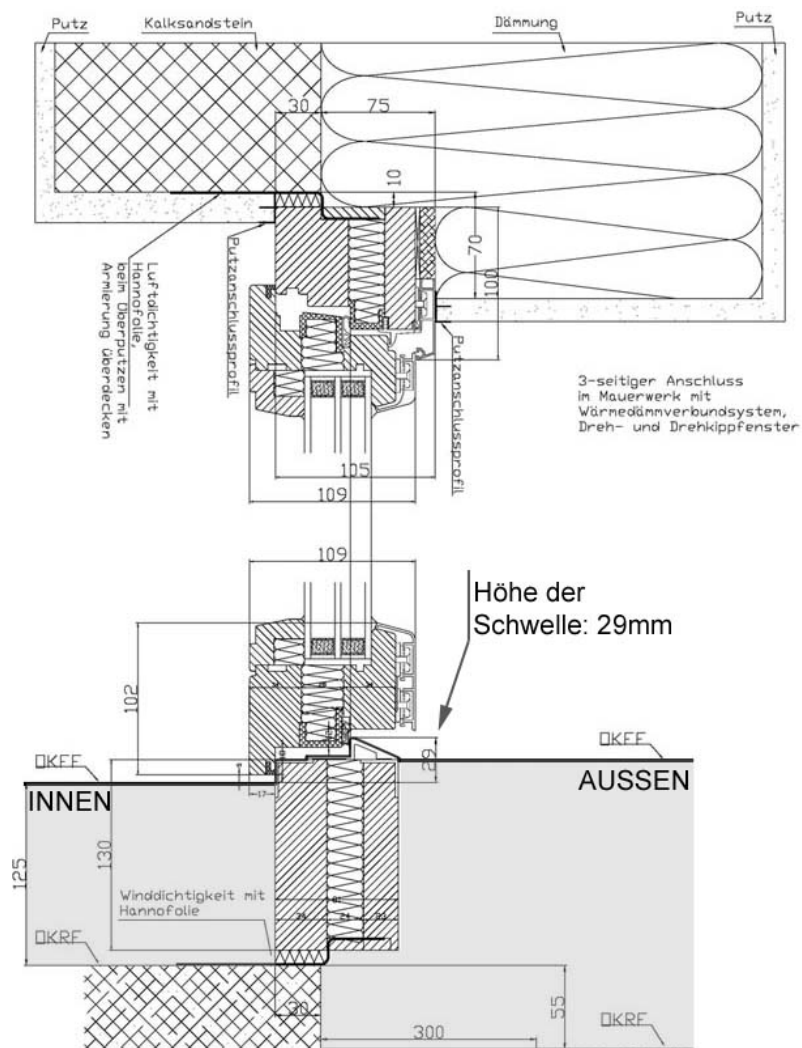


Abb. 244 Wiegand Fensterbau: Terrassen-Tür im Massivbau mit VWS

8.3.1.4.6. Balkonkonstruktion

Die neue Balkon- und Pflanzenschicht wird als eigenständige Konstruktion vor das Gebäude gesetzt und nur punktuell mit dem Bestand verbunden. Diese Punkthalter sind oberflächenminimiert und aus Edelstahl hergestellt, um den Wärmedurchlass gering zu halten. Die statisch-konstruktive Ausformulierung des Balkons wird in dieser Arbeit nicht weiter vertieft.

8.3.1.4.7. Fassadenbepflanzung

Zwischen den Wohnungen werden Pflanztröge mit ca. 1m³ Substrat und Kletterpflanzen positioniert. Die Kletterpflanzen dienen der Fassadengestaltung und gleichzeitig als Sichtschutz der Balkone untereinander. Der Trog ist mit 2 cm PU gegen Frost gedämmt und mit einer automatischen Bewässerungsanlage ausgestattet.

In 30 cm Abstand von Geländer und Pflanzkiste sind Edelstahlseile als Kletterhilfen für die Pflanzen befestigt. Die Stahlseile werden schräg-vertikal mit 30 cm Abstand jeweils über zwei Geschosse geführt und dann parallel zum Balkongeländer in die Horizontale verzogen. Das obere der horizontalen Stahlseile wird 60 cm über der Balkonplatte geführt, um die Aussicht nicht zu behindern, das untere der horizontalen Stahlseile wird auf Balkonniveau geführt. Die Pflanzen, die eine Wuchshöhe (Länge) von ca. 10m erreichen, wachsen also 2 Geschosse vertikal (ca 6m) und im letzten Geschoss horizontal entlang der Brüstung. Zusätzliche waagrechte Verbindungen alle 50 cm zwischen den senkrechten Rankseilen sind in Hinblick auf Wind und Pflege sowie Fixierung langer Triebe sinnvoll. Alternativ ist

auch ein Metallnetz mit Maschenweite von 25 - 30 cm möglich, um den Pflegeaufwand und potentielle Klopfg Geräusche zu vermindern.

Windende Kletterpflanzen wie Wisteria, Lonicera und Aristolochia winden sich selbständig um die Rankhilfen (anfängliche Unterstützung und mechanische Fixierung durch Klammern). Spreizklimmer wie Campsis und Jasminum wachsen in einem „Käfig“ aus senkrechten Rankseilen mit waagrechten Verbindungen empor. Aus einem Bündel von fixierten Trieben wachsen kurze Seitentriebe mit Blüten. Abgestorbene Zweigstücke bilden zusätzlichen Schutz und Halt für die neuen Triebe.

Für die erforderlichen Pflegearbeiten werden Anschlagpunkte für eine Abseilvorrichtung vorgesehen

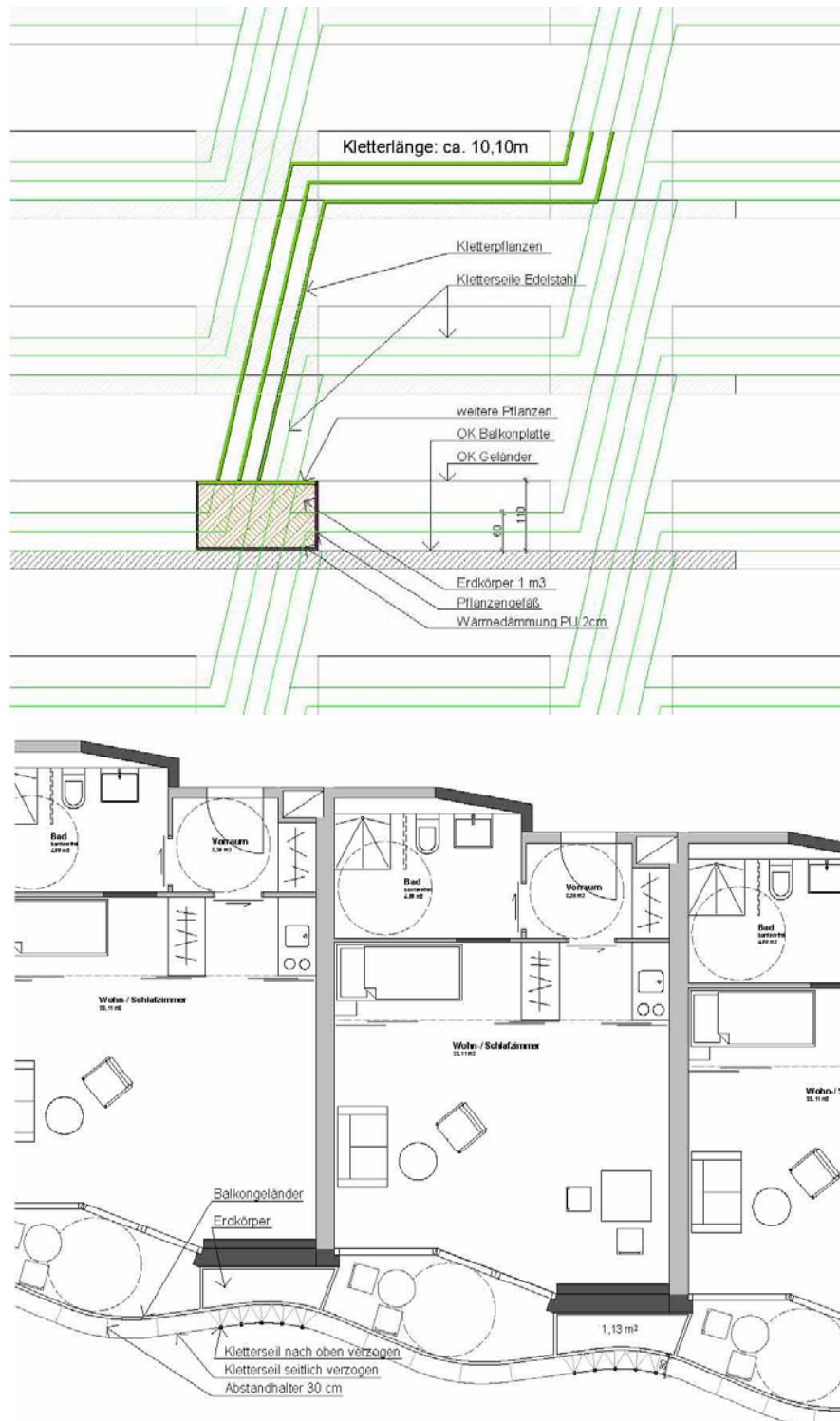


Abb. 245 Pflanzkonstruktion Ansicht und Grundriss

Für die Fassade wird ein spezielles Pflanzenkonzept entwickelt, siehe nachfolgende Abbildung. Die Pflanzennamen u.a. Hinweise sind aus der nachfolgenden Tabelle Abb. 247 zu entnehmen.

13. OG	J L J	C 'Flava '	J L J	C 'Flava '	J L J
12. OG	C 'Mme Galen '	J L J	C 'Mme Galen '	J L J	C 'Mme Galen '
11. OG	J L J	C 'Mme Galen '	J L J	C 'Mme Galen '	J L J
10. OG	C	L J	C	L J	C
09. OG	L H	C	L H	C	L H
08. OG	W 'Shiro-noda '	L H	W 'Shiro-noda '	L H	W 'Shiro-noda '
07. OG	A	W 'Shiro-noda '	A	W 'Shiro-noda '	A
06. OG	W 'Shiro.noda '	A	W 'Shiro-noda '	A	W 'Shiro-noda '
05. OG	L H	W 'Domino '	L H	W 'Domino '	L H
04. OG	W 'Domino '	L H	W 'Domino '	L H	W 'Domino '
03. OG	A	W 'Domino '	A	W 'Domino '	A
02. OG	W 'Domino '	A	W 'Domino '	A	W 'Domino '
01. OG	C V A	C A L H	C V A	C A L H	C V A
EG	C A P	C V A	C A P	C V A	C A P

Abb. 246 Fassadenbepflanzung

Fassadenbegrünung Pflegeheim

Abkürzungen	Botanischer Name	Deutscher Name	Kletterform	Mittlere Wuchshöhe	Wüchsigkeit	Triebdurchmesser bis	Blütezeit	Blüte und Laub	Bemerkungen
A	Aristolochia macrophylla	Pfeifenwinde	S	8-10m	stark	10cm	VI	große herzförmige gelbgrüne Blätter	verlangt ausreichende Bodenfeuchtigkeit
C	Campsis radicans	Trompetenwinde	WK	8-10m	stark	20cm	VII-VIII	große orangerote Blüten	lichtfliehende Triebe, verlangt geschützten Standort
C 'Flava'	Campsis radicans 'Flava'	Trompetenwinde	WK	8-10m	stark	20cm	VII-IX	leuchtend hellgelbe Blüten	lichtfliehende Triebe, verlangt geschützten Standort
C 'Mme Galen'	Campsis tagliabuana 'Mme Galen'	Trompetenwinde	WK	8-10m	stark	20cm	VII-IX	lange lachsorange Trompetenblüten	lichtfliehende Triebe, verlangt geschützten Standort
C A	Clematis alpina	Alpenwaldrebe	RB	2-3m	gering	3cm	V-VI	blaue Glöckchenblüten, zierende Früchte	verlangt kühle Lagen, baucht Querverbindungen
C V	Clematis viticella	Ital. Waldrebe	RB	bis 4m	stark-mittel	3cm	VII-IX	violett-purpur Blüten	wärmeliebend, robust, baucht Querverbindungen
J	Jasminum nudiflorum	Winterjasmin	K	3-5m	mittel	3cm	XII-III	hellgelbe Blüten	verlangt geschützten Standort, baucht Querverbindungen
L H	Lonicera henryi	Geißblatt	S	6-8m	stark	4cm	VI-VIII	duftend gelbrote Blüten, immergr., schwarze Früchte	
L J	Lonicera japonica chinensis	Geißblatt	S	2-5m	gering	2cm	VI-VII	duftende weiße Blüten, außen karmin, immergrün	reichblühend
P	Parthenocissus quinquefolia	Wilder Wein	RH	10-15m	stark	20cm	keine	schöne rote Herbstfärbung	baucht Querverbindungen
W 'Domino'	Wisteria floribunda 'Domino'	Blauregen	S	8-10m	stark	25cm	V-VI	duftende lange dunkel lila blaue Blütentrauben	lichtfliehende Triebe, verlangt geschützten Standort
W 'Shiro-noda'	Wisteria floribunda 'Shiro-noda'	Blauregen	S	8-10m	stark	25cm	V-VI	duftende weiße Blütentrauben	lichtfliehende Triebe, verlangt geschützten Standort

Legende

Kletterform	Wüchsigkeit
S	sehr stark
RB	stark
RS	mittel
K	gering
WK	
RH	

Schlinger oder Winder	>200cm
Blattranker	100-200cm
Sprossranker	50-100cm
Spreizklimmer	<50cm
Wurzelkletterer	
Haftscheibenranker	

Abb. 247 Fassadenbegrünung Pflanzen

Die Ebene der Bepflanzung nimmt dem großvolumigen Gebäude die Dominanz und Rigidität. Zusätzlich werden Teile der Fassade ohne Balkon ausgeführt, um die bestehende Gleichförmigkeit aufzulösen. Weitere Vorteile, wie z.B. verbessertes Mikroklima, Verschattung, etc. sind ausführlich im Kapitel 6 erklärt.

Der Pflanzenauswahl lagen folgende gartentherapeutische und praktische Überlegungen zugrunde:

In den unteren Geschossen wurden helllaubige Pflanzen ausgewählt, deren Blühaspekte von Weiß und Hellblau im Frühling zu Magenta und Blau im Sommer reichen. Eine üppige Herbstfärbung des Laubes und dekorative Triebe im Winter sorgen für ein abwechslungsreiches Bild.

Im oberen Gebäudebereich wird die Fernwirkung der Bepflanzung zunehmend wichtig. Rot-Orange- und Gelbtöne leuchten den ganzen Sommer. Winterjasmin und gelbe Herbstfärbung der Campsis sorgen auch während der Grauen Jahreszeiten für freundliche Stimmung. Es wurden wegen der Windeinwirkung robuste, starktriebige Pflanzen gewählt.



Abb. 248 Fassade mit Pflanzenschicht

8.3.1.5. PHPP, zukünftiger Energieverbrauch

Die Berechnung mit dem PHPP 2004 findet sich im Anhang. Mit den vorgeschlagenen Maßnahmen kann im Wohntrakt trotz der großen, nicht behebbaren Verluste im Bereich des beheizten Kellers Passivhausstandard erreicht werden. Der Heizwärmebedarf berechnet sich auf 12,5 kWh/m²,a.

Für den Servicetrakt ist eine Sanierung zum Passivhaus nicht möglich. Erstens liegt der gesamte Küchenbereich im Keller und die enormen Wärmeverluste zum Erdreich können nicht verringert werden, zweitens ist eine Großküche wie diese nicht mit einer normalen Wohnung zu vergleichen, da sie auf Grund des sehr hohen Luftwechsels immer höhere Verluste aufweisen muss.

Dennoch gelingt es, den Heizwärmebedarf für den gesamten Servicetrakt auf ein Drittel der Ausgangslage, nämlich auf ca. 55 kWh/m² a zu reduzieren.

Berechnet man einen Mittelwert an Heizwärmebedarf für die gesamte Anlage so erreicht man immerhin 20,3 kWh/ m² a. Das ist ein gesamter Heizwärmebedarf von ca. 360 MWh bei einem Flächengewinn von ca. 1750 m². Damit kann der Heizwärmebedarf von über 140 kWh/m²a auf 15 % dieses Ausgangswertes gesenkt werden.

8.3.1.6. Ergänzende sinnvolle Maßnahmen

werden hier nur stichwortartig erwähnt, für weiterreichende Informationen siehe Forschungsbericht „Altes Haus - Barrierefreies Wohnen im GründerzeitPassivHaus“.

Sinnvoll ist u.a.

Künstliche Belichtung als Leitsystem

Wasserspar-Armaturen

leicht zu reinigende Keramikgegenstände mit Lotuseffekt

intelligentes Bus-System für z.B.:

Lichtschaltung, Tageslichtregelung, Netzfreeschaltung, Jalousiesteuerung, Fensterkippmotorenansteuerung, Lüftungssteuerung, Raumtemperaturregelung, Fensterkontakt, Energiemengenerfassung (Strom, Wärme, Wasser) Notruf, Anwesenheitskontrolle, Türöffner, ...

8.3.2. Funktionelle Sanierung

Die funktionelle Sanierung beinhaltet primär die Umgestaltung der Servicezone in der Wohnung: Eingang/Vorraum, Bad, Schlafen, Kochen (in Abbildung grau dargestellt).

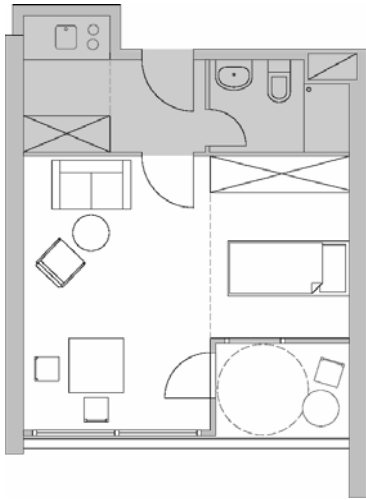


Abb. 249 Grundriss Bestand

Zusätzlich wird die Loggia, die z.Z. schlecht nutzbar ist (dunkel, Windverwirbelungen, hohes Parapet) dem Wohnraum zugeschlagen. Als räumliche Ergänzung und Ersatz für die Loggia wird eine neue vorgesetzte Balkonkonstruktion mit Fassadenbegrünung als Wohnraumerweiterung entwickelt.

Generell wird bei allen Maßnahmen eine Optimierung hinsichtlich der Wohnqualität angestrebt. Verbesserungspotential wird z.B. in den Teilbereichen Raumorganisation, wohnungseigener Freiraum, Begrünung, Luftqualität und Belichtung erkannt.



Abb. 250 Regelgeschoss Westflügel mit Abbruch

8.3.2.1. Barrierefreiheit

Angestrebt wird Barrierefreiheit nach ÖNORM B1600 & B1601. Bei der Gestaltung ist es wichtig, trotz Hilfsmittel und Barrierefreiheit eine Krankenhausatmosphäre zu vermeiden.

ÖNORM B1601

§ 1: „Diese Norm (...) gilt insbesondere für spezielle Baulichkeiten (Neu-, Zu-, oder **Umbau**) für (...) alte Menschen.

§ 3.1: „Das Ziel dieser ÖNORM ist die Schaffung von baulichen Grundvoraussetzungen für ein weitgehend selbst bestimmtes und von Fremdhilfe unabhängiges Leben (...).

Ein umfangreicher Maßnahmenkatalog für einen barrierefreien Umbau ist im Forschungsbericht „Altes Haus - Barrierefreies Wohnen im GründerzeitPassivHaus“, Kapitel 7.3 erarbeitet worden. Viele der dort ausgearbeiteten Punkte wären auch für die Sanierung „Pensionistenwohnhaus Penzing“ aktuell, werden allerdings im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter vertieft. Wie dort gezeigt und erarbeitet, darf eine behindertengerechte Ausführung nicht automatisch die Atmosphäre eines Krankenhauses erzeugen. Mit einer durchdachten und anspruchsvollen Planung können Räume entstehen, in denen die alltagserleichternden Hilfsmittel von jedermann als angenehme Ergänzung geschätzt werden, aber nicht als ein Element, das das Lebensgefühl der Nutzer negativ beeinflusst. Einige Gestaltungspunkte sind z.B.:

- Viele Treffpunkte und Kommunikationszonen
- Handläufe und Ausruhmöglichkeiten in den Allgemeinzonen
- Bedienungseinheiten für Licht, Lift, Klingel, Postkasten niedriger gesetzt und gut beleuchtet (optimale Höhe: 85 cm)
- differenzierte Licht- und Farbgestaltung, um die Orientierung zu erleichtern, klare Trennung in Ort- und Bewegungsraum durch unterschiedliche Materialien
- Unterschiedliche farbliche Gestaltung in jedem Geschoss, um Orientierung zu erleichtern und die Zugehörigkeit zu verstärken
- Anfang und Ende des Stiegenlaufes werden rechtzeitig und deutlich gekennzeichnet - durch taktile Hilfen an den Handläufen und farbliche Unterscheidung der ersten und letzten Stufe eines Stiegenlaufs.
- Zentralschalter zum Ein- und Ausschalten der kompletten Wohnbeleuchtung (wie im Hotel)
- Gardarobe / Schrank mit Fächern in niedriger Höhe.
- Spüleinsatz mit Eingleitschräge, damit der Topf nicht in die Spüle hineingehoben werden muss. Verwendung eines herausziehbaren Brauseschlauchs, um anfallende Arbeiten (z.B. das Auffüllen des Nudeltopfes mit Wasser) zu erleichtern.
- Armaturen als Einhand-Mischbatterien

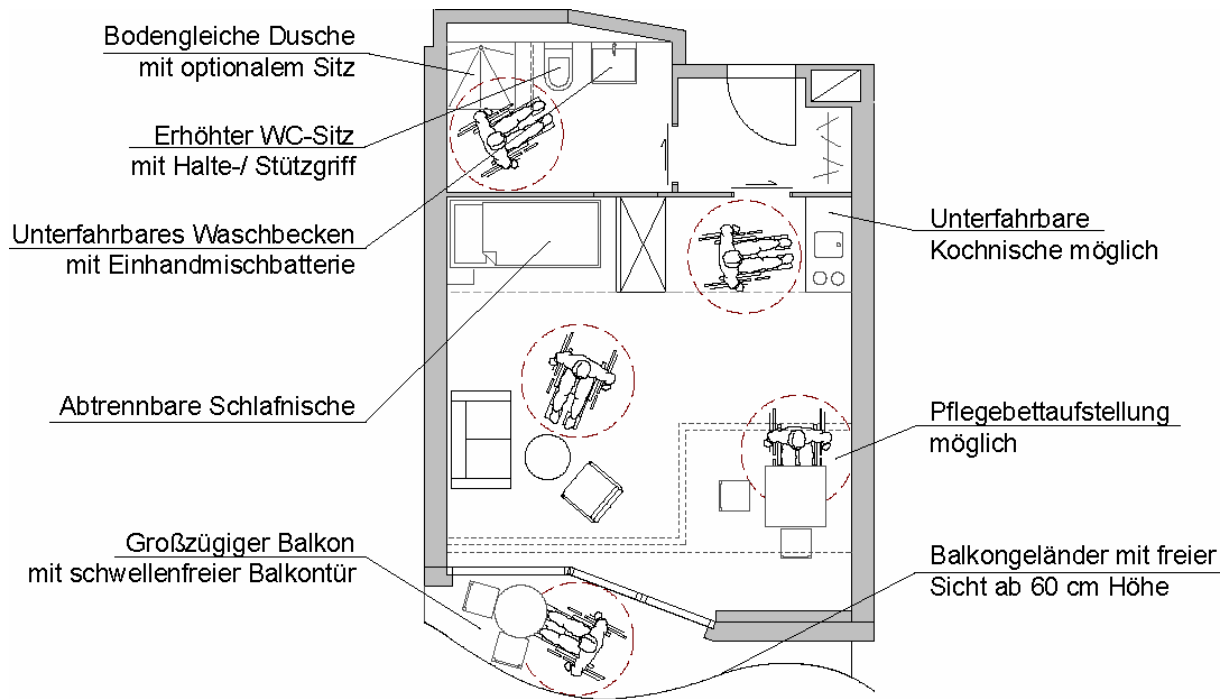


Abb. 251 Wendekreise und Hauptmaßnahmen

8.3.2.1.1. Bewegungsflächen – Wendekreis

Obwohl die Mehrzahl der Bewohner nicht auf einen Rollstuhl angewiesen ist, ist es sinnvoll (und gesetzlich vorgeschrieben), alle Wohnungen und öffentlichen Bereiche des Wohnhauses rollstuhlgerecht auszuformulieren.

8.3.2.1.2. Bad

Es erscheint den Autoren nicht zielführend, das Bad an der jetzigen Position zu belassen, da eine barrierefreie Ausführung hier nur auf Kosten einer massiven Verkleinerung des Wohn-/ Schlafbereiches möglich ist, welcher eher vergrößert als verkleinert werden sollte. Es wird daher vorgeschlagen, das Bad im Bereich des jetzigen Vorzimmers anzuordnen und in den allgemeinen Gangbereich hin zu erweitern.

Zusätzlich zu Anforderungen nach ÖNORM B5410 (Sanitärräume im Wohnbereich) ist hier eine ausreichende Dimensionierung des Raumes einzuhalten, welche Wendekreise für Rollstuhlfahrer $d=1,50m$ ermöglicht.

Die Sanitärgegenstände sind laut ÖNORM B1601 auf individuelle Nutzererfordernisse abzustimmen. Das Waschbecken muss unterfahrbar sein. Halte- und Stützgriffe können (auch nachträglich) an entsprechenden, definierten Punkten befestigt werden.

Eine schwellenlose Dusche mit einem erweiterten Platzbedarf für Rollstuhlfahrer von $1,80m \times 1,30m$ ist schaffen. Insbesondere die schwellenlose Dusche ist bei Umbaumaßnahmen nur schwer zu realisieren. Zu diesem Zweck werden im Bereich der neuen Dusche der Estrich und die TSD entfernt, eine neue dünnere Estrichschicht mit Gefälle eingefügt und mit Abdichtung verfließt.

Vorgeschlagen wird zusätzlich eine Schiebetür, um die Handhabung für Rollstuhlfahrer zu erleichtern. Falls anstatt der Schiebetür eine Drehtür eingebaut wird, muss diese nach außen aufgehen, um im Falle eines Sturzes des Nutzers im Bad zu öffnen zu sein.

8.3.2.1.3. Freibereich

siehe Kapitel 8.3.1.4.4 und 8.3.1.4.5

8.3.2.2. Nutzflächenvergrößerung

Nach Aussagen des Betreibers ist eine Vergrößerung der Wohnfläche erstrebenswert.

In Bestandsgrundriss Abb. 249 ist erkennbar, dass der Wohnraum relativ klein ist, und bei einer „normalen“ Möblierung schnell an seine Grenzen stößt.

Ziel ist es daher, im Rahmen des statischen Systems der tragenden (Schotten-)Wände eine geeignete Raumergänzung zu entwickeln. Die Autoren schlagen vor, diese Raumvergrößerung aus energetischen Gründen mit einer Hüllflächenminimierung zu verbinden (siehe 8.3.1.1.3 - Verbesserung des A/V-Verhältnisses)

Zu den entwickelten Varianten siehe Kapitel 8.3.1.1.1. Hier werden auch Flächengewinne, etc. angeführt.

8.3.2.3. Ausstattung

Die Möblierung der Funktionszone (Bad, Kochen, Vorzimmer) wird vom Heim gestellt, bzw. ausgestattet und muss barrierefrei und langlebig sein. Zusätzlich ist die Kostenfrage, sowohl in der Anschaffung wie auch im Betrieb, von entscheidender Bedeutung.

Der Betreiber legt Wert auf ein möglichst persönlich gestaltetes Lebensumfeld, d.h. die Bewohner beziehen eine größtenteils unmöblierte Wohnung und bringen eigene Möbel für den Wohn- / Schlafbereich mit.

Wir schlagen ergänzend vor, den Schlafbereich durch geeignete architektonische Maßnahmen zu definieren. Wichtig ist eine mögliche Abtrennbarkeit der Schlafzone vom Wohnbereich, um Privatsphäre zu gewährleisten, und den Bewohnern ein selbständiges Leben ohne Krankenhausatmosphäre zu ermöglichen.

Wir haben folgende zwei Varianten entwickelt, die eine unterschiedliche Interpretation des Raumes zulassen.



Abb. 252 Varianten ServiceZone (links Var. 1, rechts Var.2)

8.3.2.3.1.1. Variante 1

Diese Variante nutzt bestehende Wände und die vorhandene Raumkonfiguration, um eine abgestufte Privatheit zu gewähren. Geplant ist ein geschlossener, volleingerichteter Bereich mit Bad und Vorzimmer als Puffer zwischen öffentlich und privat.

Die Position Bad – Vorzimmer (in der Grafik blau), wird vertauscht. Der Schlafbereich und die Kochecke können durch Paneele, die in einer Schiene an der Decke befestigt sind, abgetrennt werden.

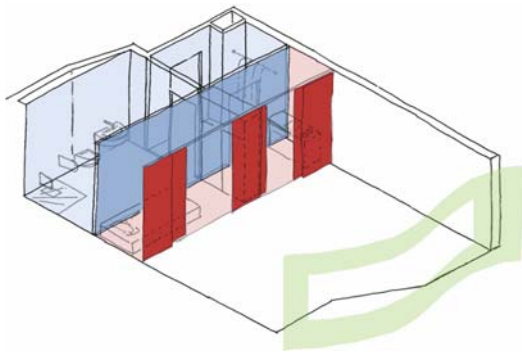


Abb. 253 Isometrie Variante 1

8.3.2.3.1.2. Variante 2

Mit der Variante 2 schlagen wir einen radikaleren Umbau vor, um den veränderten Raumansprüchen der heutigen Zeit gerecht zu werden. Jede Wohnung soll in ihrer gesamten Dimension erlebbar sein. Um diesen Raumeindruck zu gewährleisten, wird die Wohnung entkernt und durch eine hineingestellte Schlafbox mit einer Höhe von 2,00m gegliedert. Diese farbige Box aus Gipskarton oder Holz kann durch Schiebe- oder Klappelemente geschlossen oder zum Wohnraum hin vollständig geöffnet werden. Die Abtrennung der Räume (Wohnen, Bad, Vorraum) voneinander erfolgt durch transluzente Glaswände, Schiebetüren und transparentes Glas ab einer Höhe von 2,00m.

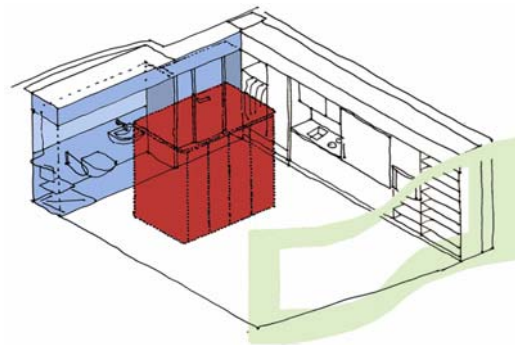


Abb. 254 Isometrie Variante 2

8.3.2.4. privater Freiraum

siehe Kapitel 8.3.1.3

8.3.2.5. Luftqualität

Speziell im Bereich Seniorenwohnen ist eine konstante Durchlüftung, bzw. die Einbringung von Frischluft bei gleichzeitiger Absaugung der verbrauchten Luft ein wesentliches Qualitätskriterium. Die Lüftungsanlage (mit Wärmerückgewinnung), die im Passivhausbereich aus energetischen Gründen nötig ist, bietet daher gerade im Seniorenbereich einen enormen Gewinn an Lebensqualität. Siehe auch Kapitel Lüftung, Haustechnik

8.3.3. Bewertung

Es gibt nicht DIE perfekte Lösung. Aber durch ständige Optimierungsversuche, kombiniert mit möglichst objektiven Bewertungen, kann man sich dem Optimum annähern. Wir haben Wert darauf gelegt, dass auch die subjektive Größe „Wohnqualität“ als wichtiges Entscheidungskriterium beachtet wurde.

8.3.3.1. Maßnahmenpaket Fassade

Verschiedene Fassadenvarianten wurden vor dem Hintergrund entwickelt, Hüllfläche zu minimieren und die Wohnfläche zu vergrößern. Zusätzlich sollte ein privater Freibereich angeboten werden.

Die Fassadenvariante, die wir als sinnvollste erachten, ist innenräumlich so gestaltet, dass im Wohnraum zwei ineinander fließende Zonen (offen beim Fenster, eher geschützt in der Wandecke) geschaffen werden. Durch die Positionierung des Balkons in der Fassadenaufweitung wird dieser Freibereich eindeutig als Erweiterung des Wohnraumes wahrgenommen.

Durch die Verkleinerung der Oberfläche und das Einbinden der derzeitigen Loggiafläche in die beheizte Nutzfläche können Transmissionsverluste minimiert und Wärmebrücken vermieden werden. Damit wird maximale Kompaktheit erzielt, und minimale Dämmstärke zur Erlangung von Passivhausstandard ermöglicht. Der Heizwärmebedarf wird in Zukunft nur mehr 15% dessen betragen, was er heute ausmacht.

8.3.3.2. Maßnahmenpaket ServiceZone

Zwei Varianten erscheinen sinnvoll, wobei aufgrund der Forderung nach Barrierefreiheit jeweils das Bad neu positioniert werden muss. Der hierfür notwendige Aufwand ist allerdings gerechtfertigt, da die Wohnfläche so nicht verkleinert wird.

Variante 1 (Schichten) funktioniert mit weitgehender Nutzung der bestehenden Wandkonstruktionen. Variante 2 (Schlafbox) ist die räumlich spannendere, allerdings auch kostenintensivere Variante. Beide Varianten haben eine gravierende Verbesserung der Wohnqualität zu Folge.

9. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

9.1. Ergebnisse Vergleichsmatrix großes Volumen

9.1.1. allgemeine und geometrisch Kenndaten von Wohngebäuden in Bezug auf den Energieverbrauch

Unabhängig von allen übrigen Werten lässt sich der Energieverbrauch eines Gebäudes allein durch Form, Größe und Belegung prädeterninieren.

Die hierfür entscheidenden Parameter sind das Gebäudevolumen und die Kompaktheit. Mit steigender Gebäudekubatur und zunehmender Kompaktheit verringert sich der Transmissionswärmebedarf (wenn alle übrigen Parameter gleich bleiben) dramatisch.

Diese Tatsache schließt –neben mehreren anderen- alle kleinen Volumina (wie z.B. Einfamilienhäuser) davon aus, als volkswirtschaftlich und gesamtökologisch sinnvolle Modelle des energiesparenden Wohnens bewertet werden zu können.

Mit steigendem Volumen sinkt das Verhältnis opake beheizte Oberfläche (die Fenster sind bereits abgezogen) zu Nutzfläche überproportional, sodass bei einem Einfamilienhaus z.B. mit $3 \text{ m}^2 A_{\text{Bopak}}/\text{m}^2$ Nutzfläche gerechnet werden muss, bei einem sehr großen kompakten Wohnbau nur mehr mit ca. $0,7 \text{ m}^2 A_{\text{Bopak}} / \text{m}^2$ Nutzfläche.

Bezüglich der Kompaktheit:

Das große Volumen alleine bewirkt für ein gutes A/V-Verhältnis nur mäßig viel, wenn es nicht gleichzeitig mit hoher Kompaktheit Hand in Hand geht.

Wenn wir die reine Gebäudeform betrachten und den Einfluss solarer Gewinne außer Acht lassen, ist der Würfel nach der Kugel die kompakteste Form. Jeder Quader gleichen Volumens, gleich ob Zeile oder Turm, ist weniger kompakt.

Wenn man den geringeren Verlust gegenüber dem Keller in der Optimierung der Kompaktheit berücksichtigt, erhält man einen gedrückten Würfel, mit einer Höhe die etwa 75% der Seitenlänge beträgt.

Auch Einschnitte oder Vor- und Rücksprünge vergrößern die Oberfläche eines Gebäudes deutlich. So kann die Oberfläche bei eingeschnittenen Loggien um 20 -30% zunehmen. Um einen gleichen Wärmeschutz zu erreichen, muss diese vergrößerte Oberfläche mit höherer Dämmstärke wieder aufgefangen werden.

Auch die allgemeinen Kenndaten von Gebäuden sind durchaus bedeutsam für die energetische Optimierung:

Bei normalem sparsamem Umgang mit den allgemeinen Flächen ist ein Verhältnis von $WN_{\text{fl. B}}$ zu BGF_{B} von $0,75 = 75 \%$ durchaus zu realisieren, extremere Beispiele erreichen auch 80%.

Von Einfluss ist hier

1. wie effizient mit allgemeinen Flächen umgegangen wird
2. wie dick die Stärken der Außenbauteile sind (Vakuumdämmung oder eine andere ultradünne Dämmung könnte hier z.B. einige Verbesserung bringen)
3. wie effizient mit den raumumschließenden Teilen, d.h. Wänden und Decken umgegangen wird.

Das Verhältnis von belichteten zu unbelichteten Räumen in der Wohnung bewegt sich ungefähr bei 75% zu 25%.

Das Verhältnis von Fensterfläche zu Nutzfläche ist in etwa 25 % (Fensterfläche ist ein viertel der belichteten Nutzfläche). Bezogen auf die gesamte Wohnung bedeutet dies: Fensterfläche ist ca. 19% der Gesamtnutzfläche einer Wohnung.

Der letzte allgemeine Parameter, der für die energetische Bilanz maßgebend ist, ist die Belegung. Im österreichischen Durchschnitt steht heute einer Person eine Wohnfläche von 35 m² zur Verfügung. Im sozialen Wohnbau kann mit ca. 23 m² pro Person gerechnet werden. Damit hat der soziale Wohnbau rein auf Grund der Belegung einen Vorteil im energetischen Aufwand/Person von 35% zu verbuchen.

9.1.2. Exkurs U Wert

Da im Passivhausbereich mit zunehmenden Gebäudevolumen der angestrebte Heizwärmebedarf mit zunehmend schlechteren U-Werten erreicht werden ist es von Interesse wie sich die Dämmstärken der Außenhüllfläche in Bezug zu den Gebäudeabmessungen verhalten.

Um einen Heizwärmebedarf von 15,0 [kWh/(m²a)] zu erreichen, muss bei einem mittleren Volumen von 2880m³ (Gebäude 20m/12m/12m) die Dämmstärken noch 0,32m für Dach und Außenwand bzw. 0,25m für die Kellerdecke betragen. Bei einem Volumen von 76800m³ (160m/20m/24m) ist dasselbe Ergebnis bereits mit 0,11m für Dach und Außenwand sowie 0,08m für die Kellerdecke möglich.

9.1.3. Exkurs kompakte Form

Das A/V-Verhältnis gibt Auskunft darüber, wie kompakt ein Gebäude ist. Je kompakter desto geringer sind die Transmissionswärmeverluste und dito der Heizwärmebedarf. Aufgrund der Einschnitte und Auskragungen steigt das Ausmaß der beheizten Oberfläche AB bei den berechneten Modellen um ca. 10%, bzw. um ca. 14%. Um den Heizwärmebedarf bei 15,0 [kWh/(m²a)] gleichzuhalten, müssen die U-Werte der Außenbauteile gesenkt und damit die Dämmstärke erhöht werden - um 12% für das eine und um 20 % für das andere Modell.

Eine Vergrößerung der Oberfläche zieht also eine Vergrößerung der Gesamtdämmstoffkubatur nach sich, die nicht linear sondern überproportional entsprechend der mathematischen Beziehung U-Wert/Dämmstoffdicke steigt.

Für ein etwas extremes Beispiel eines sehr wenig kompakten Einfamilienhauses im Vergleich mit einem sehr großen kompakten Wohnbau kann ausgesagt werden, dass das Einfamilienhaus pro m² Nutzfläche den 20igfachen Verbrauch an Dämmstoff hat.

9.1.4. Exkurs Fenster

Hier sollten die variablen Parameter eines Fensters im Verhältnis zur Energieperformance eines durch Nachbargebäude verschatteten Wohnbaues betrachtet werden. Die hier errechneten Werte beziehen sich immer auf ein Mittel aus der Summe aller Fenster aller Geschosse, beziehen also die 45° Nachbarverschattung in die Rechnung mit ein.

Für die Verwendung der Normfenstergröße $b/h = 1,25/1,5$ M gilt, dass Nordfenster den 3fachen Wärmeverlust, Ost oder Westfenster den doppelten Verlust gegenüber einer opaken Wand mit $U = 0,15 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ aufweisen. Als Wärmeverlust weisen wir hier die Differenz zwischen Transmissionsverlusten und solaren Gewinnen aus. Lediglich die Südfenster sind selbst bei hoher Nachbarverschattung im Mittel Flächen mit doppelt so guter Bilanz wie die an ihrer Stelle sonst eingesetzte Wand.

Sehr wesentlich für die Frage ob die Fenster eines verschatteten Gebäudes im Mittel energetisch Gewinnflächen darstellen ist die Frage der Fenstergröße und Fensterproportion. Mit steigenden Fenstergröße (selbstverständlich ohne Versprossung) sinkt der Rahmenanteil dramatisch. Für einen minimalen Rahmenanteil wirkt sich auch die möglichst quadratische Proportion positiv aus. Betrachten wir eine Südfassade (immer im Mittel über 4 Geschosse mit 45° Nachbarverschattung) so ist der Wärmeverlust eines 0,5 m² großen Fensters 4 mal so hoch wie der einer Wand (U wert wie vor), der Verlust eines 2,5 m² großen Fensters ohne Teilung jedoch weniger als 20 % verglichen mit der Außenwand. Knapp 3 m² große Scheiben stellen auf einer Südseite im Mittel über 4 Geschosse (mit Nachbarverschattung) schon absolute Gewinnflächen dar.

Bei dieser Betrachtung muss abschließend noch bemerkt werden, dass Gebäude großen Volumens zum Erreichen von Passivhausstandard je nach ihrer Größe auch mit wesentlich schlechteren U Werten das Auslangen finden. Das bedeutet dass der Bilanzvergleich zwischen Fenster und opaker Außenwand dann noch positiver zugunsten des Fensters ausfällt. Bei sehr großen kompakten Gebäuden (mit U wert der Wand z.B. $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) und der Verwendung von großen Scheiben ($2,5\text{-}3 \text{ m}^2$) mit kleinem Rahmenanteil ist daher durchaus auch auf einer (verschatteten) West und Ostseite davon auszugehen, dass Fenster im Mittel über alle Geschosse besser bilanzieren als die opake Wand.

9.1.5. Exkurs Dämmstärkenoptimierung

In diesem Exkurs sollte untersucht werden, wie der Dämmstoff an einem Gebäude im Hinblick auf seine Ausnutzung optimal zu verteilen wäre. Da ja, je besser der U Wert eines Bauteils wird die Dämmstoffmenge, die dafür benötigt wird überproportional und nicht linear steigt, sollte bei gleichen Temperaturunterschieden zwischen warm und kalt der Dämmstoff an den verschiedenen Bauteilen gleich dick verwendet werden. Den schlechten U wert einer mit Dämmstoff gedämmten Außenwand mit dem besseren eines anderen Bauteils auszugleichen bedeutet immer eine Mehrmenge an Dämmstoff.

Hier galt es nun das optimale Verhältnis zwischen Dach und Kellerdecke zu finden, da für beide Bauteile ja eine unterschiedliche Temperaturdifferenz zwischen innen und außen anzusetzen ist. Je nach den unterschiedlichen Gebäuden ergab sich ein Verhältnis von 70-75 :100. D.h. bei einer Dämmstoffdicke des Daches von 30 cm liegt die optimale Dicke an der Kellerdecke ca. bei 22 cm

9.1.6. Problem Heizlast

Größter Themenbereich im großen Volumen ist sicher die Heizlast.

Wie wir darstellen konnten, ist ja bei Gebäuden großer Volumen der für den Passivhausstandard erforderliche Gesamtheizwärmebedarf/ m^2 auch mit (im Vergleich zum Einfamilienhaus mit 40cm Dämmstoffdicke) wesentlich geringeren Dämmstoffstärken zu erreichen.

9.1.6.1. Eck und Randwohnungen

Dabei gibt es im großen Volumen innen liegende Wohnungen, die fast gar keinen Heizwärmebedarf mehr ausweisen, während sich Randwohnungen (Dachgeschossecke) unter Umständen kritischer verhalten als das Einfamilienhaus, da ja im klassischen Passivhaus (mit reiner Luftheizung) mit der Luft nur eine sehr geringe Wärmemenge in den jeweiligen Raum eingebracht werden kann. Hat ein Raum also viele Außenflächen, dann kann es sein, dass die mit der Luft einzubringende Wärmemenge nicht ausreicht.

9.1.6.2. Verluste nach innen

Zusätzlich muss im Geschosswohnbau beachtet werden, dass es unbeheizte Nachbarwohnungen geben kann, gegen die dann auch noch ein Wärmeverlust zu verbuchen ist.

Selbstverständlich könnte man einen großen Geschosswohnbau ebenso ausführen wie ein Einfamilienhaus, rundherum mit 40-50 cm Dämmung, und auch alle Trennwände und Trenndecken zu anderen Wohnungen mit entsprechend niedrigem U-Wert. Die Energieeinsparungen im Vergleich zum Mehraufwand an Material sind aber bescheiden, und die gesamte thermische Verbesserung der inneren Trennwände und Trenndecken wäre nur für den Ausnahmefall vonnöten, im Normalfall erfüllte sie keinen Zweck.

Es wurden daher in diesem Kapitel die verschiedenen Alternativen zu der vorab beschriebenen Vorgangsweise untersucht.

9.1.6.3. höhere Anforderungen an den Raum

Üblicherweise wird im Passivhaus von einer Raumtemperatur von 20° ausgegangen. Es häufen sich jedoch Nutzerwünsche nach 23° Raumtemperatur, die im Standardgebäude angenommene Fensterfläche von 25% der Nutzfläche der Aufenthaltsräume ist, wie im Kapitel Tageslicht beschrieben, nicht gerade großzügig bemessen, da sie im städtischen Umfeld Gebäude stark verschattet sein können. All diese Faktoren verschärfen bei Randwohnungen im DG und EG die Anforderungen. Es ist daher notwendig den Handlungsspielraum auszuloten und Möglichkeiten zu erkunden.

9.1.6.4. Handlungsspielraum Heizlast/Wärmeträger Luft

Es wurden zahlreiche Varianten für Wohnungen in Randlagen sowohl im EG als auch im DG berechnet. Dabei zeigte sich überraschenderweise kein gravierender Unterschied, die Wohnungen im EG weisen zwar gegen den Keller geringere Verluste auf als die Wohnungen im DG über die Decke gegen Außenluft, dieser Vorteil der EG Wohnungen wird aber durch die stärkere Verschattung wieder aufgehoben.

Es wurden zahlreiche Parameter wie Fenstergröße, Orientierung, Raumtemperatur, Anzahl der Außenflächen, Anzahl der unbeheizten Nachbarn, thermische Qualität der Trenndecken und Trennwände, U wert der Außenwand und Luftwechsel variiert, wobei als oberste Grenze für die Dämmstoffdicke der Außenwand 40 cm und als oberste Grenze für den Luftwechsel 0,52/h angenommen wurde.

Es konnte gezeigt werden, dass bei einem angestrebten Luftwechsel von 0,4/h für die meisten Varianten die Dämmstoffdicke nicht unter 40 cm sinken kann, und dass die Zusatzbelastung einer unbeheizten Nachbarwohnung ohne entsprechende thermische Aufrüstung der Trennwände und Decken gar nicht aufgenommen werden kann. Es gibt also sowohl Varianten in denen alles technisch mögliche (40 cm Dämmung, LW 0,52/h, Innendämmung an Trenndecken und Wände) ausgeschöpft werden müsste, um die Heizlast mit der Luft abdecken zu können also keinerlei Handlungsspielraum mehr besteht, als auch solche in denen die Heizlast definitiv nicht abgedeckt werden kann.

9.1.6.5. Optimierungen am Gebäude zur Entschärfung der Heizlastproblematik

9.1.6.5.1. Änderung der Dämmstärke

Durch eine unterschiedliche Aufteilung der Dämmstärken am Gebäude bei einem Passivhaus mit rein luftgebundenem Heizsystem könnten die Transmissionsverluste von Randwohnungen stärker minimiert werden als die der innenliegenden Wohnungen.

Die Dämmstärke entspräche dann in den Mittelgeschossen den Erfordernissen des jeweiligen Volumens, im Dachgeschoss und in den Gebäudeaußenecken wären Dämmstärken von 40 – 50 cm wie im Einfamilienhaus vonnöten.

Für die gestalterischen Änderungen wurde 2 Lösungsvorschläge erarbeitet.

9.1.6.5.2. Änderung der Form, Minimierung der Oberfläche

Als zweite Maßnahme, die am Gebäude möglich ist, stellt sich die Minimierung der Oberfläche durch abgeschrägte oder abgerundete Ecken dar, oder auch durch die Minimierung der Wandstärke (Vakuumdämmung oder Holzaufbau statt Ziegel od Beton plus Vollwärmeschutz)

Gegenüber der Ausgangsvariante können nun in den erstellten Varianten zur Form Einsparungen bei der Heizlast bis zu 10 % erzielt werden, beim Heizwärmebedarf sogar bis zu 20 %. Die äußerste Variante 4 stellt allerdings auch eine deutliche Einschränkung in der räumlichen Qualität dar.

Am bemerkenswertesten und für die Zukunft am interessantesten ist sicherlich die Variante mit den abgerundeten Ecken. Sie stellt, zumindest was den Übergang Wand- Decke betrifft

kaum eine Beeinträchtigung dar, da sich die Rundungen über 2m Raumhöhe befinden. Die Einsparung in der Heizlast beträgt 7%.

Die erstellten Varianten zur Wandstärkenminimierung bringen ähnliche Ergebnisse, eine Einsparung in der Heizlast von fast 10 %.

Wenn die Maßnahmen der Formoptimierung und der Wandstärkenoptimierung kombiniert werden, so steigt das Einsparungspotential und der Handlungsspielraum um 15 bis 20%.

In technischer Hinsicht scheint durch die möglichen Maßnahmen Erhöhung der Dämmstärke, Formoptimierung und Bauteiloptimierung das Problem Heizlast nur mühsam zu bewältigen zu sein.

In formaler Hinsicht jedoch leitet das neue hochenergieeffiziente Bauen unter Umständen eine Epoche ein, in der Gebäude abgerundet und "windschlüpfrig" wie Autos werden könnten, nicht aus dem formalen Wunsch nach einer expressiven Geste heraus, sondern als Folge der wissenschaftlichen Erkenntnisse energieeffizienten Bauens.

9.1.6.6. Haustechnische Möglichkeiten zur Entschärfung der Heizlastproblematik

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Heizlast in exponierten Wohnungen zum Teil durch kleine innen liegende Heizflächen und ein einfaches wassergeführtes System abgedeckt werden kann. Diese Technik stellt momentan den sinnvollsten Weg dar und gewährt Risikominimierung und Handlungsfreiheit in Randwohnungen eigentlich ohne Mehrkosten, da der sonst erforderliche erhöhte Dämmstandard gegenüber Nachbarwohnungen entfallen kann.

9.1.6.7. Conclusio Heizlast

Es soll jedenfalls abschließend festgestellt werden, dass hinsichtlich der Heizlastproblematik in großen Volumina noch Optimierungsmöglichkeiten und Entwicklungsbedarf besteht.

9.2. Ergebnisse Tageslichtoptimierung

Im Kapitel Belichtung sollte die Tageslichtversorgung in Passivhäusern einer genaueren Betrachtung unterzogen werden, die Auswirkungen der Passivhausbauweise auf die Tageslichtversorgung von Aufenthaltsräumen anschaulich gemacht werden, die nach momentan herrschenden Baugesetzen errichtet werden. Es sollte der Versuch unternommen werden, einen neuen Standard zu definieren und Forderungen für die Änderung der Gesetze aufzustellen.

Weiters wurden alle veränderbaren Parameter an einem Fenster einer vergleichenden Betrachtung (mittels Simulation und Modellmessung) unterzogen.

9.2.1. Einflüsse auf den Belichtungscomfort in Wohnräumen

Neben der Größe der verglasten Fläche als wichtigstem Faktor gibt es noch zahlreiche andere wesentliche Faktoren, die auf die Qualität der Belichtung in einem Raum Einfluss nehmen. Sie werden zumeist grob unterschätzt oder überhaupt vernachlässigt.

Die inneren Einflüsse ergeben sich unter anderem aus Helligkeit und Farbe, Reflexionsgrad, lichtlenkenden Elementen, Lage des Fensters, Anzahl der Lichtöffnungen, Transmission und Absorption. Dazu zählt zum Beispiel die Beschaffenheit des Bodens, vor allem in Fensternähe. Hier kommen die Eigenschaften Helligkeit (bestimmt durch Reflexionsgrad) und Farbe des Bodenbelages zur Geltung. Sichtschutzvorhänge wiederum können leicht die Hälfte des einfallenden Lichtes schon im unmittelbaren Fensterbereich verschlucken. Natürliche lichtlenkende Elemente sind helle Fensterbänke, helle Fensterleibungen, eventuell helle Jalousien im Besonnungsfall (wenn nicht ganz geschlossen), helle Balkon- und Terrassenbeläge sowie helles Mobiliar in unmittelbarer Fensternähe.

Die Himmelsrichtung, zu welcher der Raum orientiert ist, ist bei sonnigem Wetter von großer Bedeutung. Bei Sonnenschein haben wir im Sommer an einer Südfassade bis zu 100 000 Lux, im Freien gemessen, zu erwarten, während wir zum gleichen Zeitpunkt an der Nordfassade nur um die 20 000 Lux messen können.

Fremdverschattung, also Versperrung der freien Sicht zum Himmel durch gegenüberliegende Verbauung kann massive Verminderungen der Tageslichtmengen bedeuten.

Eine nicht unerhebliche Beeinträchtigung der Belichtung ergibt sich auch durch die Eigenverschattung am Gebäude. Sowohl Balkone als auch seitlich vorspringende Gebäudeteile können die Belichtung eines Raumes stark beeinträchtigen.

9.2.2. Versuch einer Definition: zeitgemäßer Belichtungsstandard in Wohnräumen

Mit der Passivhausfenstertechnologie (sehr hoher Wärmeschutz, sehr hohe Dichtheit) müssen erstmals bei der Dimensionierung von Fenstern nicht mehr Belichtungsanforderungen gegen negative Eigenschaften abgewogen werden (kein Kondensat, kein Kaltluftabfall, keine Zugerscheinungen)

Neben der Anforderung sich vor dem Klima zu schützen geht es heute ebenso intensiv darum, Licht und Klima von draußen im wahrsten Sinne des Wortes nicht "aus dem Auge" zu verlieren.

Diesen Änderungen tragen zumindest die Baugesetze in Österreich noch keine Rechnung.

Innovative Ansätze gehen seit einigen Jahren in Richtung Festlegung von erforderlichen Tageslichtquotienten für Wohnräume.

Dies kann in der Zukunft ein guter Weg sein, ob er heute schon beschreitbar ist möchten wir an dieser Stelle stark in Zweifel ziehen.

Wie wir in unseren Vergleichen zwischen Messung und Simulation leider herausfinden mussten, ist eine ausreichende Übereinstimmung zwischen Simulationsprogrammen untereinander, zu den Messungen und eine Übereinstimmung der Messungen an unterschiedlichen bedeckten Tagen nicht ausreichend gegeben.

Ob punktuelle Messungen (die zeitaufwändig und teuer sind) die geeignetste Methode darstellen, die durchschnittliche Belichtungsqualität von Wohnungen festzustellen und Wohnanlagen untereinander vergleichbar zu machen, sollte in der nahen Zukunft Thema eingehender Diskussionen unter Fachleuten sein.

Für die Gegenwart scheint es daher, dass die verlässlichsten Methoden für die Definition einer guten Tagesbelichtung in Definitionen der Raumgeometrie und Fensterbeschaffenheit, in den Verhältnissen zwischen Raum- und Fensterdimensionen, sowie in der Definition von zulässigen äußeren Verschattungen liegen.

Prinzipiell halten wir die generelle Unterteilung der Forderungen aus der DIN 5034 nach Sichtverbindung, Helligkeit, Blendung und Besonnung für sinnvoll.

Ausgehend von den derzeitigen Forderungen aus der DIN 5034, die für Wohnräume in etwa eine Fenstergröße von 20 % der Nutzfläche ergibt sollte folgendes unbedingt beachtet werden:

- nur die Nettoglasfläche der Bewertung unterziehen.
- Erhöhung der derzeitigen Vorgaben der DIN um einen Faktor 1,5 um die Verminderung des Lichttransmissionswertes von zukünftigen 3fachVerglasungen auszugleichen.
- Verschattung durch Nachbargebäude : Den in Österreich praktizierten ausreichenden Lichteinfallswinkel von 45° halten wir für zu hoch. Anzustreben wäre eine maximale Verschattung von 30° oder ein Verhältnis Abstand/Höhe von 2:1.

- Zuletzt kann auch nicht davon ausgegangen werden, dass alle Wohnräume und Möbel hell gehalten sind. Auch für eventuell niedrigere Reflexionsgrade müsste von vorneherein ein kleiner Puffer eingeplant werden.

Betrachtet man nun die Anforderungen aus DIN 5034 mit ihren in etwa 20 % der Nutzfläche und wendet man die vorher angeführten Punkte zusätzlich an, so erhält man in etwa die Forderung nach einer **Nettoglasfläche** von 25% von der Nutzfläche des Raumes, was bei großen Glasteilungen und teilweisen Fixverglasung einer Rohbaulichte von 30% -35% der Nutzfläche des Raumes entspricht.

Einschränkungen aus Verschattung durch Balkone sind gesondert zu bewerten, generell ist von der üblichen Balkonauskragung von 1,5 M abzugehen. Vorschläge zur lichttechnisch sinnvollen Ausbildung von Balkonen finden sich in Kap. 4.

Die Verschattung durch Nachbargebäude sollte auf 30 ° abgemindert werden, in dicht verbauten Gebieten könnten Speziallösungen wie hoch reflektierende Fassadenbeschichtungen, Terrassenbeläge und Fußbodenmaterialien überlegt werden.

Die Summe dieser Maßnahmen sollten uns für den Wohnbereich auch unter zukünftig veränderten Verglasungsbedingungen Standards bringen, die heute im Bürobau für Arbeitsplätze bereits Gültigkeit haben.

9.2.3. Vergleiche zwischen Messungen und Simulationen

Eine Übereinstimmung der Ergebnisse der Programme relux, superlite und mehrerer Tageslichtmessungen unter echtem, bedeckten sowie künstlichem "Normhimmel" konnte nicht in ausreichendem Maße hergestellt werden.

Lediglich die Simulationen mit superlite weisen in den Bereichen ab 1,5 m Raumtiefe gute Übereinstimmung mit Messungen unter künstlichem hergestelltem "bedecktem Normhimmel" auf.

Am Interessantesten für die allgemeine Forschung schien jedoch die Tatsache, dass die Messung unter künstlichen Bedingungen doch stark von der Messung unter freiem Himmel abweicht, und dass vor allem auch die Messungen unter freiem Himmel, die an zwei unterschiedlichen bedeckten Tagen im Frühling stattfanden deutlich voneinander abweichen.

Im fensternahen Bereich stimmen die Ergebnisse aller 4 Messungen gut überein. In der Raumtiefe allerdings weisen die Messungen unter freiem Himmel deutlich bessere Werte auf.

Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Leuchtdichtevertelung des bedeckten Himmels durchaus Unterschiede aufweist.

Für die Zukunft der Gebäudebewertung würde dies bedeuten, dass nicht einfach an irgendeinem Tag mit bedecktem Himmel gemessen werden kann sondern dass die für eine Messung erforderliche Leuchtdichtevertelung des Himmels definiert werden müsste, will man vergleichbare Ergebnisse und objektive Bewertungsgrundlagen erstellen.

9.2.4. Optimierung der Glasfläche/ m² Fenster

Das Fenster ist im Vergleich zur opaken Außenwand ein Bauteil mit deutlich schlechterem U-Wert. Diese Tatsache erfährt eine Relativierung dadurch, dass ein Fensterbauteil nicht nur Verluste sondern auch Gewinne aufweist, die teilweise sogar die Verluste deutlich überwiegen können. Das Fenster ist sozusagen ein dynamischer Bauteil, dessen Effizienz von wesentlich mehr Faktoren abhängt als dies bei der opaken Wand der Fall ist.

Ziel muss in jedem Fall die Maximierung des Glasanteiles sein.

Klar ist, dass die Größe der Rohbauöffnung einen maßgeblichen Einfluss auf das Verhältnis zwischen Rahmenanteil und Glasanteil eines Fensters hat. Wie hoch der Rahmenanteil jedoch ist, dessen sind sich Auftraggeber selten, ja selbst die Planer oft nicht wirklich bewusst.

Fenster mit einer Größe unter einem M^2 weisen z.B. in Passivhausbauweise bei üblicher Profilstärke einen Rahmenanteil von über 50% auf. Selbst bei einer Fenstergröße von $2 m^2$ ist der Rahmenanteil erst unter 40 % gesunken.

Werden Fenster mit speziell schmalen Rahmenprofilen verwendet, so sehen die Werte besser aus, aber ein Rahmenanteil unter 30 % ist auch hier kaum zu realisieren.

Um dies zu erreichen muss zu Fixverglasungen gegriffen werden, bei großen Formaten sind dann Rahmenanteile unter 20 % realisierbar.

In der Sanierung zum Passivhaus muss ebenso auf die Art des Fenstereinbaues geachtet werden.

Das Abschlagen des Leibungsverputzes und ersetzen durch eine abnehmbare, hochreflektierende Verkleidung mit minimaler "Einbauluft" des Fensters ist – wenn die Belichtungsverhältnisse vor der Sanierung als ausreichend bis gut einzustufen waren, jedenfalls zu empfehlen.

Dadurch können deutliche Vergrößerungen der Glaslichte um 12% bis 25% erzielt werden.

9.2.5. Optimierung der Leibung

Von der Optimierung der tiefen Leibung bei Passivhäusern haben wir uns viel erwartet. Es wurde daher ein Modell gebaut und unterschiedliche Leibungsvarianten in der Realität gemessen. Das Ergebnis war einerseits enttäuschend, andererseits beruhigend:

Prinzipiell – und das ist die wichtigste Erkenntnis – ist ablesbar, dass ein höherer Glasanteil eine Steigerung des Tageslichtquotienten bewirkt, sei sie auch noch so klein. Da die verschiedenen Leibungsvarianten nur geringfügige Unterschiede in der gemessenen Tageslichtmenge aufweisen, erscheint es nicht sinnvoll, irgendwelche Lösungen mit erhöhtem technischen Aufwand umzusetzen, wie zum Beispiel eine Abschrägung der Leibung.

Gerade Leibungen können fast ebenso gut sein, wenn sie weiss sind und daher einen Großteil der auffallenden Lichtmenge reflektieren. Diese einfachen Maßnahmen, wie etwa die weiße Färbung von Leibung und anderen Fensterbauteilen und die dadurch erzielten erhöhten Reflexionswerte führen zu kostenneutralen, leichten Verbesserungen.

9.2.6. Vergleichende Tageslichtbewertung für ein $12 m^2$ Zimmer in der Simulation

In der Simulation konnte belegt werden, welchen großen Effekt die 3fachVerglasung auf die Verminderung der Tageslichtqualität hat.

In der Sanierung gelingt es selbst mit Optimierung des Einbaudetails und Minimierung des Rahmenprofils nicht, die Verschlechterung durch den geringeren Lichttransmissionskoeffizienten auszugleichen, obwohl auch hier erkennbar ist, dass jede Vergrößerung der Glasfläche den besten und direktesten Einfluss auf die Verbesserung der Belichtungssituation im Raum hat. Lediglich der Abbruch des Parapetes und die Herstellung eines sog. französischen Fensters zeigt knapp gleich gute Werte wie vor der Sanierung.

Generell muss gesagt werden, dass Fenster möglichst hoch (ohne Sturz) und möglichst breit gelagert angelegt werden sollten um maximale Ausleuchtung zu erzielen.

Ist jedoch eine Öffnung im Sanierungsfall vorgegeben und nicht verbreiterbar, so stellt das Ausbrechen des Parapetes eine deutliche Verbesserung dar.

Erwähnenswert aus der Menge der gerechneten Varianten ist noch die mit geringerer Wandstärke, bei der jedenfalls eine leichte Verbesserung zu erzielen ist.

9.2.7. Lösungen für Wohnräume mit unzureichender Tageslichtversorgung

Zuletzt wurde ein Wohnraum untersucht, dessen Tageslichtversorgung schon vor einer eventuellen Sanierung zum Passivhaus mit einer normalen Verbundverglasung unzureichend war.

Hier wird eine Variante vorgestellt, (mit ausgebrochenem Parapet) die das Fenster aus der "auf Wand" Lage nach vorne in die Dämmebene verschiebt, und so eine deutliche Vergrößerung der Glasfläche mit teilweise Fixelementen ermöglicht.

Der Glasflächen und damit der Lichtgewinn ist groß: die Glasfläche kann von ursprünglich 3,4 m² auf 6,11 m² angehoben werden, bei Beibehaltung der Rohbaubreite. Der Tagelichtquotient in 2m vom Fenster kann von 1,7% auf 3,4 % also um 100% angehoben werden. Die Maßnahme ist kostenintensiv, aber in Fällen mit zu geringer Tageslichtversorgung unter Bedachtnahme auf die Dauer des Bestandes mit Sicherheit die richtige Entscheidung.

9.2.8. Conclusio Fenster

Wenn saniert wird, wird viel Geld investiert und ein neuer Zustand hergestellt, der zumeist für weitere 25 Jahre besteht. Diese Tatsache sollte bei einer Sanierung nie aus dem Auge verloren werden. Dass moderne Fenster eine andere Technologie haben als alte ist allgemein klar. Dass aber dieser neuen Technologie auch in Fensterteilung, Profilansichtsbreite und Einbauart entsprochen werden sollte ist derzeit noch nicht gängige Praxis. Wichtigsten Einfluss auf die Menge an Tageslicht im Raum hat sicher die Maximierung der reinen Glasfläche.

9.3. Ergebnisse wohnungseigener Freiraum

9.3.1. wozu?

Klar ist, dass das Einfamilienhaus keine nachhaltige Siedlungsform darstellt und sei es auch noch so "passiv" gebaut.

Wir glauben, dass es durchaus entscheidend für die Zuwendung größerer Teile der Bevölkerung zu verdichteten Wohnformen ist, ob es gelingt, manche Aspekte des Einfamilienhauses wie z.B. den wohnungseigenen Freiraum in guter Qualität auch im verdichteten Wohnbau anzubieten.

Fast alle wesentlichen Qualitäten des Eigengartens (mit Ausnahme der größeren Nutzungsvielfalt) können mit wohnungseigenen Freiraum, mit Balkon oder Terrasse ausreichend substituiert werden.

Physiologisch ist der wohnungsnahe Außenraum deshalb so wichtig, weil er hilft, einen Teil der im Innenraum eingeschränkten Lebensgrundlagen kurzfristig zu ergänzen und zu verbessern: Frischluft, komplettes Strahlungsspektrum (UV), Zenitlicht: Aufenthalt unter freiem Himmel, Kreislaufanregung durch Temperaturveränderung.

9.3.2. Einschränkung der Größe des Balkones

Ein Balkon hat immer Auswirkungen auf das darunter liegende Geschoss. Zum Teil können diese Auswirkungen positiv sein- wie z.B. die Tatsache, dass ein Balkon für das darunter liegende Geschoss einen Sonnenschutz darstellt, zumeist sind es aber negative Faktoren.

Im Wohnbau geht es also immer um ein Abwägen:

Wie viel Platz bekommt der Freiraum der oberen Wohnung und

wie viel Einschränkung für die untere Wohnung ist zumutbar??

Das freie Blickfeld in alle Richtungen mit Fokus unendlich, wird während des Aufenthaltes in Innenräumen eingengt. Dieser Fokus unendlich (scharf stellen auf weit entfernte Objekte)

ist aber gerade in Innenräumen als Gegensatz zum (erzwungenen) fokussieren nahe gelegener Objekte zum Entspannen der Augenmuskulatur essentiell.

Jeder Sturz, jede auskragende Balkonplatte schränkt den durch den Raum gegebenen möglichen Blickfeldausschnitt zusätzlich ein.

Wenn diese Einschränkung auf ihre negativen Auswirkungen untersucht wird, zeigt sich, dass es einerseits um die Gleichmäßigkeit des Blickfeldes bei horizontalem Blick geht, andererseits darum, dass sowohl nach unten als auch nach oben eine Blickrichtung möglich ist, die eindeutig von der Horizontalen abweicht.

Für die Eindeutigkeit der Richtungsänderung (ich schaue eindeutig nach oben und nicht geradeaus) scheint es eines gewissen Maßes zu bedürfen. Wir vermuten hier einen Winkel von mindestens 12° .

9.3.3. Reduktion von Besonnung und Strahlungsgewinnen

Um durch einen Balkonüberstand **keine** Verluste der solaren Einstrahlung am Fenster zu bekommen, müsste ein Winkel von ca. $43,5^\circ$ zur Horizontalen gemessenen eingehalten werden. Dies lässt keine sinnvolle Balkonanordnung zu.

Möchte man einen Balkon als Freiraum verwenden muss man bei der energetischen Performance jedenfalls eine Abschwächung in Kauf nehmen.

Wir sind jedoch der Meinung, dass zugunsten der Wohnqualität dem wohnungseigenen Freiraum und damit einer gewissen Verschlechterung der Performance jedenfalls der Vorzug gegeben werden muss.

Dieser Mehrbedarf an Energie muss z.B. durch eine thermische Verbesserung der Gebäudehülle wieder ausgeglichen werden.

9.3.4. Einschränkung der Belichtung der Wohnung darunter

Die Größe eines Balkons wird nicht zuletzt dadurch eingeschränkt, dass er im Normalfall im Geschosswohnbau einen wesentlichen Einfluss auf die Belichtungsverhältnisse im Raum darunter hat. Diese Tatsache steht der optimalen Nutztiefe diametral entgegen. Je tiefer ein Balkon ist, d.h. desto mehr Freiheiten und Möglichkeiten der Nutzung bietet er, desto stärker ist aber auch die Verschlechterung der Belichtungsverhältnisse im darunter liegenden Raum. Es muss daher in jedem Fall nach einem Kompromiss gesucht werden, bzw. nach einer Lösung, die auf alternative Weise eine Optimierung der widersprechenden Parameter ermöglicht.

9.3.5. Lichtsimulation für Wohnräume unter Balkonen

9.3.5.1. Angestrebte Werte für den Innenraum

Eine auskragende Balkonplatte von 1,1-1,2 Meter wurde bisher üblicherweise, was den Ausblick und die Belichtung betrifft, nicht als Beeinträchtigung empfunden. Dies entspricht den praktischen Erfahrungen im Architekturbüro und verschiedenen Nutzerbefragungen.

Als weitere Referenz könnte noch eine Abminderung der Belichtungsqualität des unbeschatteten Raumes dienen. 70 % der Belichtungsqualität dieses unverschatteten Raumes würden wir als Forderung aufstellen.

Diese Werte stimmen auch mit den oberen Werten aus der konventionellen Bauweise gut überein. Sie gelten für uns in weiterer Folge als Referenz.

Hinsichtlich der Nutztiefe sehen wir eine Nettonutztiefe von 1,8 m von der Außenwandaußenfläche, dies entspricht also bei einer Wandstärke von 50 cm: 2,3 m von der Außenwandinnenfläche als notwendig an. In unseren Berechnungen haben wir immer die Auskragung von der Außenwandinnenfläche angegeben, da die Dicke der Außenwand bei leichten, nichttragenden Konstruktionen– mit gleichzeitigem Nutztiefengewinn– auch dünner ausgeführt werden könnte.

9.3.5.2. Höhersetzen

Bei dieser Maßnahme wird der Balkon gegenüber dem Innenraum um 40 cm angehoben. Die Fensterbank wird verbreitert als Sitzbank auf +40 cm im Wohnraum ausgeführt, sie leitet direkt über in die Ebene des Balkones.

Die Maßnahme Höhersetzen ist nach unserer Meinung die vielversprechendste Maßnahme für den kompakten Passivhauswohnbau überhaupt. Sie löst erstmals das Dilemma und ermöglicht großzügiges Wohnen im Freien. Die gestellten Anforderungen an die Belichtung werden leicht eingehalten, die Nutztiefe beträgt 1,8m über die gesamte Fassadenbreite. Wie in weiterer Folge beschrieben wird, sind hier sogar noch Steigerungen möglich.

9.3.5.3. Seitliches Versetzen

Als weitere Möglichkeit der Optimierung, um der schlechten Lichtperformance durch eine normale Balkonauskragung von 2,3m entgegen zu wirken, wurde das seitliche Versetzen der Balkone untersucht. Dafür haben wir in Schritten von 0,8m den Balkon zur Seite verschoben.

Durch das seitliche Versetzen des Balkons zum verschatteten Fenster lässt sich zwar die Belichtung im betrachteten Raum verbessern, allerdings sind deutliche Steigerungen erst mit einem Versetzen von $\frac{3}{4}$ der Breite möglich. Die Ergebnisse sind insgesamt enttäuschend und schlechter als erwartet. Lediglich die letzte Variante kann knapp die gestellten Anforderungen erfüllen.

9.3.5.4. Zwei Ebenen

Eine andere Möglichkeit, die versucht, zumindest in einem minimalen Teilbereich des Balkons das Niveau des dahinterliegenden Raumes nicht zu verlassen, liegt in der Ausführung zweier Ebenen. So wird der Zugang zum Balkon auf Niveau $\pm 0,0$ m belassen und die Sitzflächen auf +0,4m angehoben, wodurch die Verschattung durch den Balkon reduziert werden kann.

Alle untersuchten Varianten bringen kein überzeugendes Ergebnis.

9.3.5.5. Zweimal höhersetzen

Da das Höhersetzen sich als so gute Variante herausgestellt hatte, sollte hier versucht werden, wie weit dabei noch weiter gegangen werden kann und ein "richtig großer" Balkon hergestellt werden kann. Den Verfassern ist bewusst, dass das zweimalige Höhersetzen natürlich auch eine Lösung für das Balkongeländer erfordert. Darauf muss bei dieser Variante geachtet werden, und auch darauf, dass man sich von innen aus nicht zu tief unten fühlt.

Alle Varianten scheinen uns für den verdichteten Wohnbau der Zukunft sehr interessant. Es können großzügigste Balkone geschaffen werden, die in ihrer Größe schon an Schiffsdecks erinnern. Dies kann erreicht werden durch eine Höherstaffelung des Balkons in zwei Schritten in Kombination mit einer Vergrößerung des Fensters auf mind. 30 % der Nutzfläche des Raumes.

9.3.5.6. Städtebauliche und Typologische Konsequenzen

Während der Simulationen waren wir negativ überrascht, wie schwierig es ist, Belichtung und Balkon in Einklang zu bringen. Dabei gehen die simulierten Varianten allesamt von einer Annahme ohne Nachbarverschattung aus, wie sie im dichtverbauten Gebiet allerdings nicht die Regel ist. Wir mussten uns also fragen, wie weit Erdgeschosswohnungen überhaupt mit Wohnraumtiefen von 7m ausgestattet werden können, bzw. ob es überhaupt möglich ist, über Erdgeschosswohnungen Balkone anzuordnen. Die Ergebnisse der Simulationen, soweit sie eine Verschattung durch Nachbargebäude berücksichtigen, haben allerdings insofern Interpretationsbedarf, da die Reflexionen durch Nachbargebäude vom Programm nicht berücksichtigt werden können. Die Ergebnisse sind also mit Resultaten durch sehr dunkle Nachbargebäuden vergleichbar. Wenn Nachbargebäude allerdings helle Farbe besitzen, so sind die (positiven) Reflexionswirkungen in der Realität deutlich messbar. Eine weiße Wand

besitzt einen Reflexionsgrad von 80%, durch die zunehmende Verschmutzung sinkt der Wert allerdings kontinuierlich ab.

Betrachtet man die Ergebnisse, wird deutlich, dass eine Kombination aus Nachbarverschattung mit 45° wie in der Bauordnung erlaubt, Balkonverschattung und großer Raumtiefe im Erdgeschoss eindeutig zu untragbaren Belichtungssituationen führt. Eigentlich kann gesagt werden, dass generell eine Verschattung von 30°, d.h. ca. ein Verhältnis von 1:2 (Höhe zu Breite), nicht nur aus solartechnischer Sicht nicht überschritten werden sollte. Es lässt sich mit Sicherheit annehmen, dass bei dieser Höhe des Nachbargebäudes und nicht zu großer Raumtiefe auch ein Balkon über dem EG angeordnet werden kann.

9.4. Ergebnisse professionelle Bauwerksbegrünung

Unter dem Begriff Bauwerksbegrünung werden üblicherweise Dachbegrünung, Fassadenbegrünung und Innenraumbegrünung zusammengefasst. Wie den Definitionen und Grundlagen in den folgenden Kapiteln zu entnehmen ist, gibt es Überschneidungen zwischen den einzelnen Begrünungsarten.

9.4.1. ökologische Aspekte

Die Sommerliche Überwärmung kann in dicht bebauten Innenstadtbereichen im Vergleich zur Umgebung im Sommer 4-6°C und im Extremfall bis zu 10 °C betragen.

Die ausgleichende Wirkung von begrünten Bereichen beruht auf Abkühlung durch Verdunstung und auf der Beschattung von erwärmbaren Oberflächen.

Aktuelle Daten aus Regenwassersimulationsprogrammen bestätigen einen Wasserrückhalt von bis zu 70% der Niederschläge, dabei sind eher die Aufbaustärke und Speicherkapazität des Substrates und nicht unbedingt der Schichtaufbau oder die Dachneigung entscheidend.

Pflanzen kommt eine große Bedeutung beim Festlegen und Abbauen von Luftschadstoffen zu (aus dem Straßenverkehr stammenden Schadstoffe Blei, Cadmium, Zink, Kobalt, Aluminium, Eisen, Platin und Antimon). Der Abbau der Schadstoffe erfolgt dabei überwiegend durch Mikroorganismen im Wurzelbereich, während für die Elimination von staubförmigen Luftschadstoffen die Blattmasse genauer gesagt die Blattoberfläche ein wesentliches Kriterium ist.

Die Anzahl verschiedener Arten von Lebewesen wird in Untersuchungen häufig als grobes Maß für den ökologischen „Wert“ einzelner Biotope herangezogen. Der Biotop Gründach ist im Vergleich zu ebenerdigen Standorten hinsichtlich seines Ressourcenangebots zwar instabiler, stör anfälliger und Umweltfluktuationen stärker ausgesetzt, die ökologische Bedeutung von üblichen extensiven Dachbegrünungen lässt sich allerdings bereits durch einfache Maßnahmen wie kleine Anhögelungen, Tothölzer, Feucht- und Trockenbereiche, Nistkästen für Vögel und Hautflügler (z.B. Hummeln) entscheidend verbessern.

Hinsichtlich der Verbesserung des U Wertes des Dachbauteiles konnten durch gezielte Forschung und Verbesserung der verwendeten Substratbestandteile in den letzten Jahren starke Verbesserungen erreicht werden. Die Werte hängen auch stark von der verwendeten Vegetation ab, und zwar davon, ob diese einen wirksamen Luftpolster ausbilden kann.

Ebenso wichtig wie die zusätzliche Wärmedämmung durch Gründachaufbauten ist die Dämpfung von Temperaturextremen und Schwankungen durch das Dachsubstrat. Zusammen mit mechanischen Schutz und Abschirmung von UV-Licht trägt diese wesentlich zur Verlängerung der Lebensdauer der Dachabdichtung bei.

9.4.2. Ökonomische Aspekte

In der bundesdeutschen Forschung konnte nachgewiesen werden dass Dachbegrünungen kostenneutral sind, da der Aufwand für Errichtung und Pflege durch die Minderkosten bei Dämmstoff, Reparaturkosten und die verlängerte Lebensdauer der Abdichtung aufgewogen

wird. Dabei sind die Minderkosten der städt. Kläreinrichtungen durch die Wasserretention noch nicht berücksichtigt.

9.4.3. Gesundheitliche Aspekte

Eine Untersuchung des Forschungslabors für Experimentelles Bauen an der Gesamthochschule Kassel und des Instituts für Hochfrequenz – und Radartechnik der Bundeswehruniversität München erwiesen eine Dämpfung von hochfrequenter Strahlung durch Dachbegrünung. Gründächer mit 15 cm Leichtsubstrat ergaben für die Frequenzbereiche von 1,8 bis 1,9 GHz des Mobilfunk-E- Netzes und der schnurlosen DEOT-Telefone eine Strahlungsdämpfung von etwa 22 dB = 99,4%.

Übertroffen werden diese Werte laut Bericht lediglich von einer Kombination aus Lehmgewölbe und Grasdach. Ein normales Ziegeldach kommt demgegenüber nur auf eine 50%ige Abschirmung.

Auch in der Gartentherapie die vermehrt in Altenwohnhäusern angeboten wird, können (Dach)gärten als wesentliche Elemente eingesetzt werden.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht summieren sich die positiven Effekte von Grünblick vor allem in geringeren Kosten für die Behandlung von Depressionen, raschere Genesungszeiten nach Krankheiten, gesundheitlichen Effekten in der Vorbeugung von Herz- Kreislauferkrankungen.

9.4.4. Fassadenbegrünung

Als Fassadenbegrünung wird die flächige oder teilweise Bedeckung von vertikalen Bauwerksoberflächen (Gebäudeaußenflächen, Mauern und Wänden) mit mehrjährigen Kletterpflanzen bezeichnet. Es werden Selbstklimmer, Schlinger und Winder an konstruktiven Rankhilfen und hängende Pflanzen unterschieden.

Bodengebundene Standorte können bis 24 m Höhe begrünt werden, darüber muss es Pflanzgefäße in den Geschossen geben.

Grundvoraussetzung für eine dauerhaft funktionierende Begrünung ist jedoch die optimale Abstimmung von zu begrünendem Gebäudeteil und Begrünungsform. Das heißt, dass geeignete Pflanzen mit geeigneten Kletterhilfen an dafür geeigneten Standorten gepflanzt werden und eine fortlaufende Pflege gewährleistet ist.

9.4.4.1. Vegetationsmodul

Wesentlich ist die Auswahl der richtigen Pflanzen, das Erkennen von einschränkenden Faktoren wie Standortbelastung, ungeeignete Bodenverhältnisse, Regenschattenlagen, rückstrahlende oder emittierende Bauwerke. Daneben muss auch am Boden auf das geeignete Substrat geachtet werden, oft muss der Boden ausgetauscht oder verbessert werden. Der erforderliche Wurzelraum muss von Anfang an mitgeplant werden. Die fehlende Beiziehung eines Fachplaners ist der häufigste Grund für das Scheitern einer Begrünung.

9.4.4.2. Technikmodul

Hier sind wesentlich die Abdichtung im Fundamentbereich und die Art der Kletterhilfen zu beachten. Der Abstand der Kletterhilfen zur Wand bzw. zwischen den einzelnen Drähten untereinander hängt im Wesentlichen von den ausgewählten Pflanzen ab. Er soll so groß berechnet werden, dass die Pflanzen artgerecht winden oder ranken können und Druckstellen vermieden werden. Wird der Abstand zu klein gewählt, kann die Pflanze ohne fremde Unterstützung nicht ranken.

Wesentlich zu beachten bei Klettergerüsten ist das Gewicht der zukünftig voll entwickelten Pflanze, für dessen Abschätzung es bisher kaum Unterlagen gab. Mittlerweile wird bereits ein Berechnungsprogramm für die Abschätzung von Pflanzengewichten im Internet angeboten, das äußerst hilfreich und gut strukturiert ist. Wichtig scheint der Hinweis, dass die sommerlichen Laubgewichte nur dann von statischer Bedeutung sind, wenn zusätzlich Windlasten zu vertikaler Belastung führen. Das ist vorrangig bei Kletterpflanzen an Seilen

abhängig vom Abstand der Windsicherung (Zwischenstützen) der Fall. Für die Statik wichtig ist das Wintergewicht von Begrünungen, das das Sommergewicht gegebenenfalls übersteigt.

Schäden an oder durch Fassadenbegrünungen treten fast ausschließlich auf, weil die Abstimmung von Pflanze und Bauwerk verabsäumt wurde. Als häufigste Beispiele sind hier das Zerquetschen oder Absprengen von Regenfallrohren durch Wisteria oder die Durchwurzelung von filmbildenden Beschichtungen (z.B. Dispersionsfarben) durch Efeu anzuführen.

Eine Direktbegrünung von modernen Gebäudefassaden (mit Selbstklimmern ohne Rankgerüst) ist heute aus Gründen einer präventiven Schadensverhütung in vielen Fällen nicht möglich. Es liegen keine Daten darüber vor, welches Risiko der Durchwurzelung oder Schädigung einer Vollwärmeschutzfassade angenommen werden muss, und ob bei mängelfreier Ausführung überhaupt ein Risiko besteht. Ob Pflanzen nur in der Fassade wurzeln wenn Kondensat ausfällt, welche Menge und Zeitspanne dazu gegebenenfalls erforderlich ist, ob Pflanzen auch auf Wasser in dampfförmiger Form in der Fassade reagieren, dazu gibt es (jedenfalls für moderne wärme gedämmte Fassaden) keine ausreichende Forschung.

9.4.4.3. Pflegemodul

Die Pflege, das ist die Fertigstellungshilfe, Entwicklungs- und Unterhaltspflege, Art und Qualität der Wasserversorgung, Umgang mit anfallender Biomasse, ist in der Planung zu berücksichtigen und während der Bestandsdauer der Begrünung durchzuführen. Der Aufwand ist gering, wenn er von kompetenten Fachleuten durchgeführt wird.

9.4.5. Dachbegrünung

In der Dachbegrünung werden Intensiv und Extensivbegrünungen unterschieden.

Extensivbegrünungen sind naturnah angelegte Vegetationsformen, die sich weitgehend selbst erhalten und weiterentwickeln.

9.4.5.1. Vegetationsmodul

Anders als bei der Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen steht für die verschiedenen Arten von Dachbegrünung prinzipiell eine größere Anzahl von geeigneten Pflanzen zur Verfügung.

In der Praxis ergeben sich jedoch immer wieder Standorte, die sich recht schwierig für eine dauerhaft funktionierende und optisch ansprechende Begrünung erweisen. Bekannte Beispiele für solche Situationen sind Extensivbegrünungen im Schatten oder üppige Intensivbegrünungen bei starker Windexposition oder wechselnden, extremen Lichtverhältnissen. In dem Kapitel stellen wir einige Beispiellösungen für schwierige Standorte dar. Darüber hinaus werden die einzelnen Pflanzsubstrate besprochen, Materialien für den Oberboden und Angaben zu den möglichen Einbringarten der Begrünung.

9.4.5.2. Technikmodul

Im Technikmodul wird hauptsächlich auf die Vermeidung von Schäden an der Dachhaut eingegangen. Die Ursachen für Schäden an der Dachhaut liegen zu 20% bei Planungsfehlern wie falsch dimensionierten Hochzügen, unpassendem Schichtaufbau, zu enger Lage von Durchdringungen

zu 50% bei Ausführungsmängeln wie Mängeln im Einbau der Materialien, mangelhafter Verschweißung der Wurzelschutzbahn, Beschädigung der Dachhaut bei der Arbeit, mangelnder Schutz der einzelnen Schichten während der Bauphase

zu 20% bei Bauschäden wie Beschädigungen der Dachabdichtung und unbedachten Manipulationen durch andere Gewerke

zu 10% bei sonstigen Ursachen, wobei Schäden durch Pflanzenwurzeln vernachlässigbar sind, da es sich im Allgemeinen um Folgeschäden handelt.

Weiters werden die neuesten technischen Daten zu den einzelnen Aufbauten zusammengestellt, ein geeigneter Schichtaufbau besprochen, auf Randausbildung und Brandschutz eingegangen.

9.4.5.3. Pflegemodul

Die gewünschte Vegetationsform aller Gründächer lässt sich auf Dauer nur durch eine fachgerechte Pflege sicherstellen. Mit der steigenden Zahl begrünter Dachflächen sind für Gründachhersteller Pflege- und Wartungsarbeiten wirtschaftlich interessant geworden. Neben der Anwuchs- und Fertigstellungspflege die auch bisher von den Ausführungsfirmen übernommen wurde, lässt sich (vorerst hauptsächlich in Deutschland) eine Tendenz zu Pflegeverträgen mit Fachfirmen feststellen. In den Verträgen werden 1-3 Pflegedurchgänge auf der Basis einer Checkliste durchgeführt. Musterverträge mit sinnvollen Pflege- und Wartungsarbeiten erleichtern die Vergabe der Arbeiten.

Darauf folgen Hinweise zur Ver- und Entsorgung, zur Regenwassernutzung und zum Pflanzenschutz, zum Erosionsschutz und zur Windsogsicherung.

9.4.6. Bepflanzung der wohnungseigenen Freiräume

Neben der Bedeutung des wohnungseigenen Freiraumes für den Wohnbau, der im Kapitel Freiraum nachgegangen wird, ist seine Bepflanzbarkeit von großer Bedeutung.

Bei der Begrünung wohnungseigener Freiräume gelten, soweit es sich um Balkone und Terrassen handelt, ähnliche technische und gestalterische Kriterien wie bei der intensiven Dachbegrünung.

Auf Balkonen muss hauptsächlich nach platzsparenden Begrünungsvarianten gesucht werden, die Sichtschutz, Windschutz und/oder Beschattung gewährleisten.

Wir bringen Beispiele welche Pflanzen man als "screens" verwenden könnte, als dünne, raumbildende Elemente, zum einen sind dies schmale Hecken, oder berankte Klettergerüste oder Netze, hängende Pflanzen oder Riesenstauden.

Formale Elemente auf Balkonen könnte man in Form von Solitärpflanzen hinzufügen, auch hier zeigen die Beispiele Schirm und Säule das Spannungsfeld von Wirkung und Platzbedarf.

In einem eigenen Kapitel wird auf Blüte, Duft und Geschmack eingegangen, Kriterien, die vielleicht in einem technischen Forschungsbericht seltsam anmuten, aber nichts weniger wichtig sind für den Komfort und die physische und psychische Gesundheit der NutzerInnen.

9.4.7. Fensterbeschattung mit temporärer Begrünung

Zuletzt wollten wir das Kapitel Bepflanzung mit einem handfesten bauphysikalischen Thema verbinden, dem der sommerlichen Überwärmung. Ost und Westfenster können anstelle eines außen liegenden Sonnenschutzes auch eine temporäre Bepflanzung erhalten, die gleiches leistet und individuell verändert (ausgeschnitten) werden kann. Beispiele für Pflanzen, Pflanzgefäße und Pflege werden angeführt.

9.4.8. Zeit/Entscheidungsplan

Für alle dargestellten Formen der Bauwerksbegrünung findet sich eine umfassende Zeit und Entscheidungsmatrix im Anhang. Es wurde versucht, alle erforderlichen Überlegungen darzustellen und die erforderlichen Entscheidungen dem Zeitplan nach Architektenplanungsfortschritt (Phasen Vorentwurf, Entwurf, Polierplan, Detailplan) zuzuordnen.

Wichtigste Aussage aus dem Kapitel Bauwerksbegrünung ist sicher, dass vieles kostengünstig machbar ist, wenn man rechtzeitig und in Verbindung mit der

Architektenplanung Fachplaner für die Bauwerksbegrünung bezieht. Da dies heute oft nicht oder erst sehr spät im Planungsverlauf der Fall ist, sind viele Begrünungen von Anfang an mit nicht adäquaten Bedingungen konfrontiert.

Darüber hinaus finden sich im Anhang für alle Formen der Bauwerksbegrünung entsprechende Pflanzlisten.

9.5. Ergebnisse Luftfeuchteoptimierung

Damit sich Menschen in Innenräumen gesund und behaglich aufhalten können, muss die Raumluft konditioniert werden. Dabei ist die Luftfeuchtigkeit neben der Temperatur und dem Schadstoffgehalt der Luft einer der wesentlichen Parameter.

Kaum ein Thema im Bereich des innovativen Bauens wird noch immer so kontrovers diskutiert.

Mit der Passivhaustechnologie ist nun erstmals eine Technologie entwickelt worden, mit der theoretisch alle techn. Rahmenbedingungen gegeben sind für eine Raumluftfeuchtigkeit, die sowohl den physiologischen Bedürfnissen des Menschen als auch der Schadensfreiheit des Gebäudes entsprechen kann.

9.5.1. Grundbegriffe, generelle Zusammenhänge

9.5.1.1. physikalische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die physikalischen Grundlagen ausführlich erörtert, da wir aus der Praxis im Architekturbüro wissen, wie wenig fundiertes Wissen bei Bauträgern, Nutzern und auch Planern zu dem Thema vorhanden ist. Am wesentlichsten ist hier die Erkenntnis, dass kalte Luft beim Erwärmen wesentlich trockener wird, umgekehrt warme Luft beim Abkühlen feuchter.

9.5.1.2. Grenzwerte für die Luftfeuchtigkeit in Wohnräumen

9.5.1.2.1. physiologische Grundlagen

Als wesentlichster Faktor wird immer wieder die Austrocknung des Flimmerepithels der oberen Atemwege bei trockener Luft angeführt. Warum dies nur für warme Innenluft, nicht aber für kalte Außenluft gilt, kann erklärt werden.

Daneben sind die negativen Auswirkungen trockener Luft auf Haut und Schleimhaut zu erwähnen, Nasenbluten, auch die Anfälligkeit für Hautreizungen bzw. -rötungen oder gar Hautentzündungen wird durch eine geringe Luftfeuchtigkeit erhöht.

Haare und Haut werden bei trockener Luft zunehmend spröde.

9.5.1.2.2. sekundäre Zusammenhänge in Innenräumen

Hier ist die unter 40% stark ansteigende elektrostatische Aufladung anzuführen, die abnehmende Elastizität von Materialien und Fasern (auch von Haut und Haaren), Museen konservieren bei 55%. Die Schimmelbildung hängt mit der Luftfeuchtigkeit nur insoweit zusammen als bei hoher Luftfeuchtigkeit die Gefahr der Kondensation an Bauteilen infolge mangelnder Wärmedämmung oder Wärmebrücken erhöht ist, und die Trockenzeit für durchfeuchtete Materialien erhöht wird.

Die Milbendiskussion ist kontrovers, dass mit sehr trockenen Raumkonditionen im Winter Milben vertrieben werden könnten ist nach unserer Meinung ein Trugschluss. Milben sind natürlicher Bestandteil des Ökosystems fast jeden Haushaltes, allergische Beschwerden erreichen üblicherweise ihren Höhepunkt im späten Herbst, bei Absenken der Luftfeuchtigkeit, weil die Milbenkotbällchen austrocknen, zerfallen und als Feinststaub aufgewirbelt und mit der Atemluft inhaliert werden.

9.5.1.2.3. Bewertung durch die Autoren

Es scheint einigermaßen klar ablesbar zu sein, dass eine Luftfeuchtigkeit von 40-60% für den Menschen in unserem Klima am optimalsten ist, wobei im Winter aus physiologischer Sicht eher die Obergrenze, im Sommer in Hinblick auf die Verminderung von Schwüle eher die Untergrenze anstrebenswert wäre.

Dafür sprechen die physiologisch begründeten Zahlen und die Tatsache, dass der Feuchtebereich (50-55%) auch in Museen zum "Frisch halten" angewendet wird.

9.5.1.3. Bauphysikalische Grundlagen

In diesem Kapitel wird neuestes bauphysikalisches Grundwissen zum Phänomen Schimmel an der Innenoberfläche von Außenbauteilen erläutert.

Wesentlich ist hier, dass in der Passivhausbauweise durch die hohe außen liegenden Wärmedämmung die Innenoberfläche von Wänden sehr warm bleibt, fast Raumtemperatur behält, was bisher im Bauwesen nie der Fall war.

Am Passivhausinstitut in Darmstadt wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, dass mit der Passivhausbauweise (ordnungsgemäße Ausführung vorausgesetzt) selbst unter ungünstigsten Bedingungen in Raumecken hinter Möbeln keine Temperaturen unter 15° mehr auftreten können und damit bei Luftfechtigkeiten bis 55% bzw. 60 % sicher kein Schimmel auftreten wird.

Aus den ausgiebigen bauphysikalischen Betrachtungen folgt als wichtigste Erkenntnis, dass die Passivhaustechnologie des hohen Wärmedämmens, des wärmebrückenfreien Konstruierens und der kontrollierten Wohnraumlüftung es erstmals wieder möglich macht, die aus physiologischer Sicht sinnvollen Raumlufffechtigkeiten anzustreben, ohne mit allfälliger Erhöhung des Schimmelrisikos in Konflikt zu kommen.

Nach Meinung der Autoren ist diese Entspannung der Schimmelproblematik durch die Passivhaustechnologie auch einer der wesentlichen Gründe, warum sich diese Technologie am Markt durchsetzen wird. (wenn die Wohnbauträger erst einmal die positiven Konsequenzen gesehen und als Potential für sich erkannt haben werden)

9.5.2. Raumluff im Spannungsfeld zu feucht, zu trocken

Mit einer Bauweise die eine Lüftungsanlage mit einschließt, kann die Luftfeuchtigkeit in Aufenthaltsräumen gesteuert werden. Sie ist damit nicht mehr eine Größe, die aus Bauweise und Lebensart zwangsweise resultiert, sondern ein Faktor der Behaglichkeit der Innenraumluff, der als Zielgröße definiert und mit den geeigneten Maßnahmen auch erreichbar ist.

9.5.2.1. Interne Feuchtequellen, Werte

Neben der Außenluft und dem Luftwechsel sind hauptsächlich die internen Feuchtequellen maßgeblicher Einflussfaktor auf die Raumlufffeuchtigkeit.

Zur Feuchteabgabe von Personen und Küche haben wir die entsprechenden Angaben aus der Literatur zusammengestellt, hinsichtlich zahlreicher Feuchte- und Trocknungsvorgänge im Bad haben wir eigene Versuche angestellt und aufgelistet, auch die Feuchtigkeit von Wäsche wurde in Versuchen überprüft. Alle Angaben sind im Kapitel aufgelistet.

9.5.2.1.1. Pflanzen

Die Unterlagen zu Pflanzen in Wohnräumen als interne Feuchtequellen haben wir umfangreicher zusammengestellt. Im Zuge der Recherche hat sich herausgestellt, dass die Angabe zu Pflanzen ziemlich grob und vage sind, und dass es kaum wissenschaftliche Messungen gibt.

Wir konnten lediglich eine Pflanze ausfindig machen – eine spezielle Züchtung der Pflanze *Cyperus alternifolius*, und zwar *Cyperus alternifolius* prima klima ®. Die Pflanze aus der Züchtung von Manfred Radtke ist nach unserem Wissen die einzige, zu der ausreichendes Datenmaterial zur Verdunstungsleistung in Abhängigkeit von Standort und Beleuchtung

vorliegen. Wir haben sie bereits in zwei Forschungsprojekten in die Planung integriert und nehmen auch in diesem Projekt auf die Pflanze aus der Züchtung von Manfred Radtke Bezug.

Um Pflanzen sinnvoll und haustechnisch berechenbar als Feuchtproduzenten einsetzen zu können müssen Pflanzen verwendet werden, die eine (relativ) fest definierte Verdunstungsleistung aufweisen.

Die Pflanzen müssen in ihrer Verdunstungsleistung durch Licht (und andere Klimaparameter) sicher zu steuern sein. Wichtig ist vor allem, dass die Pflanzen im Wesentlichen unabhängig von endogenen Rhythmen produzieren (keine Winterruhe etc.)

Aus den HrN. Radtke zur Verfügung stehenden Daten und zusätzlichen –speziell für das Forschungsprojekt themenwohnen Musik durchgeführten- Messungen der Pflanze unter Kunstlichtbedingungen wurde der Datensatz für eine Normcyperuspflanze zusammengesetzt. Dieser muss dann an die jeweiligen Lichtverhältnisse in einem raum angepasst werden.

9.5.3. Feuchtemanagement in der Passivwohnung

9.5.3.1. Statische Feuchtebilanz in der Passivwohnung

In diesem Kapitel haben wir in einer Wohnung mit einer Nutzfläche von 75m² den Feuchtebedarf und die inneren Feuchtequellen in Abhängigkeit unterschiedlicher Personenbelegungen und Nutzerverhalten miteinander verglichen. Es handelt sich dabei um eine grobe Abschätzung die auf realistischen Annahmen beruht um zu zeigen wie hoch der Feuchtebedarf in einer ausreichend gelüfteten Wohnung im Winter ist, und wie stark die Werte dank Belegungsdichte und Nutzungsintensität voneinander abweichen können.

Bei der Annahme Alleinerzieherin mit Kind stellt sich folgendes Ergebnis ein: Der Feuchtebedarf um 50 % Luftfeuchtigkeit bei dem minimalen Luftwechsel von 0,3/h durchschnittlich halten zu können, beträgt 7,94 (kg H₂O)/d wovon durch die inneren Feuchtequellen theoretisch 7,45 (kg H₂O)/d, gedeckt werden könnten. Das entspräche bei 100% gleichmäßiger und optimaler Feuchteverteilung eine Abdeckung des Bedarfes von ca.94%. Im Normalfall gelangen die Feuchtmengen aus Bad und Küche aber nicht in die Individualräume, die gleichmäßige Verteilung der Feuchtelasten in der Wohnung findet daher in keiner Weise statt. Das bedeutet, dass die inneren Feuchtequellen den Befeuchtungsbedarf auch bei günstigsten Annahmen nicht abdecken können.

In der Wohngemeinschaft mit 2 arbeitenden singles können durch innere Feuchtequellen nur 5,0 kg H₂O/d aufgebracht werden, was bei weitem nicht ausreicht.

Lediglich in der mit 4 Personen eigentlich überbelegten 75 m² Wohnung , in der 1 Person auch noch zu Hause arbeitet liegt der Feuchtebedarf unter den inneren Feuchtelasten. Auf Grund der Absaugung in Bad und WC kann aber auch hier davon ausgegangen werden, dass 50 % Luftfeuchtigkeit nicht erreicht werden können, wenngleich ablesbar ist, dass bei geringer Luftmenge und hoher Belegung und Anwesenheit wahrscheinlich ausreichende Bedingungen zu erwarten sind.

9.5.3.2. Feuchtebewahrung

Da die Erzeugung für Feuchtigkeit Energie verbraucht wäre es eigentlich energetisch am günstigsten, nicht nur Wärme sondern auch Feuchte zu bewahren.

Wir haben dafür 2 Beispiele erarbeitet, wie das in der Wohnung vonstatten gehen könnte. Einmal mit einer semipermeabel getrennten Zwischendecke im Bad, und einmal mit dem Einbinden eines Wäschetrockenschrankes in die Zuluft.

Darüber hinaus gibt am Markt bereits Geräte, die Wärme und Feuchte rückgewinnen können. Durch die spezielle Ausbildung des Enthalprierückgewinners als Rotationswärmetauscher ist auch eine gute Entkopplung zwischen sensiblen und hygri-schen Wärmerückgewinnung möglich.

Den Verfassern ist weiters die Entwicklung eines neuen Gerätes einer anderen Firma bekannt, die mit einer Membran ausgestattet sein soll.

Zur Feuchterückgewinnung ist generell anzumerken dass es im Wohnbau oft genügend innere Feuchtequellen gibt. Es wäre daher mit einer effizienten Feuchterückgewinnung jedenfalls möglich komfortable Feuchtebedingungen auch im Winter zu bewahren.

Im Bürobau jedoch, wo kaum nennenswerte innere Feuchtequellen existieren, kann mit der Feuchterückgewinnung nur ein Teil der erforderlichen Feuchteanhebung bewältigt werden.

Für die Zukunft sehen wir hier noch hohen Forschungsbedarf. Mit Sicherheit ist die Feuchtebewahrung eines der Themen der weiteren Zukunft.

9.5.3.3. Feuchterzeugung mit Pflanzen, Raumsimulation

Feuchtmessungen finden meist nur in Wohnräumen oder in der Abluft statt. Am kritischsten verhalten sich aber die Zimmer, da hier keine Feuchtigkeit durch das Kochen und Abwaschen anfällt wie in der Küche.

In diesem Kapitel wurde untersucht, welche Auswirkungen die Verwendung der Pflanze *cyperus alternifolius* in Individualräumen hat. Es wurden 2 Räume, 2 Stellungen der Pflanzen und 11 unterschiedliche Varianten untersucht. Dabei kann abgelesen werden, dass mit hochfeuchtespendenden Pflanzen sehr gute Ergebnisse erzielt werden können, dass aber sinnvoll und bewusst mit den Pflanzen umgegangen werden muss. Die Räume sollten etwas größere Fenster haben, damit die Pflanzen viel Tageslicht erhalten, die Pflanzen sollten im Hochwinter am Fenster stehen, in der Übergangszeit in der Tiefe des Raumes und im Sommer am Balkon. Im Kernwinter muss- will man die Feuchtigkeit um 45 % halten- teilweise zusätzlich beleuchtet werden. Gut ablesbar ist der positive, regulierende Einfluss von feuchteaktiven Oberflächen wie Lehm. Mit diesen können Feuchtespitzen deutlich verringert werden. Für die Zukunft wäre ein System in Kombination mit Feuchtebewahrung optimal, da dies am Energiesparendsten ist.

9.6. Ergebnisse Sanierungskonzept Pensionistenwohnhaus Penzing

9.6.1. Objektanalyse

Das Pensionistenwohnhaus Penzing, Dreyhausenstrasse 29, 1140 Wien ist 1974 eröffnet worden und wird vom Kuratorium Wiener Pensionisten-Wohnhäuser verwaltet.

Es handelt sich um einen 13-geschossigen Stahlbetonbau plus dreigeschossigem Zubau und Untergeschoss.

Die Regelgeschosse sind symmetrisch aufgebaut mit 20 Wohnungen pro Geschoss.

Die standardisierte Einpersonenzwohnung hat eine Nettonutzfläche von 33,04 m² inkl. einer Loggia mit 3,45 m², die Nutzfläche ohne Loggia beträgt also 29,59 m².

9.6.1.1. Datenerhebung

Das Pensionistenwohnheim ist gebaut in Stahlbetonbau-Schottenbauweise mit Parapetfertigteilen aus strukturiertem Beton. Die Fassade weist starke Vor- und Rücksprünge mit eingeschnittenen Loggien auf.

Am Objekt wurde seit 1974 einige Sanierungsmaßnahmen durchgeführt, u.a. wurde auch der Wohntrakt mit 5cm wärme gedämmt.

Die Bestandsaufbauten wurden in einem Lokalaugenschein erhoben.

9.6.1.1.1. Energieverbrauch

Fernwärmeverbrauch für Heizung für das Jahr 2003 ca. 2700 MWh.

Warmwasserverbrauch ca 550 Mwh/Jahr.

Gesamtfläche Wohntrakt Bestand: 12881 m², Servicetrakt Bestand: 3266 m², Gesamtfläche beheizt Bestand: 16150 m²

Daraus ergibt sich ein Wärmeverbrauch Heizung von durchschnittlich 167 kWh/m² Jahr

Die Abschätzung des Heizwärmebedarfes getrennt nach Wohntrakt und Servicetrakt ergab für den Servicetrakt einen Heizwärmebedarf im Bestand von 153 kWh/m², a und für den Wohntrakt einen Heizwärmebedarf im Bestand von 138 kWh/m², a. (exklusive Verteilverluste), dies trotz nachträglich aufgebrachtener Wärmedämmung.

9.6.1.2. Sanierungsbedarf und Sanierungswunsch

9.6.1.2.1. Energetischer Sanierungsbedarf

Der Wohntrakt weist trotz seines großen Volumens sehr schlechte Verbrauchswerte auf. Dies u. U. deswegen, weil er ein für sein Volumen sehr ungünstiges A/V Verhältnis von 0,26 besitzt. Insbesondere die Vor- und Rücksprünge der Loggia, sowie der Versatz der Wohnungen zueinander vergrößern die Hüllfläche.

Gebäude wie der Haupttrakt mit einem Volumen von über 50.000 m³ weisen, wenn sie kompakt gebaut sind, ein A/V Verhältnis von 0,21 auf.

Diese Dämmstärke (5cm) genügt heutigen Ansprüchen an eine Fassade nicht. Selbst wenn man dämmtechnisch nicht in den Passivhausbereich vordringen möchte, ist eine energetische Sanierung notwendig.

Der Standard der Fensterqualität entspricht in etwa dem Dämmstandard der massiven Bauteile. Die Luftdichtheit des Bestandes wurde nicht geprüft.

Jede Wohnung ist mit einer Loggia ausgestattet.

Die bestehende Loggia ist unter modernen energetischen Gesichtspunkten in der derzeitigen Ausführung, d.h. mit durchlaufender Geschossdecke ohne thermische Trennung oder allseitiger Dämmung, nicht zu rechtfertigen.

Es müssen daher Lösungen entwickelt werden, die ohne die Loggia in ihrer jetzigen Position funktionieren.

Des Weiteren existieren zum Keller hin massive Wärmebrücken durch die Wände, bzw. Betonscheiben.

Darüber hinaus gibt es diversen haustechnischen Sanierungsbedarf wie:

die Entlüftung der Bäder, mangelnde Qualität und Regelbarkeit der Heizungsverteilung, keine barrierefreien Bäder (in einem Seniorenwohnhaus!!!!), Teeküchen sind derzeit keine Nassbereiche, in der Küche und im Saal gibt es keine Kühlung, obwohl er ganzjährig, auch im Sommer zumeist am frühen Nachmittag für Veranstaltungen verwendet wird.

9.6.1.2.2. funktioneller Sanierungsbedarf

Zahlreiche funktionelle Anforderungen haben sich seit der Errichtung des Pensionistenhauses im Jahr 1974 geändert.

Zahlreiche Bauteile bzw. Abstände sind laut ÖNORM B1600 bzw. B1601 nicht barrierefrei.

Nach Aussagen des Direktors des Pensionistenwohnhauses ist eine Vergrößerung der Wohnfläche in einer baukonstruktiv und ökonomisch sinnvollen Größenordnung erstrebenswert. Schon jetzt muss das Pensionistenhaus mit anderen Wohnhäusern für Senioren konkurrieren, wo teilweise deutlich geräumigere Apartments geboten werden.

Zurzeit sind die Wohnbereiche zwar hell, es gibt jedoch einen deutlichen Abfall im Bereich hinter der Loggia, der jeweils nur ein kleines Fenster zur Loggia aufweist. Die Fensterebene des Hauptfensters liegt weit in der Wand, Brüstung, bzw. Parapet sind mit 1,00 bis 1,10 m sehr hoch.

Jede Wohnung besitzt eine eigene private Loggia mit großzügigem Blick über Wien. Neben den energetischen Problemen (s.o.), wird die Loggia laut Aussage der Betreiber wenig genutzt. Der Außenraum der Loggia ist abweisend, eher dunkel und unattraktiv, es wird weiters über starken Wind geklagt.

9.6.1.3. Sanierungskonzept

Zwei voneinander unabhängige Maßnahmenpakete greifen ineinander, um das Gebäude an heutige funktionelle und energetische Standards eines Pensionistenwohnhauses anzupassen.

9.6.1.3.1. Energetische Sanierung

9.6.1.3.1.1. Thermische Hülle

Drei Fassadenkonfigurationen werden entwickelt und untersucht.

Die Wohnfläche wird vergrößert, die Hüllfläche stark verringert, der räumliche Bezug zum Balkon und die damit einhergehende subjektive Erweiterung der Wohnfläche nach außen ist gegeben. Die Loggiafläche wird in die beheizte Wohnfläche integriert. Dadurch befindet sich die durchgehend betonierte Decke vollständig im gedämmten Bereich und ist keine Wärmebrücke mehr.

Die beheizte Wohnnutzfläche wird so um 26% vergrößert. Gleichzeitig wird die Hüllfläche vermindert. Das Verhältnis „Fassadenoberfläche / WNFL“ wird dadurch mehr als halbiert

Die Hüllfläche des Wohntraktes, über die Wärme verloren geht, wird von 11718,8 m² auf 9073,9 m² verringert. Verglichen mit den Werten des Bestandes ergibt sich eine Verbesserung um 23,5%. Das A/V-Verhältnis des Wohntraktes beträgt nun 0,18. Das Soll eines kompakten Baukörpers wird nach den Sanierungsmaßnahmen sogar unterschritten.

Wärmedämmung 30 cm, am Dach 52 cm, neue 3 Scheibenverglasung

Die warmen Kellerräume (wie z.B. die Waschküche) erhalten mangels anderer Möglichkeiten eine Innendämmung. Die Wärmebrücken durch die massiven Betonscheiben und die anderen Innenwände bleiben bestehen und sind in der PHPP-Berechnung berücksichtigt.

9.6.1.3.1.2. Konzept Heizung/Lüftung, Wohntrakt

Auf Basis diverser Studien zum Thema Energieeffizienz und Luftqualität im Wohnungsbau, von Referenzprojekten und von Berechnungen zu Energieverbrauch, Tageslichtnutzung, Sommerverhalten und Luftqualität wird für die Sanierung Pensionistenwohnhaus Penzing ein Gebäudeklimakonzept mit hohem Nutzerkomfort, hoher Wohnqualität bei niedrigen Betriebskosten und niedrigem Energieverbrauch gemäß Passivhausstandard konzipiert.

Der Studienschwerpunkt aus haustechnischer Sicht ist die Erarbeitung der verschiedenen Möglichkeiten zur Lüftungsausführung.

Als bevorzugte Variante wird Var. C ausgewählt. Es handelt sich um ein semizentrales Lüftungssystem geschossweise je Stiege.

Über je zwei Lüftungsgerät pro Geschoss mit je 400m³/h werden jeweils 10 Wohneinheiten versorgt. Jedes Gerät ist ausgestattet mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung mit einem Rotationswärmetauscher (> 80% Wärme- bzw. Feuchterückgewinnung) sowie druckgesteuerten, stufenlos geregelten energieeffizienten Ventilatoren. Die Situierung der Geräte erfolgt für beide Stiegenhäuser im Erschießungskern.

Die Wärmeabgabe im Raum soll bevorzugt durch die Wärmefrischlufthbox erfolgen. Ein sehr kleiner aber klassischer Heizkörper der direkt unterhalb des Zuluftauslasses positioniert ist, sorgt für die gewünschte Raumtemperatur. Die Anbindung der VL- und RL-Leitungen erfolgt im Deckenbereich. Im Badezimmer wird ein üblicher Heizkörper vorgesehen.

9.6.1.3.1.3. Konzept Heizung/Lüftung, Servicetrakt

Aufgrund der hohen Luftmengen und besonderen Nutzungsbedingungen ist das – für den Wohnbau entwickelte – Passivhauskonzept nicht direkt umlegbar auf den Veranstaltungs- und Küchentrakt.

Komfortverbesserungen durch die Sanierung betreffen im Küchentrakt unter anderem folgende Aspekte:

- Wärme- und Feuchteabfuhr aus der Küche

- Kühlung des Veranstaltungssaals durch einen Mix aus passiven und aktiven Maßnahmen, um im Sommer angenehme raumklimatische Bedingungen bei Veranstaltungen herzustellen

- Optimale Tageslichtbeleuchtung der Aufenthaltsräume bei ausreichender Verschattung im Sommer

9.6.1.3.1.4. Balkon mit Fassadenbegrünung

Bei der Gestaltung des Balkons wurde Wert darauf gelegt, den Balkon so zu positionieren, dass er als Fortsetzung des Wohnraumes dient. Die Dimensionen der Fensterflächen und der Balkone sind aufeinander abgestimmt, um einen optimalen räumlichen Zusammenhang herzustellen.

Der Balkon und die Fenster sind so angeordnet, dass sich das Belichtungsverhältnis der Wohnung im Geschoss darunter trotz passivhausgerechter Ausführung und Balkon nicht verschlechtert. Möglich wird dies vor allem dadurch, dass die Fensterfläche insgesamt größer wird und kein Parapet geplant ist.

Die neue Balkon- und Pflanzenschicht wird als eigenständige Konstruktion vor das Gebäude gesetzt und nur punktuell mit dem Bestand verbunden. Diese Punkthalter sind oberflächenminimiert und aus Edelstahl hergestellt, um den Wärmedurchlass gering zu halten.

Zwischen den Wohnungen werden Pflanztröge mit ca. 1m³ Substrat und Kletterpflanzen positioniert. Die Kletterpflanzen dienen der Fassadengestaltung und gleichzeitig als Sichtschutz der Balkone untereinander. Der Trog ist mit 2 cm PU gegen Frost gedämmt und mit einer automatischen Bewässerungsanlage ausgestattet.

In 30 cm Abstand von Geländer und Pflanzkiste sind Edelstahlseile als Kletterhilfen für die Pflanzen befestigt. Die Stahlseile werden schräg-vertikal mit 30 cm Abstand jeweils über zwei Geschosse geführt und dann parallel zum Balkongeländer in die Horizontale verzogen.

Für die Fassade wird ein spezielles Pflanzenkonzept entwickelt. Die Pflanzennamen u.a. Hinweise sind aus der Tabelle im Anhang zu entnehmen.

Der Pflanzenauswahl lagen folgende gartentherapeutische und praktische Überlegungen zugrunde:

In den unteren Geschossen wurden helllaubige Pflanzen ausgewählt, deren Blühaspekte von Weiß und Hellblau im Frühling zu Magenta und Blau im Sommer reichen. Eine üppige Herbstfärbung des Laubes und dekorative Triebe im Winter sorgen für ein abwechslungsreiches Bild.

Im oberen Gebäudebereich wird die Fernwirkung der Bepflanzung zunehmend wichtig. Rot-Orange- und Gelbtöne leuchten den ganzen Sommer. Winterjasmin und gelbe Herbstfärbung der Campsis sorgen auch während der Grauen Jahreszeiten für freundliche Stimmung. Es wurden wegen der Windeinwirkung robuste, starktriebige Pflanzen gewählt.

9.6.1.3.2. PHPP, zukünftiger Energieverbrauch

Die Berechnung mit dem PHPP 2004 findet sich im Anhang. Mit den vorgeschlagenen Maßnahmen kann im Wohntrakt trotz der großen, nicht behebbaren Verluste im Bereich des beheizten Kellers Passivhausstandard erreicht werden. Der Heizwärmebedarf berechnet sich auf 12,5 kWh/m²,a.

Für den Servicetrakt ist eine Sanierung zum Passivhaus nicht möglich. Erstens liegt der gesamte Küchenbereich im Keller und die enormen Wärmeverluste zum Erdreich können nicht verringert werden, zweitens ist eine Großküche wie diese nicht mit einer normalen Wohnung zu vergleichen, da sie auf Grund des sehr hohen Luftwechsels immer höhere Verluste aufweisen muss.

Dennoch gelingt es, den Heizwärmebedarf für den gesamten Servicetrakt auf ein Drittel der Ausgangslage, nämlich auf ca. 55 kWh/m² a zu reduzieren.

Berechnet man einen Mittelwert an Heizwärmebedarf für die gesamte Anlage so erreicht man immerhin 20,3 kWh/ m² a. Das ist ein gesamter Heizwärmebedarf von ca. 360 MWh bei einem Flächengewinn von ca. 1750 m². Damit kann der Heizwärmebedarf von über 140 kWh/m²a auf 15 % dieses Ausgangswertes gesenkt werden.

9.6.1.3.3. Funktionelle Sanierung

Die funktionelle Sanierung beinhaltet primär die Umgestaltung der Servicezone in der Wohnung: Eingang/Vorraum, Bad, Schlafen, Kochen.

Zusätzlich wird die Loggia, die z.Z. schlecht nutzbar ist (dunkel, Windverwirbelungen, hohes Parapet) dem Wohnraum zugeschlagen. Als räumliche Ergänzung und Ersatz für die Loggia wird eine neue vorgesetzte Balkonkonstruktion mit Fassadenbegrünung als Wohnraumerweiterung entwickelt.

Die Barrierefreiheit nach ÖNORM B1600 & B1601 kann im Sanierungskonzept eingehalten werden. Ein umfangreicher Maßnahmenkatalog für einen barrierefreien Umbau ist im Forschungsbericht „Altes Haus - Barrierefreies Wohnen im GründerzeitPassivHaus“, von der Projektleiterin erarbeitet worden. Viele der dort ausgearbeiteten Punkte wären auch für die Sanierung „Pensionistenwohnhaus Penzing“ aktuell.

Durch die Sanierung entsteht eine Nutzflächenvergrößerung um 26%

Speziell im Bereich Seniorenwohnen ist eine konstante Durchlüftung, bzw. die Einbringung von Frischluft bei gleichzeitiger Absaugung der verbrauchten Luft ein wesentliches Qualitätskriterium. Die Lüftungsanlage (mit Wärmerückgewinnung), die im Passivhausbereich aus energetischen Gründen nötig ist, bietet daher gerade im Seniorenbereich einen enormen Gewinn an Lebensqualität.

10. Ausblick

Wir haben in unserem Projekt die wichtigsten Seiten des Passivhauses im großen Volumen eingehend beleuchtet. Dabei wollten wir auch Themen aufrollen, die nur auf den zweiten Blick etwas mit dem Einsparen von Energie und dem Klimaschutz zu tun haben. Diese Themen Freiraum, Bauwerksbegrünung und Belichtung sind deshalb von enormer Bedeutung, weil nur ihre konsequente Beachtung den großvolumigen Wohnbau letzten Endes zu einer attraktiven Alternative für das Einfamilienhaus machen wird, und dies die Voraussetzung für kompaktes, flächenverbrauch- und verkehrsminderndes Wohnen generell ist.

Gelingt es uns, in unseren Städten attraktive, kompakte, energetisch effiziente, ökologisch hochwertige und ausreichend verdichtete Wohnquartiere anzubieten, so kommen wir dem Ziel einer nachhaltigen gebauten Umwelt einen Schritt näher und können neben kontrollierter Dichte unverbaute Flächen zurückgewinnen bzw. bewahren.

Die von uns erarbeiteten Kennziffern für das Passivhaus großen Volumens können als Grundlage für weitere Forschungen dienen viel wichtiger aber noch als Argumentationshilfe in der Diskussion und sinnvollen Etablierung energetischer Standards, von Änderungen in den Baugesetzen, der Raumordnung und den Förderinstrumentarien und nicht zuletzt in der Weiterentwicklung von Gebäudebewertungstools.

Im Bereich der Heizlastabdeckung von Randwohnungen wird es weitere Forschungen und Entwicklungen geben müssen, auch hier können die von uns dargestellten Möglichkeiten den Weg weisen.

Auch im Bereich des Feuchtemanagements in Passivhauswohnungen wird es weitere Entwicklungen geben müssen, das wissenschaftlich fundierte Wissen über Pflanzen zur Befeuchtung ist noch nicht ausreichend, ebenso die Entwicklungen zur Feuchtebewahrung.

Unsere Lösungen für den wohnungsnahen Freiraum sollten in der Praxis umgesetzt werden und als Anschauungsbeispiel zur Verfügung stehen.

Die von uns erarbeiteten Differenzen zwischen Tageslichtsimulationen und Messungen sollten wissenschaftlich großflächiger untersucht werden, bevor der Tageslichtquotient (nämlich welcher?) in Gebäudebewertungen verankert wird.

In unserem Sanierungskonzept für das Pensionistenwohnhaus in Penzing haben wir einen weiten Sprung gewagt, indem wir Passivhausstandard mit funktionaler und architektonischer Qualität, neue Balkone, Belichtung und Bauwerksbegrünung in einem Sanierungsprojekt zusammenfassen wollen und damit weitgreifendere und kompetenzübergreifende Änderungen vorschlagen, als sie sonst in der Sanierung umgesetzt werden.

Wir möchten zeigen, dass in der Sanierung auf keine Fall zu kurz gegriffen werden darf, will man langfristig nachhaltig agieren.

11. Weiterführende Literatur

- Althaus C.: „Bauwerk und Fassadenbegrünung mit Kletterpflanzen – Risiken, Schäden und präventive Schadensverhütung“. Diplomarbeit am Institut für Grünplanung und Gartenarchitektur der Universität Hannover, 1985
- Arbeitsstättenverordnung (ASTv vom 01.01.1999, Verordnung der Bundesministerin für Arbeit, Gesundheit und Soziales)
- Bauer W., Rottenbacher Ch.: „Gärten und Grünanlagen in Niederösterreich – Bestand und Bewirtschaftung, Perspektiven naturnaher Gestaltung und Pflege. Grundlagenstudie“, gefördert durch: Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung RU4. Jubiläumsfonds der Österreichischen Nationalbank. Umweltministerium für Umwelt, Jugend und Familie. 1998
- Bauordnungen der österreichischen Bundesländer, Deutschlands und der Schweiz.
- BBM Beschaffungsbetrieb der MIVA Stadl-Paura, „ChristophorusHaus – das höchst aktive Passivhaus“, <http://www.miva.at>
- Berlund, L.: „Humidity Aspects of Comfort“, Protocoll of the 11th Symposium on Man-Thermal Env. System., Inst. of Public Health, Tokyo 1987
- Blume D., Ludwig S., Otte J.: „Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise“, Teil 3, Anforderungen an kostengünstige, passivhausgeeignete MFH-Lüftungsanlagen und Überprüfung am Pilotprojekt, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, S. 4
- Bohlen R., Köthner K. Ben: „Das sind die Regeln“. DDH Edition. Band 4 Gründach. Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB), Köln
- Bolhar-Nordenkamp Harald: „Zimmerpflanzen als Raumklimaanlage“, Artikel in: „Garten“, Wien 1997
- Bökemann D., Griffinger R., Knötig G., Riedl L.: „Sanstrat Wien – Strukturanalyse zur Stadterneuerungspolitik“, Schriftenreihe „Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung“ der MA 18/Band 23, Wien 1990
- Botzenhart Konrad: 1. Symposium der Wohnungslüftung an der Uni Stuttgart, 2003
- British Standard for daylighting
- Bucar G., et al. „Contracting als Instrument für das Althaus der Zukunft“, (Hg.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Graz 2004
- Bundesverband Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau e.V. (Hrsg.): „Innenraumbegrünung – Lust auf Grün“, Bad Honnef 1999
- CIBSE Applications manual: window design
- DIN 5034 Teil 1-6
- Eyer H.: „Wissenswertes über Raumluft-Wechsel und Raumluft-Befeuchtung“, Artikel in „Münchener medizinische Wochenschrift“ 117, Nr. 51/52, 1975

- Fanger P.O.: „Thermal Comfort“, McGraw-Hill Book Company, New York 1972
- Feist Wolfgang: „Luftführung in Passivhäusern“, Cepheus-Projektinformation Nr. 8, Fachinformation Passiv-Haus-Institut, 07/1999
- Feist Wolfgang: „Sparsames Wäschetrocknen“, Cepheus-Projektinformation Nr. 4, Fachinformation Passiv-Haus-Institut, 11/1998
- Feist Wolfgang: „Das Passivhaus – Baustandard der Zukunft“, Protokollband Nr. 12, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998, S. V/13
- Feist Wolfgang: „Wäschetrocknen im Trockenschrank: Messergebnisse und Nutzererfahrungen in einem Passivhaus“, Fachinformation Passiv-Haus-Institut, 03/2000
- Feist Wolfgang: „Kostengünstiger Passivhaus-Geschosswohnungsbau in Kassel Marbachshöhe“, Cepheus-Projektinformation Nr. 11, Fachinformation Passiv-Haus-Institut, Darmstadt 01/2001
- Feist Wolfgang: „Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Altbau-Modernisierung“, Protokollband Nr. 24, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III, Passivhaus-Institut, Darmstadt 2003
- Feist Wolfgang: „Wärmebrückenfreies Konstruieren“, Protokollband Nr. 16, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase II, Passivhaus-Institut, 3. Auflage, Darmstadt 2003
- Feist Wolfgang: „Temperaturdifferenzierung in der Wohnung“, Protokollband Nr. 25, „Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase III, Passivhaus-Institut, Darmstadt 2004
- Feist Wolfgang, et al.: „Passivhaus ProjektierungsPaket 2004 (PHHP) – Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser“, Passivhaus-Institut, Darmstadt 2004
- Felser, G.: „Werbe- und Konsumentenpsychologie“. Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg 1997
- Fiedler, Klaus: „Bauprodukte, Innenraumlufte und Gesundheit Teil I – IV“, Artikel in „Wohnmedizin“, Bd. 38, Nr. 3-6, 12/2000
- Finnegan M.J. et al.: „The sick building syndrome: Prevalence studies“, British medical journal 189, Seite 1573-1575, 1984
- FH Pinkafeld: „Luftverunreinigungen in Innenräumen“, HLK 3/2003
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. – FLL (Hrsg.): „Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Innenraumbegrünungen“, Bonn 02/1997
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. FLL (Hrsg.): Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünung. Selbstverlag, Bonn 2002
- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. – FLL (Hrsg.): „Tagungsband zum Seminar Innenraumbegrünung für Praktiker am 9. März 1999“, Lehr- und Versuchsanstalt Essen, 03/1999

- Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. FLL (Hrsg.): Richtlinie für die Pflege von Fassadenbegrünungen mit Kletterpflanzen. Selbstverlag, Bonn 2000
- Förster W.: „Klaus Novy“, Schriftenreihe „Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung“ der MA 18/Band 41, Wien 1993
- Fricke J., Zwerger K.: „Der NÖ Naturgarten-Ratgeber“. Heft 21 Gründächer und Dachgärten. Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Umweltwirtschaft und Raumordnungsförderung, St. Pölten (Hrsg.) Dezember 2003
- Geissler Susanne, Bruck Manfred: „ECO-Building - Optimierung von Gebäuden“, (Hg.: Österreichisches Ökologie-Institut), 2001
- Gertis Karl A., Schmitz Michael: „Allergenarm Bauen – Gesünder Wohnen“, Forumsgespräch der Wüstenrot Stiftung 1992, Deutsche Verlags-Anstalt Stuttgart 1994
- Greml Andreas: „Energiesparinformation, kontrollierte Wohnungslüftung“, (Hg.: ENERGIE Tirol, Beratung - Forschung – Förderung), 3. Auflage, 2000
- Greml Andreas: „EQ – Kriterienkatalog“, (Hg.: ENERGIE Tirol, Beratung - Forschung – Förderung), 2002
- Greml Andreas et al. „Technischer Status von Wohnraumlüftungen - Evaluierung bestehender Wohnraumlüftungsanlagen bezüglich ihrer technischen Qualität und Praxistauglichkeit“, (Hg.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Projekt 805746, Kufstein 2004
- Haas A., Dorer V.: „Aspekte der Wärme- und Luftverteilung im Passivhaus“, Tagungsband „7. Internationale Passivhaustagung 21.-22.02.2003 Hamburg“, Passivhaus Institut, Darmstadt 2003
- Haas Ch.: „Der NÖ Naturgarten-Ratgeber“. Heft 18 Balkon und Terrasse. Amt der NÖ Landesregierung, Abteilung Umweltwirtschaft und Raumordnungsförderung, St. Pölten (Hrsg.) März 2003
- Hämmerle F.: „Energiesparen mit Gründächern“. Dach + Grün (2000), Heft 4. Verlag Dieter A. Kuperski, Stuttgart
- Hartmann Thomas: „Bauphysikalische und hygienische Aspekte der Wohnungslüftung“, Artikel in „Wohnmedizin“, Bd. 39, Nr. 3, 2001
- Hartmann Thomas: „Feuchteabgabe in Wohnungen – alles gesagt?“. Gesundheitsingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik 122 (2001), Heft 4
- HOLBACH - Umweltanalytik: „Messung der Kleinionen in der Raumlufte“, Sperberweg 3, D-66687 Wadern, www.umweltanalytik-holbach.de/Kleinionen_in_der_Raumlufte.pdf
- Hollwich F.: „Augenheilkunde“, 1982.
- Höppe P.: „Die Energiebilanz des Menschen“ (Dissertation). Wissenschaftliche Mitteilung, Meteorologisches Institut Universität München, Nr. 49, 1984

- Höppe P.: „Die Bedeutung der Luftfeuchtigkeit für das Raumklima“, Ann. Met 28, 161-164, 1992
- Höppe Peter R.: „Indoor climate“, Artikel in „Experientia“, 49, Verlag Birkhäuser, Basel 1993
- Höppe Peter R.: „How important is Humidity for a Comfortable and Healthy Indoor Climate?“, Proceedings of 14th International Congress of Biometeorology, Ljubljana, Slovenia, 09/1996
- Höppe Peter, Ivo Martinac: „Indoor climate and air quality“, Artikel in „International Journal of Biometeorology“, 1998
- Horn G., Heinrich H.: „Wärmebrücken bei Holz-Stegträgern“, Tagungsband „7. Internationale Passivhaustagung 21.-22.02.2003 Hamburg“, Passivhaus Institut, Darmstadt 2003
- Höss Anton, Busler Thomas: „Bedarfsgesteuerte Lüftungsanlagen“, AIRTec Nr. 4, Dez. 2003
- Huber Heinrich: „Komfortlüftung“, Faktor Verlag AG, Zürich
- Hutter S., Schöberl H.: „Markt- und Kostenanalyse Passivhausfenster“, Tagungsband „7. Internationale Passivhaustagung 21.-22.02.2003 Hamburg“, Passivhaus Institut, Darmstadt 2003
- IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Hrsg.): „Das ökologische Passivhaus“, Tagungsdokumentation, IBO Verlag, Wien 10/2000
- IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie et al. (Hrsg.): „Ökologie der Dämmstoffe“, Springer Verlag, Wien/New York, Wien 2000
- IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie et al. (Hrsg.): „Ökologischer Bauteilkatalog“, Springer Verlag, Wien/New York 1999
- Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie: „Extensive Dachbegrünung. Übungen mit Baupraktikum und Feldarbeiten zu Landschaftsbau und Vegetationstechnik“. Universität für Bodenkultur, Wien 2003
- ISO-NORM 7730 „Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort“, 1994
- Jansen H., Bachthaler E., Fölster E., Scharpf H.-Ch.: „Gärtnerischer Pflanzenbau - Grundlagen des Anbaues unter Glas und Kunststoffen“. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1984
- Kasper Siegfried, Möller Hans-Jürgen: „Herbst-/Winterdepression und Lichttherapie“, 2004.
- Keune A.: „Hygiene in der Raumluftechnik – Technische Lösungen in der Planung und Ausführung“, VDI Bericht 1318, VDI Verlag, 1997, S. 39-46
- Keul Alexander G.: „Energiesparprojekte und konventioneller Wohnbau – eine Evaluation“, (Hg.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), Projektendbericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft, Wien 2001
- Kleindienst G.: „Bebauungsformen und ihre städtebaulichen Kennwerte“, Schriftenreihe „Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung“ der MA 18/Band 16, Wien 1985

- Kleindienst G., Kuzmich F.: „Bebauungsformen und Raumwärmebedarf“, Schriftenreihe „Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung“ der MA 18/Band 66, Wien 1999
- Kleindienst G., Schatzer E.: „Bebauungsformen für die Stadterweiterung“, Schriftenreihe „Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung“ der MA 18/Band 27, Wien 1991
- KLIMANET „Netzwerk Solare Klimatisierung“, Präsentation 1. Österreichischer Infotag: Solares Kühlen in der Praxis, arsenal research, 2004
- Klinger M.: „Bedarfsgerechte Regelung des Raumlufzustandes in Wohngebäuden“, HLH Bd. 50 (1999), Nr. 1 - Januar
- Kniefacz R., Smetana K.: „DRAUFSETZEN – 19 Dachausbauten realisiert“, Schriftenreihe „Werkstattberichte“ der MA 18/Band 62, Wien 2004
- Kolb W.: „Abflussverhältnisse extensiv begrünter Flachdächer“. Veitshöchheimer Berichte aus der Landschaftspflege, Dachbegrünung 1995, Heft 18. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Würzburg (Hrsg.)
- Kolb W.: „Pflanzen für die extensive Dachbegrünung“. Veitshöchheimer Berichte aus der Landschaftspflege, Dachbegrünung 1995, Heft 18. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Würzburg (Hrsg.)
- Kolb W.: „In Mark und Pfennig“. DDH Edition. Band 4 Gründach. Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB), Köln
- Kolb W., Klein W.: „Zum Klimatisierungseffekt von Pflanzenbeständen auf Dächern“. Veitshöchheimer Berichte aus der Landschaftspflege, Dachbegrünung 1995, Heft 18. Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Würzburg (Hrsg.)
- Korab, R., Schwarzmüller, E.: „Passivhausstandard im Wiener Wohnungsneubau - Machbarkeitsuntersuchung: Vorbilder, Rahmenbedingungen, Vergleich mit Niedrigenergiestandard“, Wiener Bodenbereitstellungs- und Stadterneuerungsfonds (WBSF), Wien 2002
- Krapmeier, Drössler: „Cepheus, Wohnkomfort ohne Heizung“, Springer Wien/New York 2001
- Krapmeier H., Müller E.: „Dokumentation der österreichischen CEPHEUS Projekte“, CEPHEUS-Projektinformationen 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, Energieinstitut Vorarlberg, 2001
- Krupka B.: „Dachbegrünung. Pflanzen- und Vegetationsanwendung an Bauwerken“. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1992
- Kuzmich F.: „Bebauungsformen für die Stadterweiterung“, Schriftenreihe „Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung“ der MA 18/Band 61, Wien 1997
- Lacina B.: „Freiflächen im Wohnbau“, Schriftenreihe „Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung“ der MA 18/Band 62, Wien 1998
- Liberman Jacob: „Die heilende Kraft des Lichts“, 1996.

- Liese W.: „Neuere wärmephysiologische und hygienische Ergebnisse von klimatechnischer Bedeutung“, Gesundheits-Ingenieur 81: 363-371, 1960
- Littlefair Paul J.: „Site layout planning for daylight and sunlight“, 1991.
- Maas A.: „Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung“, Dissertation, Universität Kassel, 1995
- Mann G.: „Wo Käfer krabbeln und Bienen summen“. DDH Edition. Band 4 Gründach. Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. (FBB), Köln
- Mann G.: „Die Rolle begrünter Dächer in der Stadtökologie aus zoologischer Sicht“. Dach + Grün (1997), Heft 3. Verlag Dieter A. Kuperski, Stuttgart
- Mann G., Optigrün International AG: „Es spricht vieles für Dachbegrünungen, Nutzen begrünter Dächer – eine Frage des Blickwinkels“. Dach + Grün (2000), Heft 4. Verlag Dieter A. Kuperski, Stuttgart
- Mann G.: „Dachbegrünung gegen hochfrequente Strahlung“. Gartenpraxis (2/2003). Verlag Eugen Ulmer KG.
- Meyer Franz H.: „Bäume in der Stadt“. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1978
- Mötzl Hildegund: „Internationales Umweltzeichen für nachhaltige Bauprodukte“, (Hg.: IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und Ökologie GmbH), 2001
- Mühlegger R., Hartig R., SRZ: „Internationale innovative Entwicklung im Wohnungsbau“, Schriftenreihe „Beiträge zur Stadtforschung, Stadtentwicklung und Stadtgestaltung“ der MA 18/Band 65, Wien 1999
- Mürmann H.: „Wohnungslüftung, kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung, Systeme – Planung – Ausführung“, C.F.Müller Verlag, 1994
- ÖNORM B 8111-2: „Wärmeschutz im Hochbau, Wasserdampf und Kondensationsschutz“, Österreichisches Normungsinstitut, Wien 2002
- Panzhauser Erich et al.: „Wohnhabitat, Planung der (konventionellen) Fensterlüftung“, Archivum oecologiae hominis, Wien 1991
- Passawa R.: „Die Technologie des Passivhauses im Wiener sozialen Wohnbau“, Masterthesis am Zentrum für Bauen und Umwelt der Donau, Universität Krems, Wien 2001
- PAUL-Lüftung GmbH: „Planungs- und Auslegungshinweise“, D-08132 Mülsen, Vettermannstr. 1-5, www.paul-lueftung.de/download/10_Planung_und_Auslegungshinweise.pdf
- Pfluger R., Feist W.: „Messtechnische Untersuchung und Auswertung, Kostengünstiger Passivhaus – Geschosswohnungsbau in Kassel“, Marbachshöhe, CEPHEUS - Projektinformation Nr. 15, Darmstadt 2001
- Preisler Anita, et al.: „Sunny Research! - Nachhaltiges Gebäude- und Energiekonzept für ein modernes Büro- und Gewerbegebäude“, (Hg.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), Projektendbericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft, Wien 2004

- Recknagel, Sprenger, Schramek: „Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 01/02“, Oldenburg
- Reichl Ch., Mann M., Haider G.: „Pedestrian comfort analysis in large scale urban building projects“; Int. Conference on Urban Wind Engineering and Building Aerodynamics, COST C14 Action, Rhode St. Genese, BE, 2004
- Rohracher Harald, Kukovetz Brigitte: „Akzeptanzverbesserung bei Niedrigenergiehaus-Komponenten“ (Hg.: IFZ - Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur), Endbericht, Graz 2001
- Rosenthal Norman E.: „Lichttherapie, Das Programm gegen Winterdepressionen“, 1993.
- Ruland G.: „Freiraumqualität im Geschoßwohnungsbau“, Schriftenreihe „Werkstattberichte“ der MA 18/Band 55, Wien 2003
- Schempp D. et al.: „Mensch, Raum und Pflanze“, Bernhard Thalacker Verlag GmbH & Co KG, Braunschweig 1997
- Schneider U.: „ALTes Haus – Barrierefreies Wohnen im GründerzeitPassivHaus“, (Hg.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), Projektendbericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft, Wien 2004
- Schneider U., Oettl F., Quiring B., et al: „themenwohnen^musik – Entwicklung eines urbanen Stützpunktes für Musiker“, (Hg.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), Projektendbericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft, Wien 2003
- Schulze/Darup (Hg.): „Passivhausprojektbericht – Ionenzusammensetzung“, Fürth 2002; AnBUS e.V
- Senkpiel Klaus: „Nachweis und Bewertung von mikrobiellen Belastungen in Gebäuden“, Artikel in „Wohnmedizin“, Bd. 39, Nr. 1, 02/2001
- Sowa Axel: „Die vertikalen Gärten des Patrick Blanc“, Artikel in „Arch+“, Arch+ Verlag, Aachen 07/1998
- Streicher W. et al. „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser“, (Hg.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), Projektendbericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft, Graz 2004
- TRNSYS, Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Version 15.09, 2001
- VORNORM ÖNORM H6038, „Lüftungstechnische Anlagen – Kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung, Planung, Montage, Prüfung, Betrieb und Wartung“, Wien 2002
- Walluschnig T., Schöberl H. „Entwicklung eines Passivhausfensters mit integriertem Sonnenschutz“, (Hg.: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 806317/2004, Projektendbericht im Rahmen der Programmlinie Haus der Zukunft, Traun 2004
- Waltjen Tobias „Hochbaukonstruktionen und Baustoffe für hoch wärmedämmte Gebäude - Technik, Bauphysik, Ökologische Bewertung, Kostenermittlung“, (Hg.: IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie), (laufend)

- Weber Peter: „Kommunaler Wohnbau 1919-1976“, Magistrat der Stadt Wien, MA 18, Wien 1978
- Witthauer J., Horn H., Bischof W.: „Raumluftqualität - Belastung, Bewertung , Beeinflussung“, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe 1993
- Wolff Friedrich: „Gesundes Licht“, 1984.
- Wolverton, B. C.: „Gesünder leben mit Zimmerpflanzen“. VGS Verlagsgesellschaft Köln

12. Anhang

Anhang zu Kapitel 6:

Pflanzenlisten

Zeit- und Entscheidungsplan

Anhang zu Kapitel 7.3.3:

Grundrisse und Wandansichten des Raumes für die thermische Simulation

Anhang zu Kapitel 8:

PHPP Berechnungen Küchentrakt

PHPP Berechnungen Wohntrakt

PHPP Berechnungen Modul 1

PHPP Berechnungen Modul 2

PHPP Berechnungen Modul 3