

Bürokomfort mit regenerativer Kühlung

Abb 1



- ▶ **Primärenergiebedarf für Heizung, Lüftung, Kälte und Beleuchtung nur 81 kWh/m²a**
- ▶ **Erst der Energieverbrauch bei voller Belegung kann Planungswerte bestätigen**
- ▶ **Erdwärmesonden günstige Kälte- bzw. Wärmequelle für Betonkerntemperierung. Für geringen Pumpenstromereinsatz sorgt ein optimierendes Regelkonzept.**

Die Größe der Fensterflächen des Bürogebäudes bietet optimale Tageslichtversorgung bei möglichst geringen solaren Lasten. Im Vordergrund sieht man die Ansaugtürme der Lüftungsanlage.

Die EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden verlangt einen erweiterten Blickwinkel bei der energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden. Erstmals fließt der gesamte für den Gebäudebetrieb nötige Energiebedarf in die Berechnungen ein und nicht wie bisher nur der Aufwand für die Beheizung.

In seinem Förderkonzept Energiepotenziertes Bauen (ENOB) verfolgt das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) diesen Ansatz schon seit einigen Jahren. Die Demonstrationsvorhaben im Teilkonzept EnBau (Neubauten Nichtwohngebäude) sollten einen Primärenergiebedarf für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung von weniger als 100 kWh/m²a erreichen.

Eine Umsetzungsvariante ist es, das bei Wohngebäuden inzwischen bewährte Passivhauskonzept auf andere Gebäudetypen zu übertragen und anforderungsgemäß zu interpretieren. Die Prämissen sehr guter Wärmeschutz, Luftdichtheit und Lüftung mit Wärmerückgewinnung schaffen gute Voraussetzungen, auch den für Bürogebäude oft ausschlaggebenden sommerlichen Überhitzungsschutz gewährleisten zu können. Diese Möglichkeit nutzte auch die Software AG Stiftung als Investor beim Neubau eines Bürogebäudes in Ulm. Da sie unter anderem Maßnahmen zur „Naturhilfe“ fördert, lagen ökologische Ziele auch bei

einer Immobilie zur Wertanlage nahe. In einem beschränkt ausgelobten Wettbewerb für Planungsteams wurde also von vornherein Passivhaus-Standard gefordert. Hoher Komfort und gehobenes Ambiente bei wirtschaftlicher Bauweise waren weitere Vorgaben.

Das Büro-Passivhaus ist mit 8.000 m² Bruttogrundfläche bisher einmalig groß. Da eine sehr kompakte Gebäudeform gewählt wurde, hatten die Planer mehr Spielraum zur Optimierung. Fenstergrößen konnten unabhängig von der Ausrichtung dimensioniert werden. Auch mussten nicht alle eingesetzten Bauteile höchsten thermischen Standard erfüllen, um den Anforderungen insgesamt zu genügen. Ein komfortables Innenraumklima wird beim ausgeführten Entwurf durch hochwertige Wärmedämmung, Betonkerntemperierung, mechanische Lüftung sowie beweglichen Sonnenschutz erreicht. Die Nutzung regenerativer Energiequellen senkt den Primärenergiebedarf.

Die integrale Planung von Architektur, Bauphysik und Gebäudetechnik in einem Projektteam aus erfahrenen Partnern, der Einsatz bewährter Komponenten und Baustoffe und eine sorgfältige Qualitätssicherung waren entscheidend für das Gelingen des anspruchsvollen Vorhabens. Fertig gestellt wurde das Gebäude im Oktober 2002. Die Auswertung der daran anschließenden Messphase liegt jetzt vor.

► Gebäudekonzept

Abb 2: Gebäudesteckbrief

Bauherr / Investor	Software AG Stiftung
Architektur	oehler faigle archkom solar architektur, Bretten
Standort	Science-Park II, Ulm
Planungs- und Ausführungszeitraum	Wettbewerbsergebnis 04/2000, Bauzeit 04/2001 – 10/2002
Baukonstruktion	Stahlbetonskelettbau mit vorgehängten Holzfassadenelementen
Nettogrundfläche (NGF), beheizt	6.911 m ²
Bruttorauminhalt nach DIN 277	32.223 m ³
A/V-Verhältnis	0,22 m ¹

Der kompakte, fünfgeschossige Baukörper erinnert in seiner Form an den Kolben eines Wankelmotors. Durch die Anordnung an einem Südhang liegt der Eingang an der Nordostseite genauso ebenerdig wie die Südterrasse des Casinos ein Stockwerk darunter. Im Gartengeschoss sind außerdem Küche und Seminarbereiche untergebracht. Die Bürobereiche belegen die oberen Stockwerke. Unter dem Eingangsvorplatz befinden sich außerhalb der gedämmten Gebäudehülle Zuluftzentrale und Tiefgarage.

Ein großzügiges, glasüberdachtes Atrium ($U_g = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) bildet das Zentrum des Gebäudes. Stege und Treppen sowie zum Atrium orientierte, offene Bereiche in den einzelnen Etagen lassen es zum kommunikativen Mittelpunkt werden. Außerdem dient es zur Belüftung und Tageslichtnutzung. Durch eine

gezielte Abstimmung des Brandschutz- und Klimakonzepts war keine Abschottung der Büroräume zum Atrium hin notwendig.

Das Gebäude ist eine Stahlbetonskelett-Konstruktion mit Fassaden aus vorgefertigten Holzelementen mit weitgehend gleichen Abmessungen. 20 cm Dämmstärke unter der Bodenplatte, 35 cm in der Fassade, bis zu 50 cm im Dach sowie eine Dreifach-Wärmeschutzverglasung in wärmegeprägten Rahmen ($U_w = 0,84 \text{ W/m}^2\text{K}$) tragen zu einer sehr guten Dämmung bei. Dabei wurde auf eine nahezu wärmebrückenfreie Ausführung geachtet. Für statisch hoch belastete Durchdringungen des Tragwerks (z.B. Pfeiler im UG und Gründungen der Fluchttreppenhäuser) wurden durch Wärmestromanalysen kostengünstig ausführbare Details bestimmt, die Schutz vor Schimmelpilz und Tauwasser bieten. Die etwas höheren Wärmebrückenverluste konnten an anderen Orten wesentlich kostengünstiger ausgeglichen werden. Der Glasflächenanteil von 44% der Gebäudehülle hält solare Lasten gering und garantiert dennoch eine bestmögliche Tageslichtnutzung. Ein Blower-door-Test mit dem Ergebnis $0,2 \text{ h}^1$ bestätigte die hohe Qualität der Bauausführung.

Auf den Flachdachbahnen sind einlamierte, amorphe Solarzellen für eine 328 m^2 umfassende PV-Anlage aufgebracht.

Abb 3: Grundriss Eingangsgeschoss

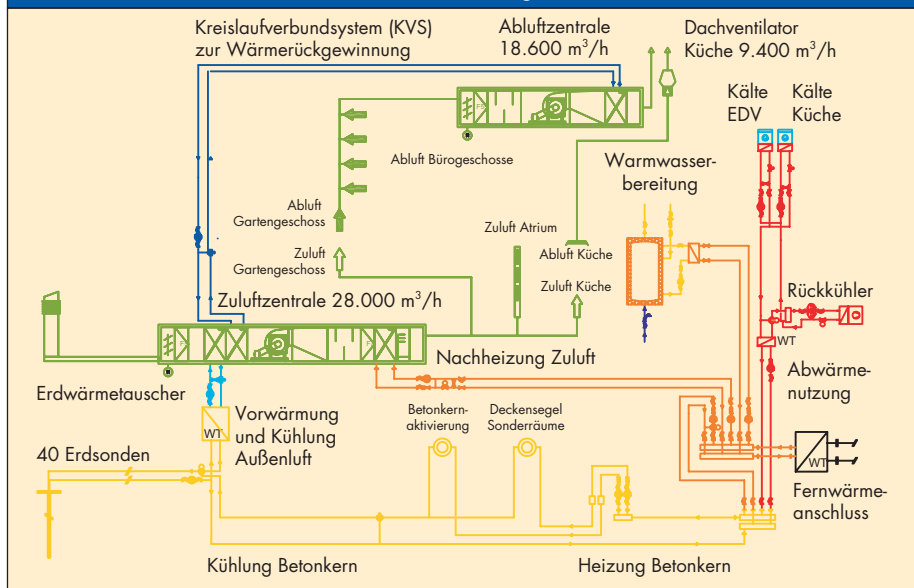


Abb 4: Stege, Treppen und offene Bereiche beleben das Atrium



► Heizung, Kühlung und Lüftung

Abb 5: Schema der technischen Gebäudeausrüstung



Das Gebäude nutzt in erster Linie Betonkern-temperierung (BKT) zur Kühlung und Heizung. Da bei einer thermisch aktivierten Decke die Kühlleistung die Heizleistung aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten übersteigt, eignet sich das System für dieses Bürogebäude im Passivhaus-Standard gut zur

Deckung der ermittelten Lasten.

Für die BKT sind Kunststoff-Rohrregister mit einer Fläche von rund 5.000 m^2 in 10 cm Abstand von den Deckenunterseiten verlegt. Zur Temperierung reichen 40 Erdwärmesonden 100 m tief in die Erde. Wasser strömt in einem geschlossenen Kreislauf von den Erd-

wärmesonden durch die Registerrohre und zurück. Das Erdreich wirkt dadurch als Wärme- bzw. Kältespeicher, wobei die bivalente Nutzung die thermische Regeneration unterstützt. In der Planungsphase wurden verschiedene Varianten zur Temperierung (Fernkälte und Fernwärme allein oder in Kombination mit Luft-Erdregister) verglichen. Der Einsatz von wasserdurchströmten Erdwärmesonden erwies sich dabei als kostengünstigste und umweltfreundlichste Lösung.

Aufgrund der großflächigen Aktivierung reichen bereits sehr kleine Über- bzw. Untertemperaturen aus, um das energetisch optimierte Gebäude zu heizen oder zu kühlen. Ein Vorteil der BKT ist dabei, dass sie auch Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Gebäudeteilen ausgleicht. Im Winter genügen häufig die internen Gewinne des Gebäudes, um den thermischen Komfort sicherzustellen. Muss das Wasser für die BKT nachgeheizt werden, so erfolgt dies vorrangig über Abwärme der Kompressionskälteanlagen für Server- und Lebensmittelkühlräume. Den übrigen Heizenergiebedarf deckt Fernwärme. Die thermische Trägheit des Betonkerns verlangt ein differenziertes Regelungskonzept. Unter Einbezug von Raum-, Decken- und

Wassertemperatur wird die notwendige Pumpenlaufzeit ermittelt, um den Betonkern optimal zu laden. Heiz- und Kühlfall sind

durch einen neutralen Temperaturbereich getrennt. Eine Einzelraumregelung ist nicht möglich.

Ergänzt wird die BKT durch ein ausgeklügeltes Lüftungskonzept. Außenluft wird in einem 28 m langen Erdkanal zur Zuluftzentrale geleitet und dort je nach Bedarf aus den Erdwärmesonden weiter gekühlt oder erwärmt. Im Heizfall wird die aus der Abluft zurückgewonnene Wärme genutzt. Bei sehr kalten Außentemperaturen kann die Luft mit Fernwärme weiter nachgeheizt werden. Eine Sprühbefeuchtung hält die relative Zuluftfeuchte auch in Kälteperioden über 30%. Die konditionierte Zuluft wird zunächst ins Atrium geleitet. Von dort strömt sie durch schallgedämmte Überströmöffnungen in den Atriumfassaden bzw. Luftkanäle in den Betondecken zu den außenliegenden Büros. Luftqualität und Temperatur im Atrium werden messtechnisch überwacht. Bei Bedarf kann das Atrium über Rauch-Wärme-Abzugsklappen natürlich gelüftet werden; alle Büro- und Aufenthaltsräume haben offene Fenster. Die Abluft wird in den Büroräumen aktiv abgesaugt und zur Abluftzentrale auf dem Dach geleitet. Das Konzept minimaler, raum- und kostensparender Zu- und Abluftkanäle bedingt eine Wärmerückgewinnung im Kreislauf-Verbundsystem. Die Lüftung der Bürobereiche wird nach einem Zeitprogramm gemeinsam geregelt. Die Räume im Gartengeschoss mit Sondernutzungen wie Küche, Casino, EDV-Schulung sind direkt an die zentralen Luftkanäle angeschlossen. Um den stark wechselnden Lastverhältnissen Rechnung zu tragen, ist dort eine Einzelraumregelung durch zusätzliche Heiz- und Kühlflächen sowie Volumenstromregler möglich.

► Energiekonzept: Systemkomponenten

System	Komponenten	Details
Heizung / Kühlung	Betonkern-temperierung	5.000 m ² Kunststoffrohrregister Vorlauftemperatur Auslegefall: max. 24,4°C (Heizen) / min. 18,8°C (Kühlen)
	Wärme- bzw. Kältequelle	40 Erdwärmesonden je 100 m tief Vorlauftemperatur 7°C (Außenluftvorwärmung) / 16°C (Kühlung: 80% BKT und 20% Zuluft)
	Nachheizung	gebäudeinterne Abwärme (s.u.); Fernwärme
	Fußbodenheizung	830 m ² im Gartengeschoss ergänzend für erhöht anfallende Heiz- und Kühllasten
	Kompressions-kälteaggregate	EDV-Zentrale und Lebensmittelkühlräume (Abwärme zur Betonkern-temperierung bzw. über Rückkühlwerke an Umgebung)
Lüftung	Lüftungsanlage	Volumenstrom bis zu 28.000 m ³ /h
	Temperierung	Luft-Erdkanal l=28 m d=1,8 m; Erdwärmesonden Wärmerückgewinnung (WRG) über Kreislaufverbundsystem (Wärmerückgewinnungsgrad ca. 65%); Fernwärme
	Verteilung	Sonderräume im Gartengeschoss direkt, andere Räume über Atrium Überströmung in innenliegende Büros Luftkanäle in äußere Büros Abluft direkt aus den Büros in Abluftzentrale
Belichtung	natürliche Belichtung	durch optimierte Glasflächen (Lage und Größe) der Außenfassaden bzw. über Atrium
	Sonnen- und Blendschutz	Zweigeteilte, lichtlenkende Außenjalousien Atrium: semitransparente Sonnenschutz-Folienrollos zwischen Doppelverglasung
	Kunstlicht	elektronisch geregelte T5-Leuchtstoff-Lampen tageslichtabhängige Regelung; Bewegungsmelder
Regelung	DDC-Gebäudeleittechnik	regelt Lüftungsanlage, Betonkern-temperierung, Verschattung; Datenerfassung
Warmwasserbereitung	Warmwasserspeicher	Gartengeschoss (Küche): zentraler Wasserspeicher (750 l) mit Schichtladung aus Fernwärme
	dezentrale Elektro-Durchlauferhitzer	Bürogeschosse
Wärmeversorgung	Fernwärme	aus KWK (40% aus Biomasse); Anschlussleistung: 185 kW
Stromerzeugung	PV-Anlagen (Netzeinspeisung)	PV-Module in Flachdach integriert 15 kW _{peak} ; Anlage auf Hochgarage 137 kW _{peak}

► Energiebilanz

Der Endenergieverbrauch für Heizung/Lüftung/Kälte/Licht ist 2005 mit 47,2 kWh/m²a inklusive Gebäudekühlung und Casino (ohne Kühlaggregate) sehr niedrig und unterschreitet die Vorgaben des Förderprogramms erheblich. Allerdings liegt der Heizwärmeverbrauch mit 34,6 kWh/m²a noch über dem errechneten Bedarf von 12 kWh/m²a. Das liegt vor allem daran, dass das Gebäude nur etwa zur Hälfte belegt war, d.h. es fehlt die Hälfte der internen Wärmegewinne. Außerdem spielt auch eine gegenüber der Planung um fast 3 K erhöhte Raumtemperatur eine Rolle. Gleichzeitig fehlen solare Gewinne durch die andauernde Verschattung der nicht genutzten Räume – eine Regelung, die nicht der Planung entspricht. Daneben hat das auch von Externen intensiv genutzte Casino durch die Volllastung einen erhöhten Lüftungsbedarf. Der Primärenergiebedarf lag 2005 bei 81 kWh/m²a. Bezieht man die Einspeisung der PV-Anlage auf dem eigenen Dach ein, reduziert er sich um weitere 5 kWh/m²a.

Bauherr und Nutzer sind mit dem Gebäude und dem Arbeitsplatzkomfort sehr zufrieden. Selbst während der Inbetriebnahme-phase, in der die Lüftung noch nicht voll funktionsfähig war und die Heizung von Hand geregelt wurde, kam es für die Mieter kaum zu Nutzungseinschränkungen.

Abb 6: Kosten bezogen auf NGF	
Abgerechnete Bauwerkskosten brutto nach DIN 276	
Baukonstruktion (KG 300)	1.234 €/m ²
Technische Anlagen (KG 400)	454 €/m ²
Betriebskosten brutto im Jahr 2004 (incl. Casino) nach DIN 18960	
pro Monat	2,02 €/m ²
davon Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung:	0,39 €/m ²

Abb 7: Ausgewählte Messdaten 2005 (m ² bezogen auf NGF beheizt)		
Erdwärmesonden	Wärmelieferung (an Zuluft)	7,5 kWh/m ²
	Kältelieferung (an Zuluft, Betonkern)	13,0 kWh/m ²
	Stromverbrauch Erdwärmesonden	2,5 kWh/m ²
	Jahres-Arbeitszahl Erdwärmesonden	8,0 kWh _{therm} /kWh _{el}
	Wintermonate (nur Luftvorwärmung)	4,3 bis 6,3 kWh _{therm} /kWh _{el}
	Sommermonate (Luft- und Betonkernkühlung)	13,0 bis 24,0 kWh _{therm} /kWh _{el}
	Jahres-Arbeitszahl bezüglich Primärenergie	2,8 kWh _{therm} /kWh _{prim}
Betonkern-temperierung	Stromverbrauch Pumpen	1,5 kWh/m ²
	eingespeiste Abwärme	8,9 kWh/m ²
	eingespeiste Fernwärme	13,7 kWh/m ²
Lüftung (V _{max} = 28.000 m ³ /h)	Stromverbrauch Lüftung (Ventilatoren)	8,6 kWh/m ²
	Stromverbrauch WRG (Pumpen)	1,3 kWh/m ²
	Wärmerückgewinn	29,1 kWh/m ²
	Jahresarbeitszahl WRG	22,4 kWh/m ²

► Ergebnisse

Mit dem Bauvorhaben wurde Neuland betreten, da ein nach Passivhauskonzept errichtetes Bürogebäude in dieser Größe bisher einmalig ist. Die integrale Planung war Voraussetzung für den kostengünstigen und energieeffizienten Bau, der nach Baukostenindex im mittleren Bereich der für konventionelle Bürogebäude üblichen Kosten liegt, trotz einer auch im Innenausbau anspruchsvollen Ausstattung. Genaue Planung, Vorfertigung und eine intensive Qualitätskontrolle ermöglichten eine nahezu wärmebrückenfreie, sehr luftdichte Gebäudehülle – Voraussetzungen für ein gut funktionierendes Passivhaus.

Ausstattungsqualität und thermischer Komfort dienen dem Investor als Vermietungsargument. Im Mietvertrag wird außerdem eine Obergrenze für Nebenkosten zu Heizung, Kühlung und Belüftung von 0,75 €/m² garantiert. Mit 12 €/m² liegen die Mietkosten für örtliche Verhältnisse allerdings relativ hoch. Bei Fertigstellung des Gebäudes Ende 2002 standen in Ulm viele Büroimmobilien leer; entsprechend schwierig gestaltete sich die Vermietung. 2004 stieg der Anteil vermieteter Fläche von Anfangs 31% auf 60% am Jahresende. 2006 liegt er bei 80%. Für ein neues Bauprojekt überlegt die Stiftung, wieder auf den Passivhaus-Standard zu setzen.

Die Betonkerntemperierung mit den Erdwärmesonden als Wärmesenke und -quelle hat sich zur Kühlung und Beheizung des Gebäudes bewährt. Der Passivhaus-Standard bietet dafür sehr gute Voraussetzungen, da aufgrund der geringen Wärmeverluste die Bauteiltemperaturen nur sehr geringfügig von der Raumsolltemperatur abweichen müssen. Auch über Nacht kühlt das Gebäude nicht wesentlich ab, was eine morgendliche Aufheizphase überflüssig macht.

Im Kühlfall erlaubt die Betonkerntemperierung eine Lastunterbrechung für viele Stunden am Tag, in denen die Kälteleistung der Erdwärmesonden zur Kühlung der Zuluft genutzt wird. Die Abfuhr der in den Bauteilen zwischengespeicherten überschüssigen Raumwärme erfolgt dann über Nacht. Das erspart zusätzliche Kompressionskältemaschinen oder technische Kältespeicher zur Spitzenlastabdeckung.

Das Gebäude benötigt für Heizen, Kühlen und Hilfsstrom mit der aktuellen Auslastung nur etwa 25% der Endenergie eines konventionellen Bürogebäudes. Mit einem Heizenergieverbrauch von 34,6 kWh/m²a im Jahr 2005 liegt es allerdings deutlich über dem berechneten Bedarf und den Passivhaus-Anforderungen. Hier fehlen vor allem die internen Gewinne, die eine vollständige Belegung des Gebäudes mit sich bringen würde. Um den Erfolg des Projekts endgültig zu beurteilen, muss man die Werte aus Jahren mit vollständiger Vermietung abwarten. Ein Langzeit-Monitoring über weitere 5 Jahre wird die Datenbasis liefern.

► PROJEKTADRESSEN

- EnerGon
Lise-Meitner-Straße 14, 89081 Ulm

Architekt

- Stefan Oehler
oehler faigle archkom
solar architektur
Melanchthon 10, 75015 Bretten

Bauphysik, TGA & Simulation

- Ing.-Büro ebök
Johannes Werner
Schellingstr. 4/2, 72072 Tübingen

Bauleitung

- Freie Planungsgruppe 7
Peter Pechloff
Ludwigstr. 57, 70176 Stuttgart

Evaluierung

- Steinbeis-Transferzentrum
Energietechnik an der
Fachhochschule Ulm
Prof. Peter Obert, Gunter Lindemann
Eberhard-Finckh-Str. 11, 89075 Ulm

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Oehler, S.: Passivbürogebäude Energon Ulm. In: Passivhaus Institut, Darmstadt (Hrsg.): 7. Internationale Passivhaustagung, Hamburg, 21.-22. Febr. 2003. Tagungsband. S. 167-176
- Oehler, S.: Große Passivhäuser. Stuttgart : Kohlhammer, 2004. ISBN 3-17-017271-9
- Voss, K.; Löhnert, G.; Herkel, S. u.a.: Bürogebäude mit Zukunft. Konzepte, Analysen, Erfahrungen. Berlin : Solarpraxis Verl., 2006. 2. Aufl. ISBN 3-934595-59-6

Internet

- www.enbau-monitor.de
- www.energon-ulm.de

Abbildungsnachweis

- Abb. 1, 2, 3: Software AG Stiftung, Darmstadt
- Abb. 5: Ing.-Büro ebök, Tübingen

Service

- Ergänzende Informationen wie Literatur, Internet-Links sind bei BINE im Internet unter www.bine.info (Service/InfoPlus) sowie unter energie-projekte.de abrufbar.

PROJEKTORGANISATION

■ Förderung

Bundesministerium für
Wirtschaft und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWi und BMU
Forschungszentrum Jülich GmbH
Markus Kratz
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen

0335007G

IMPRESSUM

■ ISSN

0937 – 8367

■ Herausgeber

FIZ Karlsruhe GmbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

■ Nachdruck

Nachdruck des Textes nur zulässig bei vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegexemplares; Nachdruck der Abbildungen nur mit Zustimmung der jeweils Berechtigten.

■ Autorin

Dorothee Gintars

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienztechnologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter www.bine.info und per Newsletter zeigt BINE, wie sich gute Forschungsideen in der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderter Informationsdienst der Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe GmbH.

Kontakt:

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie die BINE Experten-Hotline:

☎ Tel. 0228 / 9 23 79 - 44



BINE

Informationsdienst

FIZ Karlsruhe GmbH, Büro Bonn
Mechenstraße 57
53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: www.bine.info