



Erdwärme für Bürogebäude nutzen

Abb. 1



- ▶ **Mit messtechnischer Begleitung und Kontrolle im Betrieb können Anlagen die geplante Effizienz erreichen**
- ▶ **Gleichgewicht zwischen Wärmeeintrag und Wärmeentzug sichert dauerhafte Funktionsfähigkeit saisonaler Erdwärmespeicher**
- ▶ **Regelstrategien müssen genau geplant und im Betrieb angepasst werden**

Bewehrungskorb eines Gründungspfahls: durch die Integration von Sondenrohren lässt sich die Erdwärme für das Gebäude nutzen.

Für neue Bürogebäude wird immer häufiger auf die Nutzung oberflächennaher Geothermie gesetzt. Diese regenerative Energiequelle hat den Vorteil, dass sich das Erdreich im saisonalen Wechsel sowohl zu Heiz- als auch zu Kühlzwecken nutzen lässt. Das seit Anfang 2009 geltende Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG), das beim Neubau von Gebäuden die anteilige Verwendung von erneuerbaren Energien zur Gebäudebeheizung, Kühlung und Wassererwärmung vorschreibt, hat ihre Anwendung weiter befördert.

Oberflächennahe Geothermie kann sehr effizient in Kombination mit Heiz- und Kühlsystemen eingesetzt werden, die nahe dem Temperaturniveau des Erdreichs arbeiten. Im Heizbetrieb beträgt die von erdgekoppelten Wärmepumpen bereitgestellte Wärmeenergie das dreis- bis fünffache der Antriebsenergie. Der freie Kühlbetrieb im Sommer ist noch einmal deutlich effizienter, denn hier wird nur für die Umwälzpumpen Elektroenergie benötigt. So lassen sich Jahres-Systemarbeitszahlen im Bereich von 10 bis 35 erreichen.

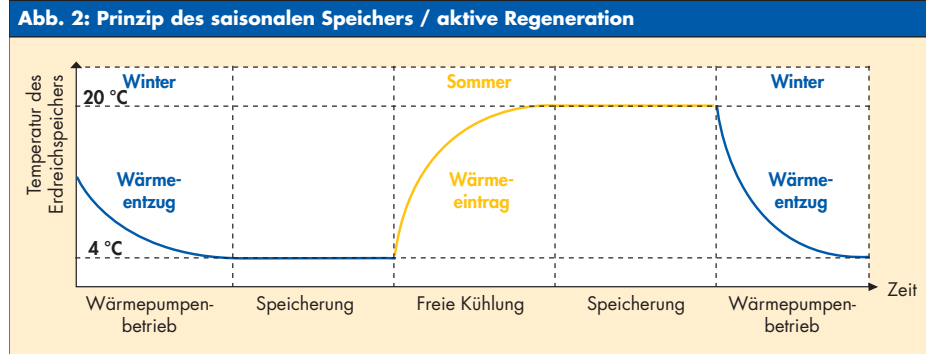
Viele Beteiligte dieser jungen Branche sind noch relativ unerfahren in der Technik. Aufgrund der geringen Temperaturspreizungen zwischen dem Erdreich und dem Heiz- bzw. Kühlsystem im Gebäude reagieren

die Anlagen allerdings sehr sensibel auf Fehler und Störungen. Ein fehlerhafter Betrieb mindert nicht nur die aktuelle Effizienz des Systems, sondern kann auch die Leistungsfähigkeit für die Folgejahre beeinträchtigen.

In einem Forschungsprojekt untersuchte das Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS) der TU Braunschweig, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), die energetische und wirtschaftliche Effizienz von elf Gebäuden mit Erdwärmesonden, Energiepfählen bzw. Bodenabsorbieren. Der Betrieb von fünf der evaluierten Anlagen wurde in diesem Zuge optimiert. Ziel ist es unter anderem, aus den Erfahrungen des Projekts Betriebsregeln zu entwickeln.

Ein ähnliches, BMWi-gefördertes Projekt mit dem Schwerpunkt auf Brunnen- bzw. Erdsondenanlagen läuft am Institut für Entwerfen und Konstruieren, Abteilung Gebäudetechnik, der Universität Hannover. Das Monitoringprogramm umfasst neun Gebäude, deren Anlagenbetrieb überprüft und optimiert wird. Auf dieser Grundlage sollen Planungswerkzeuge für die Auslegung der erdreichseitigen Anlagenzweige verbessert sowie mess- und regelungstechnische Details für oberflächennahe Geothermieanlagen definiert werden.

Wärme und Kälte aus dem Erdreich

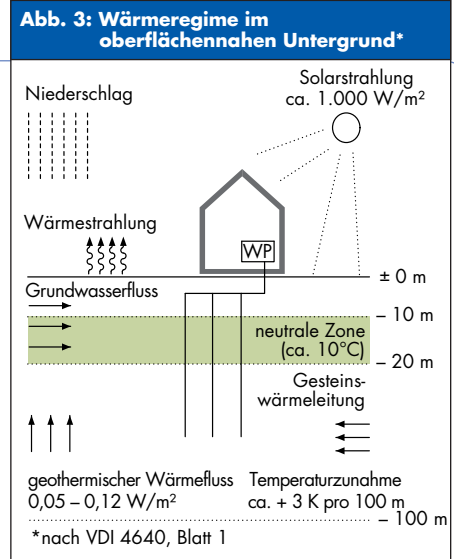


Das Erdreich zeichnet sich durch seine Wärmespeicherfähigkeit und das relativ konstante Temperaturniveau während des gesamten Jahres aus. Je nach Bodenbeschaffenheit und Gründung des Gebäudes bestehen unterschiedliche Optionen, diese oberflächennahe Erdwärme zum Kühlen bzw. Heizen zu nutzen: entweder allein über Sonden bzw. über in erdberührende Bauteile integrierte Sonden, in denen ein Wärmeträgerfluid zirkuliert, oder direkt über das Grundwasser.

Im Winter wird die Erdwärme mit Hilfe einer Wärmepumpe auf Heiztemperatur angehoben, in den Sommermonaten kann die überschüssige Wärme aus dem Gebäude im freien Umwälzbetrieb ins Erdreich transportiert werden. Je nach Bundesland und zuständiger Behörde unterliegen derartige Anlagen behördlichen Auflagen.

Die gängigsten Erdwärmesysteme sind:

- **Erdsonden:** Einzel oder als ein Feld von Sonden in unmittelbarer Nähe oder unterhalb des Gebäudes mit einer Tiefe zwischen 50 und 150 m.
- **Energiepfähle:** In die statisch notwendigen Gründungspfähle des Gebäudes integrierte Sondenrohre. Tiefe zwischen 10 und 30 m. Statisch bedingt in Länge und Anzahl.
- **Bodenabsorber:** Horizontale Leitungsschlaufen in oder unterhalb der Bodenplatte ähnlich einer Fußbodenheizung. Wärme übertragende Fläche vorgegeben.
- **Direkte Grundwassernutzung:** Förderbrunnen pumpt Grundwasser durch einen Wärmetauscher, „thermisch verwertetes“ Wasser wird über Schluckbrunnen wieder der Grundwasserschicht zugeführt.



Die langfristige Funktionsfähigkeit solcher Systeme setzt eine ausreichend schnelle Regeneration des Erdreichs voraus, also eine Annäherung an die ungestörte Bodentemperatur. Einen natürlichen Beitrag dazu leistet der Grundwasserfluss. Insbesondere bei Speichersystemen ohne Grundwasserfluss ist eine aktive Regeneration durch den Wechsel von Wärmeintrag im Sommer (Gebäudekühlung) und Wärmeentzug während des Winters (Gebäudebeheizung) notwendig. Reicht die Regeneration nicht aus, verändert sich das Temperaturniveau des Erdreichs so weit, dass die Anlage stark an Effizienz verliert und auch ökologisch bedenklich werden kann.

Monitoringergebnisse

Die beiden Forschungsprojekte Wärme- und Kältespeicherung im Erdreich (WKSP) und Thermisches Monitoring an Nichtwohngebäuden (TherMo) untersuchen die Nutzung oberflächennaher Geothermie an Nichtwohngebäuden im Betrieb. Die einbezogenen Anlagen unterscheiden sich unter anderem in Geo(hydro)logie, anlagentechnischem Aufwand, Deckungsgrad und Redundanz.

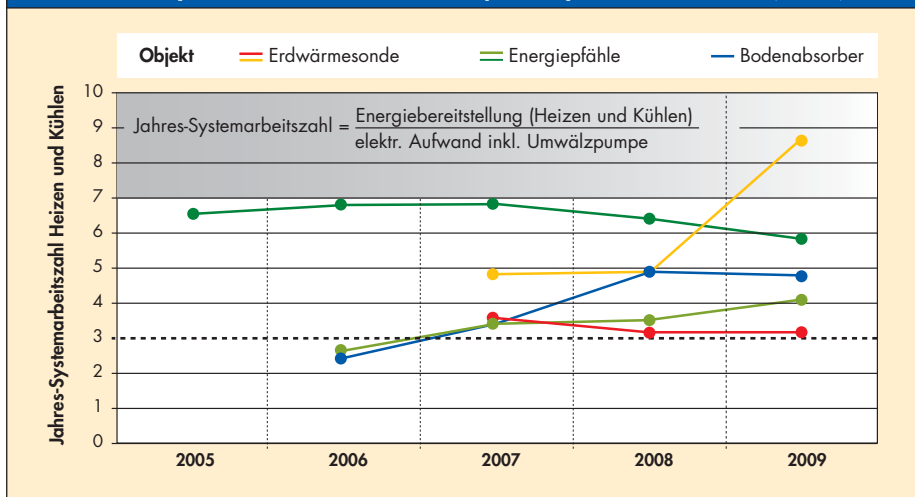
Forschungsprojekt WKSP

Der Energieertrag der Erdwärmespeicher differiert von Objekt zu Objekt. Während die im Heizbetrieb entzogenen Wärmemengen mit einzelnen Ausnahmen in etwa den Planungswerten entsprechen, weicht der Wärmeintrag im Sommer zum Teil erheblich ab. Anfangs wurde kaum eine der untersuchten Anlagen effizient betrieben. Das belegen Jahres-Systemarbeitszahlen unter 3 für Heiz- und Kühlbetrieb gemittelt – bis zu 10 sollten hier möglich sein. Im Rahmen des Monitorings konnten die Systeme und der Betrieb soweit optimiert werden, dass seit 2007 alle Anlagen Jahres-Systemarbeitszahlen zwischen 3 und 7 erreichen (Abb. 5). Der freie Kühlbetrieb konnte bei vielen der

Abb. 4: Gegenüberstellung der Projekte

Forschungsprojekt	WKSP	TherMo
Projektnehmer	Technische Universität Braunschweig	Leibniz Universität Hannover
Projektlaufzeit	07/2004 – 02/2010	09/2007 – 09/2011
Untersuchte Gebäude	11; 5 davon genauer messtechnisch untersucht	9
Planung	nicht als Bestandteil eines Forschungsprojekts geplant, Anspruch auf gute Energieeffizienz	nicht als Bestandteil eines Forschungsprojekts geplant, überwiegend kein Anspruch auf sehr gute Energieeffizienz
Inbetriebnahme	2002 – 2007	2001 – 2009
Bruttogrundfläche (BGF)	4.500 – 81.000 m²	7.400 – 54.000 m²
Erdwärmennutzung	4 x Erdwärmesonden, 5 x Energiepfähle, 2 x Bodenabsorber	3 x Erdwärmesonden, 6 x Brunnenanlagen
Heizung	Wärmepumpe; ergänzend: Fernwärme, Gas, BHKW, Abluftwärmepumpe	Wärmepumpe; ergänzend: Fernwärme, Gasbrennwertkessel
Wärmeübergabe	Betonkerntemperierung, Deckensegel; ergänzend: statische Heizkörper, Raumlufttechnische Anlagen	Betonkernaktivierung, Fußbodenheizung, statische Heizkörper; ergänzend: Lüftung
Kühlung	freier Kühlbetrieb; ergänzend: Kältemaschinen, Kühlturm bzw. Desiccant Cooling System	freier Kühlbetrieb, reversible Wärmepumpe (Direktkühlung); ergänzend: Kältemaschinen (Hybrid-, Trockenkühler)
Kälteübergabe	Betonkerntemperierung, Deckensegel, Raumlufttechnische Anlagen	Betonkerntemperierung, Kühldecken, Raumlufttechnische Anlagen, Umluftkühler (Server)
Lüftung	Natürlich, mechanisch	Natürlich, überwiegend mechanisch
mittlere Heiz- und Kühlleistungen (geothermisch)	50 – 350 kW	300 – 1.500 kW

Abb. 5: Jahres-Systemarbeitszahlen Erdwärmespeichersysteme 2005 – 2009 (WKSP)



untersuchten Anlagen bisher nicht oder nur eingeschränkt genutzt werden. Ursachen waren fehlerhafte Betriebsweisen, überwärmtes Erdreich oder nicht auf die geringen Temperaturdifferenzen zwischen Wärmesenke und Gebäudekühlsystem abgestimmte Anlagenkomponenten. Hier besteht noch weiteres Optimierungspotenzial.

Forschungsprojekt TherMo

Trotz ähnlicher Gebäudenutzung und Geothermienutzung mit hohem Deckungsgrad fallen die Gesamtprimärenergieverbräuche der untersuchten Gebäude relativ unterschiedlich aus. Bisher ermittelte Jahres-System-

arbeitszahlen für ein Objekt mit Erdsonden im Heiz- und Kühlbetrieb (Pendelbetrieb) liegen um 7. Nach einer ersten Prognose lässt sich die Energieeffizienz einzelner Anlagen um bis zu 30% steigern. Da bei diesem Forschungsprojekt die Messphase noch andauert, sind abschließende, vergleichende Auswertungen bisher nicht möglich. Das Monitoring half aber verschiedentlich bereits, Probleme aufzudecken und den Betrieb zu optimieren:

Bei mehreren Anlagen war die Anlagentechnik ungünstig konfiguriert, was in einem Fall zum Totalausfall der Wärmepumpe führte. Oder Übergabesysteme, z. B. zur Betonkern-

aktivierung, waren nicht funktionsfähig, da fehlerhaft eingebunden. Auch beim Betrieb der Brunnen bzw. Erdwärmesonden gab es Schwierigkeiten, beispielsweise Leckagen im Sondenfeld oder Förderpumpenausfall durch Erdschlüsse. Die Regelung war selten optimal eingestellt.

Die zuständigen Behörden überprüften das von ihnen für die Grundwassernutzung vorgeschriebene Monitoringkonzept bei den untersuchten Gebäuden während der Bauphase und der Bauabnahme selten. Im Betrieb weisen die erforderlichen Messungen oftmals Lücken auf oder Temperaturgrenzen werden nicht eingehalten. Eine Anlage wurde daher zwischenzeitlich auf behördliche Anordnung abgeschaltet.

Da die Systeme auf der Grundlage sehr geringer Temperaturdifferenzen arbeiten, wirken sich schon kleine Messungenauigkeiten stark auf die gemessene Energiebilanz aus. Die meist für die Temperaturmessung verwendeten Standard-Temperaturmesswertgeber der Regelungstechnik mit einer Fehlertoleranz von +/- 1 Kelvin können die Energiebilanz um bis zu 36% verfälschen. Im Rahmen des Projekts konnte bei drei Gebäuden die Temperaturmessgenauigkeit erhöht und damit der mögliche Messfehler in der Temperaturdifferenz auf 11% reduziert werden.

► Praxiserfahrungen

Planung

Durch eine entsprechende architektonische Gestaltung, gut gedämmte Fassaden, Sonnenschutzmaßnahmen und Lüftungskonzepte lassen sich die Heiz- und Kühllasten minimieren. Erst dann eignen sich solche Systeme zum Heizen bzw. Kühlen gut, die mit einer geringen Temperaturdifferenz zum Erdreich arbeiten. Damit die Wärme bzw. Kälte aus dem Erdreich im Gebäude noch ankommt, müssen die Systemkomponenten zur Erdwärmennutzung, wie Wärmetauscher, Pumpen, hydraulische Weichen etc., exakt ausgelegt werden. Sowohl die Wärmepumpe als auch, wenn vorhanden, die Brunnenpumpe sollten teillastfähig sein, um sich dem Bedarf flexibel anpassen zu können, beispielsweise über eine Stufenschaltung oder einen Frequenzumrichter. Zur Auslegung größerer Anlagen lohnt sich eine thermische Simulation.

Messtechnik

Eine messtechnische Mindestausstattung ist die Grundlage, um den Betrieb optimal einzuregulieren und auf Dauer zu überwachen: neben Temperatursensoren umfasst dies Wärme- / Kältemengenzähler, Stromverbrauchsmessung an Wärmepumpen sowie an Brunnen- bzw. Erdsondenpumpen. Bei

komplexeren Anlagen sollte im Vorfeld die relevante Bilanzgrenze für die Bestimmung der Arbeitszahlen genau bedacht werden, um Wärmemengen und Stromverbraucher richtig zu erfassen.

Die Temperatursensoren müssen bei den vorhandenen, kleinen Temperaturdifferenzen (Wärmequellenseite 3–5 K) für eine exakte Wärmeertragsbilanz sehr genau kalibriert sein. Frühzeitig eingeplant lassen sich die für eine Wärmeertragsbilanz und die behördlich geforderte Überwachung notwendigen Messpunkte in die meist ohnehin vorhandene Gebäudeleittechnik einbinden. Diese sollte generell alle relevanten Messdaten archivieren.

Regelung

Sind die baulichen und anlagentechnischen Voraussetzungen erfüllt, steht und fällt die Effizienz und Funktionsfähigkeit der Erdwärmennutzung mit einer geeigneten Regelstrategie. Generell muss diese alle zum Heizen und Kühlen vorhandenen Anlagen mit einbeziehen und aufeinander abstimmen. Das Konzept sollte umfassend überprüft und der Betrieb bis zum Erreichen des Regelbetriebs messtechnisch begleitet und optimiert werden.

Weitere Folgerungen der Wissenschaftler in Bezug auf die Regelung:

- Anlageninbetriebnahme von Speichersystemen in der Heizperiode, um eine größere Wärmesenke für den freien Kühlbetrieb im Sommer zu schaffen.
- Kältemaschinenbetrieb möglichst erst zum Ende der Saison, wenn das Kältepotenzial für freien Kühlbetrieb erschöpft ist – sonst Rückkühlung des Erdspeichers auf erforderliches Temperaturniveau für freien Kühlbetrieb häufig nicht mehr möglich.
- Vermeidung eines ineffizienten Betriebs von Betonkernaktivierung in den Übergangszeiten Frühling und Herbst, z. B. durch „Totband“ (weder Heizen noch Kühlen) in Abhängigkeit einer gemittelten Außentemperatur.
- Optimale Abstimmung der Regelstrategien bei Kombination von trägen und flinken Übergabesystemen – Wärmezug aus dem Erdreich sonst durch die träge Bauteilaktivierung deutlich geringer als erforderlich und in der Planung angenommen.

Fazit

Die Erfahrungen der Forschungsprojekte zeigen, dass sich oberflächennahe Geothermie für die Temperierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden grundsätzlich gut eignet. Bei entsprechender Auslegung und richtigem Betrieb sind, abhängig von Größe, Effizienz und Auslastung der Anlage, erhebliche Energiekosteneinsparungen sowie CO₂-Reduktionen im Vergleich zu konventionellen Heiz- und Kühlsystemen möglich.

Doch die untersuchten Gebäude, die diese relativ junge Technologie nutzen, zeigen fast alle noch fehlerhafte Details: sowohl in Planung und Ausführung als auch insbesondere bei Regelung und Betrieb. Die Geothermieanlagen spielen im Alltag eines Betreibers häufig nur eine untergeordnete Rolle, solange sie funktionieren oder redundante Systeme fehlende Leistung ergänzen. Ein Betriebsmonitoring ist also nicht nur gerechtfertigt, weil es Effizienzsteigerung ermöglicht, sondern auch, weil es hilft, Ausfällen vorzubeugen. Dazu sollten mindestens die Ein- und Austrittstemperaturen des Erdwärmespeichers sowie der Wärmeentzug und -eintrag überwacht werden. Abweichungen vom Regelbetrieb können so rechtzeitig erkannt und notwendige Maßnahmen schnell umgesetzt werden.

Generell ist sowohl eine Abstimmung des Gebäude- als auch des Technik- und Regelungskonzepts auf die Erdwärmenutzung erforderlich. Für die Energieeffizienz der Systeme, den thermischen Komfort im Gebäude sowie die dauerhafte Funktionalität muss bei Planung und Ausführung ein hoher qualitativer Standard eingehalten werden. Und um den Betrieb zu überwachen, benötigt man ausreichende, genaue Messeinrichtungen. Nach einer umfassenden Abnahme und Inbetriebnahme bedarf es dann einer Einregelungsphase von etwa zwei Jahren. In dieser Zeit sollte die Anlage messtechnisch begleitet werden, so dass das System an die realen Randbedingungen angepasst und das Zusammenspiel zwischen dem Gebäude, den Anlagen zur Erdwärmenutzung und weiterer Technik zur thermischen Konditionierung als auch den Nutzern optimiert werden kann. Fehlende Erfahrungen bei ausführenden Firmen und den Betreibern der Anlagen können diese Phase deutlich verlängern.

Aus den Erfahrungen im Rahmen des Projekts WKSP wurde ein Leitfaden für die Erdwärmenutzung in Bürogebäuden über Erdwärmesonden, Energiepfähle und Bodenabsorber entwickelt. Er wird als BINE-Fachbuch herausgegeben.

PROJEKTADRESSEN

Begleitforschung WKSP

- TU Braunschweig
Institut für Gebäude- und Solartechnik
Franziska Bockelmann, Herdis Kipry
Mühlenpfordtstraße 23
38106 Braunschweig
www.igs.bau.tu-bs.de

Kooperationspartner WKSP

- Meteocontrol GmbH,
Energy & Weather Services
Spicherer Straße 48
86157 Augsburg

Kooperationspartner WKSP

- TU Braunschweig
Institut für Grundbau
und Bodenmechanik
Gaußstraße 2
38106 Braunschweig

Begleitforschung TherMo

- Leibniz Universität Hannover,
Institut für Entwerfen und Konstruieren
Gunnar Harhausen,
Matthias Wohlfahrt
Herrenhäuser Straße 8
30419 Hannover
www.iek.uni-hannover.de

Kooperationspartner TherMo

- UBeG GbR,
Dr. Burkhard Sanner
Zum Boden 6
35580 Wetzlar

ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Internet

- www.enob.info

Literatur

- Erdwärme für Bürogebäude nutzen.
FIZ Karlsruhe. BINE Informationsdienst,
Bonn (Hrsg.). Stuttgart: Fraunhofer IRB
Verl., (geplant für Nov. 2010). ca. 160 S.,
1. Aufl., ISBN 978-3-81678325-1,
ca. 29,30 Euro: BINE-Fachbuch

Abbildungsnachweis

- Hintergrundbild S. 1, Abb. 2, Abb. 5
und Hintergrundbild S. 4: IGS, Braunschweig
- Abb. 1: Katzenbach, Darmstadt
- Abb. 3: LUH, Hannover

Service

- Dieses Projektinfo gibt es auch als
online-Dokument unter www.bine.info
im Bereich Publikationen/Projektinfos.
In der Rubrik „Service“ finden Sie
ergänzende Informationen wie weitere
Projektadressen und Links.

PROJEKTORGANISATION

- Bundesministerium für Wirtschaft
und Technologie (BMWi)
11019 Berlin

Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Rolf Stricker
52425 Jülich

- Förderkennzeichen
0327364A, B

IMPRESSUM

ISSN

0937 – 8367

Version in Englisch

Das Dokument finden Sie unter www.bine.info.

Herausgeber

FIZ Karlsruhe
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Urheberrecht

Eine Verwendung von Text und Abbildungen
aus dieser Publikation ist nur mit Zustimmung der
BINE-Redaktion gestattet. Sprechen Sie uns an.

Autorin

Dorothee Gintars

BINE Informationsdienst Energieforschung für die Praxis

BINE Informationsdienst berichtet
zu Energieeffizienztechnologien und
Erneuerbaren Energien.

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

Kontakt

Haben Sie Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter:

Tel. 0228 92379-44



FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstraße 185 – 197
53113 Bonn

kontakt@bine.info
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages