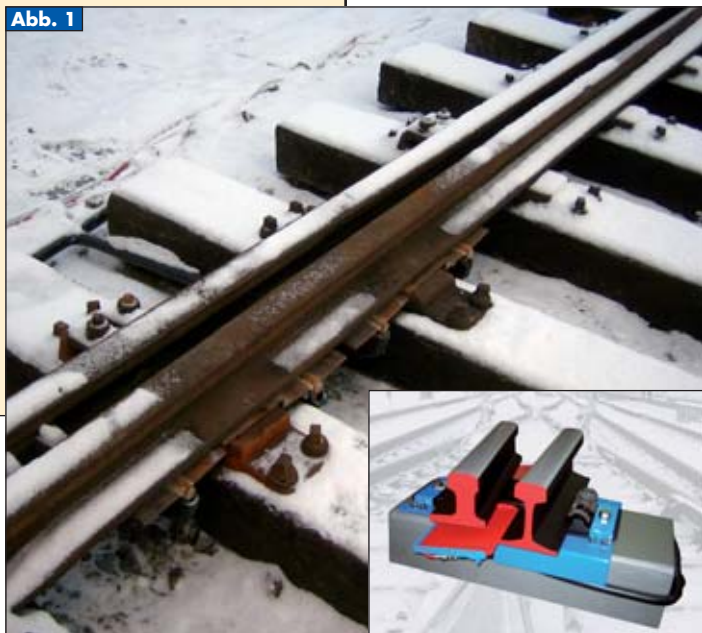




Weichenheizung mit Erdwärme

Abb. 1



- ▶ Weichen lassen sich geothermisch eisfrei halten
- ▶ Selbstregelndes System arbeitet ohne Hilfsenergie und ist wartungsarm
- ▶ Geringe Betriebskosten ermöglichen Amortisationszeiten unter 10 Jahren
- ▶ Weltweit besteht ein großes Einsatzpotenzial

Schneefrei alleine mit Erdwärme

A „Alle reden vom Wetter – wir nicht.“ Die größere Unabhängigkeit von den Witterungsbedingungen ist ein Wettbewerbsvorteil des Schienenverkehrs gegenüber dem Straßenverkehr. Aber auch der Betrieb von Eisenbahnen und Straßenbahnen erfordert im Winter einigen Aufwand. Nicht nur die Bahnsteige und Bahnübergänge, sondern auch die zahlreichen Weichen des Streckennetzes müssen frei von Schnee und Eis gehalten werden, um einen sicheren und reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Hierzu dienen Weichenheizungsanlagen, die verhindern, dass die beweglichen Teile der Weiche einfrieren.

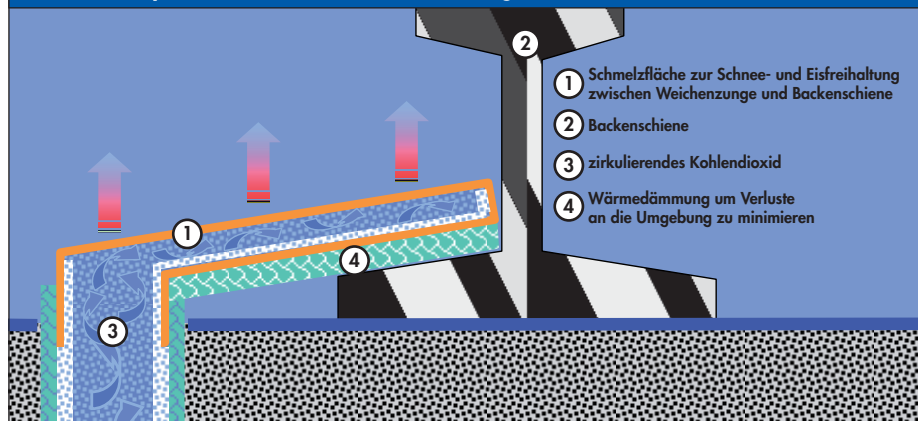
Allein bei der Deutschen Bahn AG werden etwa 64.000 Weichen beheizt – in der Regel mit elektrischen Widerstands- oder Gasheizungen. Diese Systeme erfordern einen geringen Investitionsaufwand und arbeiten auch bei extremen Witterungsbedingungen zuverlässig. Der Energieaufwand ist allerdings beträchtlich. In Deutschland verbrauchen sie jährlich rund 230 GWh elektrische Energie, bei einer installierten Gesamtleistung von rund 900 MW.

Deutliche Energieeinsparungen von mehr als 40% erzielen geothermische Weichenheizungen, die seit einigen Jahren als Alternative ein-

gesetzt werden. Sie nutzen Wärme aus dem Erdreich oder dem Grundwasser. Dabei hebt eine elektrisch betriebene Wärmepumpe das Temperaturniveau je nach Bedarf auf bis zu 65 °C an.

Einen weiteren Schritt in Richtung Energieeffizienz geht ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördertes Forschungsprojekt. Wissenschaftler der PINTSCH ABEN geotherm GmbH und des ZAE Bayern entwickeln gemeinsam ein Heizungssystem für die Schnee- und Eisfreiheit von Eisenbahnweichen, das außer dem Erdreich als Wärmereservoir keine weitere Energiequelle benötigt. Kernstück der Anlage ist ein sogenanntes CO₂-Wärmerohr, das auch bei geringen Temperaturdifferenzen Niedertemperaturwärme mit hoher Leistung aus dem Boden zur Weiche transportiert. Mit experimentellen Untersuchungen an einem Sondenteststand wurden zunächst die Grundlagen für die konkrete Auslegung der geothermischen Weichenheizung geschaffen. Darauf aufbauend demonstrierten die Forscher die Funktion an einer Musterweiche auf dem Firmengelände. Ein erster Prototyp soll Ende 2010 in Hamburg in Betrieb gehen und die Alltagstauglichkeit im realen Betrieb beweisen.

Abb. 2: Prinzipieller Aufbau einer Weichenheizung



Das Erdwärmesystem zur Beheizung von Weichen arbeitet nach dem Wärmerohr-Prinzip. Dabei ist der Verdampfer in Form einer langen Erdwärmesonde ausgeführt. Der Kondensator befindet sich direkt an der Weiche (Abb. 2). Als Arbeitsmedium dient Kohlendioxid, das bei einem Druck von etwa 40 bar in den gasdicht verschlossenen Wärmerohren zirkuliert. Daraus resultiert eine Arbeitstemperatur des Wärmeträgers von ca. 6 bis 10 °C, genug, um Schnee und Eis zu schmelzen, da ausreichend Wärme zur Verfügung steht.

Das Wärmerohr ist in drei Zonen aufgeteilt:

- Warmzone
- Isolations- oder Transportzone
- Kaltzone

Das flüssige Arbeitsmedium nimmt in der Warmzone Energie aus dem umgebenden Erdreich auf. Dabei verdampft es und steigt durch die Isolations- oder Transportzone in

Die Wärmeübertragung

Die Wärmeübertragung in einer als Verdampfer ausgebildeten Erdwärmesonde ist ein komplexer Vorgang. Unterschiedliche hydrodynamische und Wärmetransport-Phänomene treten im Verdampfer eines Thermosiphon auf, so dass erhebliche Unsicherheiten bei der Reproduzierbarkeit und Vorhersagbarkeit des Wärmetransportes bestehen. Abhängig von der Temperaturdifferenz tritt im Pool aus flüssigem Wärmeträger am Fuß des Verdampfers konvektives oder Blasensiedung auf. Auch die vom Kondensator zurücklaufende Flüssigkeit siedet an der Verdampferwand oberhalb des Pools. Je nachdem, wie gut die Benetzung ist, ist der Wärmetransport von der Verdampferwand zum Wärmeträger besser oder schlechter.

Der Staudruck kann parallel unterschiedliche Siedeformen im Pool bewirken. So kann im oberen Bereich des Pools Blasensieden vorliegen, während tiefer konvektives Sieden auftritt und die Flüssigkeit noch weiter unten aufgrund des Druckes gar nicht siedet. Wie die unterschiedlichen Bereiche sich ausbilden, hängt neben der Poolhöhe auch von der Wärmeabnahme am Kondensator am anderen Ende des Thermosiphons ab.

die Kaltzone, den Bereich der Energieabgabe auf. Dort kondensiert es wieder und fließt, der Schwerkraft folgend, in die Warmzone zurück.

Liegt die Temperatur der Weiche höher als der Kondensationspunkt des Arbeitsmediums, kommt der Kreislauf zum Erliegen. Das bedeutet, dass dieses System selbstregelnd ist, keiner externen Steuerung bedarf und völlig autark betrieben wird.

Anforderungen

Die direkte Nutzung von Erdwärme mit einem Thermosiphon unterscheidet sich in einigen wesentlichen Punkten von herkömmlichen Erdwärmesondensystemen in Kombination mit Wärmepumpen.

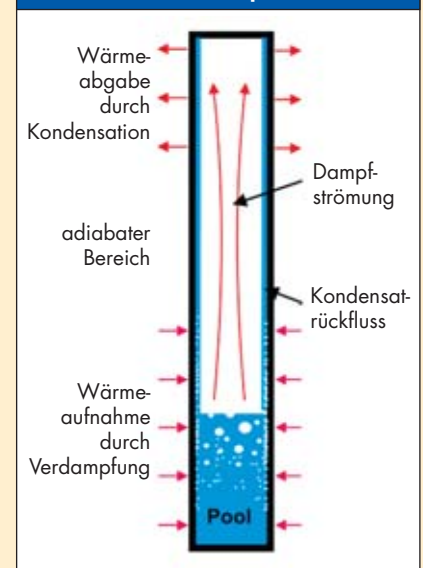
Eine sehr geringe Temperaturdifferenz zwischen Boden und Oberfläche muss zur Übertragung der Nennleistung ausreichen, um dem Boden effektiv Wärme entziehen zu können. Insbesondere die Wärmeübertragung des Kondensators an kritische Bereiche der Weiche ist entsprechend auszulegen. Andernfalls muss die Übertragungsfläche im Boden sehr groß gewählt werden. Das ist aber aus wirtschaftlichen Gründen nicht vertretbar. Des Weiteren muss der Wärmeentzug gleichmäßig über die gesamte Verdampferlänge erfolgen, da sonst der Boden ungleichmäßig ausgekühlt und auch die Übertragungsfläche im Boden nicht optimal genutzt wird.

Eine weitere Besonderheit betrifft das Anlaufverhalten. Im Gegensatz zur Wasserglykolsonde, die mit dem Einschalten der Umwälzpumpe praktisch sofort Wärme bereitstellt, muss eine direkt betriebene CO₂-Erdwärmesonde erst einmal anlaufen. Dies geschieht nach einem Stillstand ausschließlich aus dem Pool, in dem der Wärmeträger zu sieden beginnt. Erst wenn das zurücklaufende Kondensat die gesamte Innenseite der Sonde benetzt, steht die volle Verdampferleistung zur Verfügung. Dies sollte möglichst schnell erfolgen. Sonst kann es passieren, dass bei schwankender Last auf sehr niedrigem Niveau nur der untere Bereich um den Pool ausgekühlt wird. Im Extrem-

Wärmerohr

Ein Wärmerohr ist ein Wärmeübertrager, der ohne Hilfsenergie bei sehr geringen Temperaturdifferenzen große Wärmeströme übertragen kann (Abb. 3). Der Wärmetransport erfolgt in Form latenter Wärme durch Verdampfen und Kondensieren eines leicht siedenden Wärmeträgers. Dieser befindet sich in einem geschlossenen Behälter im Zweiphasenzustand, d. h. ein Teil ist flüssig, der andere Teil ist gasförmig. Ein Ende des Behälters dient als Verdampfer und das andere Ende als Kondensator. Bei einer Temperaturdifferenz zwischen Verdampfer und Kondensator verdampft der flüssige Wärmeträger, strömt zum Kondensator und verflüssigt sich dort, dabei gibt er die Verdampfungswärme an diesen ab. Anschließend fließt er zurück zum Verdampfer. Erfolgt der Rücktransport des Wärmeträgers zum Verdampfer aufgrund der Schwerkraft, spricht man von einem Thermosiphon.

Abb. 3: Funktionsprinzip eines Thermosiphon



fall könnte dies zu einem Versagen des Systems führen, da zum Anlaufen immer ein ausreichendes Temperaturniveau um den Poolbereich vorhanden sein muss.

Die Menge macht's

Der flüssige Wärmeträger bildet am Fuß des Verdampfers ein Reservoir, das auch als "Pool" bezeichnet wird. Der Staudruck im Pool wirkt sich negativ auf die Verdampferleistung aus, da er die Siedetemperatur im Pool mit zunehmender Tiefe erhöht. In diesem Bereich kann auch das Erdreich nicht mehr vollständig entladen werden. Wichtig ist es trotzdem, eine ausreichende Poolhöhe bereit zu stellen, da beim Anlaufen nur aus dem Bereich um den Pool Wärme aus dem Boden entnommen werden kann. Bei einem herkömmlichen Thermosiphon tritt bei kleinen Wärmeströmen und großen Füllmengen Geysir-Sieden auf, bei dem Flüssigkeit durch eine expandierende Dampfblase nach oben gefördert wird. Die Dampfblase wächst bis zum Durchmesser des Rohres

an. Wenn der Flüssigkeitspfropfen von der Dampfblase durchstoßen wird, läuft die Flüssigkeit an der Verdampferwand zurück zum Pool und benetzt dabei ganz oder teilweise den Verdampfer. Bei kleinen Füllmengen bildet die zurücklaufende Flüssigkeit zum Teil kleine Rinnsale. In diesem Fall wird der Wärmeübergang reduziert, da trockene Stellen im Verdampfer auftreten. Bei sehr geringen Füllmengen, bei denen die gesamte Flüssigkeit bei hoher Leistung im Thermosiphon zirkuliert, kann der Verdampfer partiell austrocknen. Es steht dann nicht mehr genügend Wärmeträger zur Verfügung, um den Verdampfer vollständig zu benetzen.

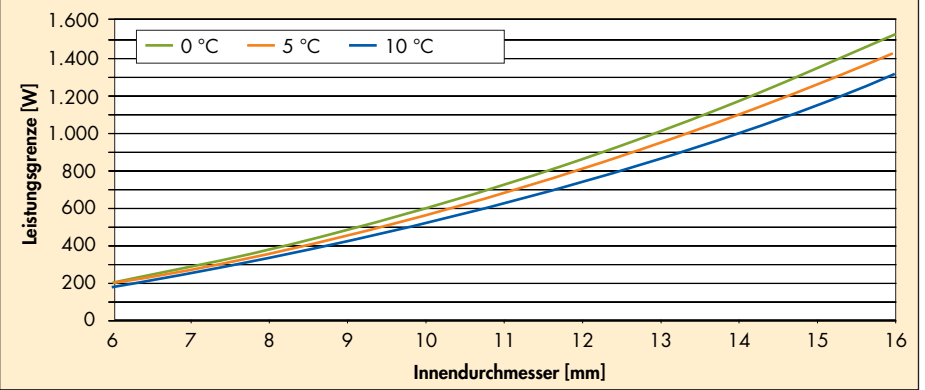
Leistungsgrenzen

Bei einem Thermosiphon können drei die Leistung begrenzende Zustände auftreten, von denen in einer CO₂-Erdwärmesonde lediglich die sogenannte Wechselwirkungsgrenze eine Rolle spielt.

Die Wechselwirkungsgrenze

Bei hohen axialen Wärmestromdichten kann der zum Kondensator aufsteigende Dampf den Rückfluss des Kondensats in den Verdampfer behindern. Dies kann so weit gehen, dass der Kondensator geflutet wird, während der Verdampfer austrocknet. **Abb. 4** zeigt die Wechselwirkungsgrenze

Abb. 4: Wechselwirkungsgrenze für einen CO₂-Thermosiphon [nach P.D. Dunn]



grenze in Abhängigkeit des Innendurchmessers für glatte Rohre für unterschiedliche CO₂-Temperaturen. Man erkennt, dass die Wechselwirkungsgrenze für kleine Verdampfer-Innendurchmesser bereits bei Leistungen deutlich unter 1 kW erreicht wird. Der Einfluss der Temperatur des Wärmeträgers ist dabei ebenfalls nicht zu vernachlässigen.

Die Austrocknungsgrenze

Bei kleinen Füllmengen kann es passieren, dass ab einer bestimmten Übertragungsleistung das gesamte Arbeitsmedium im Thermosiphon zirkuliert und bei weiterer Steigerung der angelegten Temperaturdif-

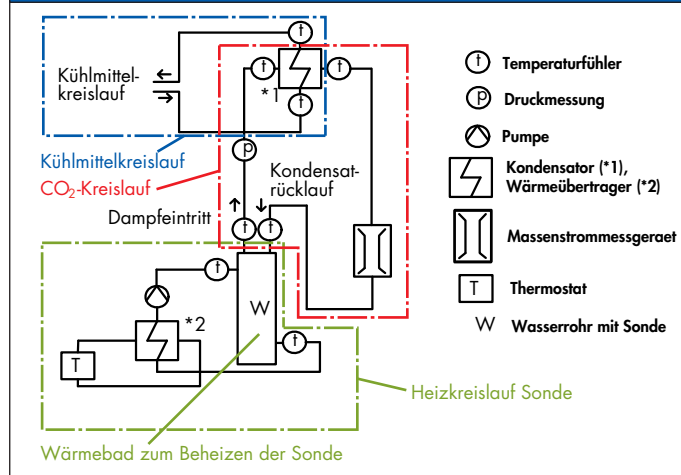
ferenz der Verdampfer austrocknet. Direkt betriebene CO₂-Erdwärmesonden werden jedoch wegen Anlaufverhaltens ausreichend befüllt und die Austrocknungsgrenze wird deshalb nicht erreicht.

Die kritische Heizflächenbelastung

Bei zu hohen Wandtemperaturen des Verdampfers bildet sich ein geschlossener Dampffilm zwischen Verdampferwand und flüssigem Wärmeträger. Auch dieser Effekt tritt bei direkt betriebenen CO₂-Erdwärmesonden wegen der geringen Temperaturdifferenzen nicht auf.

Experimentelle Untersuchungen

Abb. 5: Versuchsaufbau



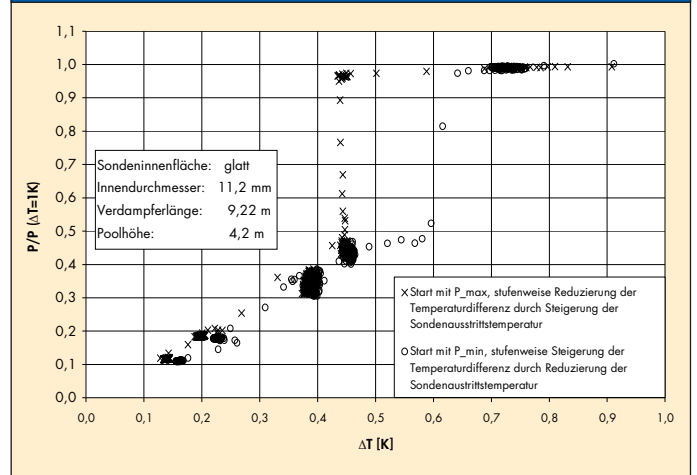
Experimentell untersucht wurde die Leistung der Sonde, abhängig von definierten Oberflächentemperaturen des Verdampfers und der Austrittstemperatur aus dem Verdampfer.

Versuchsaufbau

Der Versuchstand besteht aus drei Kreisläufen, dem Heizkreislauf zum Beheizen der Sonde, dem Kühlmittelkreislauf zum Kühlen des Kondensators und dem CO₂-Kreislauf, in dem die Sonde betrieben wird (**Abb. 5**). Die Sonde wird in einem Heizrohr mit

Wasser umströmt. Dadurch wird eine sehr gleichmäßige und konstante Oberflächentemperatur der Sonde erzielt. Im Kühlmittelkreislauf wird die Abwärme des Kondensators abgeführt. Mit der Messung der Temperaturen und der Masseströme in den Kreisläufen kann die Leistungscharakteristik ermittelt werden. Mit dem experimentellen Aufbau können derzeit Sonden mit einer Länge von bis zu 9,2 m und einem maximalen Außendurchmesser von 20 mm getestet werden.

Abb. 6: Leistungscharakteristik einer CO₂-Erdwärmesonde



Ergebnisse

Abb. 6 zeigt als Beispiel die typische Leistungscharakteristik eines Glattrohres, gemessen an einem 9 m langen Verdampferrohr mit 11,2 mm Innendurchmesser. Dargestellt ist die relative Leistung der Sonde in Abhängigkeit von der angelegten Temperaturdifferenz zwischen Wasserbad und Sondenaustritt. Die Daten ermöglichen es, die Auswirkungen verschiedener Sondengeometrien und Sondenoberflächen zu bewerten.

► Fazit und Ausblick

Geothermische Wärme sorgt nicht nur im Schienenverkehr für mehr Verkehrssicherheit. In etlichen Ländern werden bereits Bahnsteige, Brücken, Straßen oder Sportstätten mit Erdwärme eis- und schneefrei gehalten. Dies entschärft Gefahrenpunkte, vermindert den Einsatz von umweltschädlichem Streusalz und spart Material- und Mitarbeiterkosten für den Winterdienst.

Die hier vorgestellte Wärmerohr-Technologie zur Beheizung von Weichen nutzt die Erdwärme direkt, ohne zusätzliche Steuerungen, Umwälz- oder Wärmepumpen. Es entstehen somit keine betriebsbedingten Energiekosten. Der Wartungsaufwand wird auf ein Minimum reduziert und die Lebenszykluskosten liegen bis zu 63% unter denen konventioneller Systeme. Bei steigenden Energiekosten verschiebt sich diese Relation weiter zugunsten der erdwärme gestützten Weichenheizungen. Dies ermöglicht es zukünftig auch, Verkehrsflächen wirtschaftlich schnee- und eisfrei zu halten.

Je nach Weichengeometrie erwarten die Forscher Investitionskosten zwischen 30.000 und 40.000 Euro pro Weiche. Werden die Investitions- und Betriebskosten der geothermischen Weichenheizung denen von konventionellen Systemen gegenübergestellt, so ergibt sich eine Amortisationszeit von acht bis zehn Jahren. Dabei sind die Lebenszykluskosten der konventionellen Weichenheizungen maßgeblich von den Wartungs- und Energiekosten bestimmt. Beide Kostenarten spielen bei der geothermischen Weichenheizung, wegen der wegfallenden Energiekosten und der zu erwartenden minimalen Wartungskosten, eine sehr viel geringere Rolle.

Die weltweit erste Weichenheizung dieser Bauart wird Ende 2010 bei der Hamburger Hafenbahn – im Rahmen der Green Capital Hamburg 2011 installiert. Vorgesehen sind zwei Sonden mit einer Gesamtlänge von 75 Metern.

Bei zahlreichen Eisenbahnen und Nahverkehrsbetrieben in Deutschland, Europa und Nordamerika besteht großes Interesse an der Technologie. Gemeinsam mit DB Systemtechnik und dem Eisenbahn-Bundesamt wird das System an deren Anforderungen angepasst und zugelassen. Ein baldiger Einsatz bei DB Netz ist in Form eines Pilotprojektes geplant.

► PROJEKTADRESSEN

- PINTSCH ABEN geotherm GmbH
Damian Schink
Hünxer Strasse 149
46537 Dinslaken
- ZAE Bayern
Lars Staudacher
Walther-Meißner-Str. 6
85748 Garching

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Faghri, A.: Heat Pipe Science and Technology. New York; London: Taylor and Francis, 1995. ISBN 978-1-56032-383-9
- Dunn, P. D.; Reay, D. A.: Heat Pipes. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. 5th edition. ISBN 978-0-7506-6754-8
- Staudacher, L.; Schink, D.: CO₂-Heat Pipe zur direkten Nutzung von Erdwärme. In: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf (Hrsg.): Wärmepumpen, Umweltwärme sinnvoll nutzen. 1. VDI Fachkonferenz. Stuttgart, 08.- 09. Juni 2010. Tagungsband. 2010

Abbildungsnachweis

- Abb. 1-6: PINTSCH ABEN geotherm GmbH
- Hintergrundbild Seite 1: panthermedia.net

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
Dr. Hendrik Wust
52425 Jülich

■ Förderkennzeichen
0327446A

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.

■ Autor
Dr. Franz Meyer

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