



## Trockenbraunkohle erhöht die Flexibilität

Zünd- und Stützbrenner mit Plasmazündung helfen, schnellere Laständerungen von Braunkohlekraftwerken zu erreichen



*Im Schulterschluss zur Energiewende: Kohlekraftwerke werden flexibler, damit mehr Energie aus erneuerbaren Quellen das Netz speisen kann. Deren Leistung reicht derzeit noch nicht aus, um jederzeit den gesamten Energiebedarf in Deutschland zu decken. Doch ihr Anteil wächst. Dadurch wandelt sich die Rolle von konventionellen Kraftwerken: Statt gleichmäßiger Grundlast bedienen sie nun die schwankende Residuallast. Um das zu erreichen, kommen im Kraftwerk im brandenburgischen Jänschwalde weltweit erstmals Zündbrenner mit integrierter Plasmazündung zum Einsatz. Als Brennstoff verwenden sie Trockenbraunkohle.*

Nur mit einer großen Lastflexibilität können Kohlekraftwerke auch in den kommenden Jahren das System stützen. Das hat mehrere Gründe. Netzbetreiber speisen erneuerbare Energie vorrangig ein. Doch diese Energie reicht nicht aus, um jederzeit den Strombedarf zu decken. Den Rest, die sogenannte Residuallast, liefern fossile Kraftwerke. Durch den Zubau von Wind- und Sonnenenergie und die damit verbundene schwankende Einspeisung steigt die Höhe der benötigten Flexibilität von Kraftwerken.

Die dezentrale Einspeisung in dünn besiedelten Gebieten bedingt zudem einen Stromtransport in die Ballungs- und Industriegebiete. Dadurch drohen häufiger Leitungsüberlastungen im Netz. Wenn ein sogenannter Engpass herrscht, heißt es schnell handeln: Auf der einen Seite wird die Erzeugungsleistung gedrosselt, auf der anderen erhöht. Die Folge: Es wird weniger Strom über die belastete Leitung transportiert. Dieser Eingriff in den Einsatzplan von Kraftwerken heißt Redispatch. In den vergangenen Jahren stiegen diese Maßnahmen im deutschen

Übertragungsnetz von 1.588 Stunden in 2010 auf 8.435 Stunden in 2014. In den ersten drei Quartalen 2015 wurde dieser Wert bereits übertroffen, die Zahlen des vierten Quartals lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

### Neuer Brennstoff: Trockenbraunkohle statt Öl

Um bestehende Kraftwerke flexibler betreiben zu können, hat Vattenfall innerhalb eines Forschungsvorhabens Zündbrenner im Kraftwerk Jämschwalde ausgetauscht. Als Brennmaterial nutzen die neuen Modelle Trockenbraunkohle (TBK) statt schweren Heizöls. Das Ziel war es, sie sowohl als Anfahr- als auch als Stützbrenner zu betreiben. Die Stützfeuerung ermöglicht es, die Blockmindestlast von 36 auf 26 Prozent zu senken. So können die Kraftwerke auch bei einem hohen Anteil erneuerbarer Energie zur Systemstabilität im Stromnetz beitragen.

Die neuen Stützbrenner (Abb. 1) im Kessel F2 besitzen eine elektrische Direktzündung. Dabei entsteht an der Zündlanze ein durch Mikrowellen induziertes Plasma. Über einen Luftstrom gelangt die fein aufgemahlene Kohle in die Brenner. Am Ende umströmt sie das Plasma und entzündet sich.

Die notwendigen Grundlagen und experimentellen Versuche zu diesem Verfahren gehen auf Erkenntnisse der nahe Jämschwalde gelegenen Forschungsanlage in Schwarze Pumpe zurück. Dort wurden die Brenner für den Einsatz im großtechnischen Maßstab vorbereitet. Jämschwalde ist das erste Kraftwerk weltweit, in dem Trockenbraunkohle-Brenner zur Stütz- und Anfahrfeuerung mit Plasmazündung zum Einsatz kommen.

### Im Mischfeuerbetrieb sinkt die Mindestlast

Ein weiterer Vorteil der TBK-Brenner ist die erweiterte Regelbarkeit. Sie können zwischen 25 und 100 Prozent ihrer Nennleistung eingesetzt werden. Im Forschungsprojekt hat Vattenfall den Stützfeuer-Betrieb der TBK-Feuerung in Kombination mit zwei und drei Rohbraunkohle-Mühlen (RBK-Mühlen) untersucht. Sogar unter Vollast gibt es sinnvolle Einsatzzwecke für die Brenner. Abbildung 2 zeigt die untersuchten Szenarien mit der erzeugten Dampfmenge, abgetragen auf der Feuerungswärmeleistung. Der Mischfeuerbetrieb deckt die Teillast, der RBK-Betrieb mit und ohne Boosterfeuer den Betrieb bei Vollast ab. Während des Anfahrprozesses sind die RBK-Mühlen abgeschaltet und die Feuerung findet ausschließlich mit den TBK-Brennern statt. Das ist ganz links auf der Grafik abgebildet.

Beim Abschalten einer oder mehrerer RBK-Mühlen sinkt – wie gewünscht – die Feuerungs- und damit die Dampf-, Turbinen- und Generatorleistung. Die unsymmetrisch angeordneten Feuer verursachen dann aber Temperaturgefälle im Zwischenüberhitzer (Abb. 3). Das ist schädlich für die Bauteile. Die Stützbrenner minimieren die Temperaturunterschiede. Im Mischfeuerbetrieb ermöglichen die TBK-Brenner beim gleichzeitigen Einsatz von zwei oder drei RBK-Mühlen die gewünschte, gleichmäßige Temperaturverteilung. Je nachdem, welche Mühlen eingeschaltet sind, können unterschiedliche Brenner-Kombinationen Temperaturunterschiede ausgleichen. Neben dem automatischen Betrieb erlaubt ein manueller Eingriff der Techniker vom Leitstand aus, Temperaturschieflagen zu korrigieren. Aus Kostengründen galt es zu berücksichtigen, möglichst wenig Trockenbraunkohle einzusetzen.

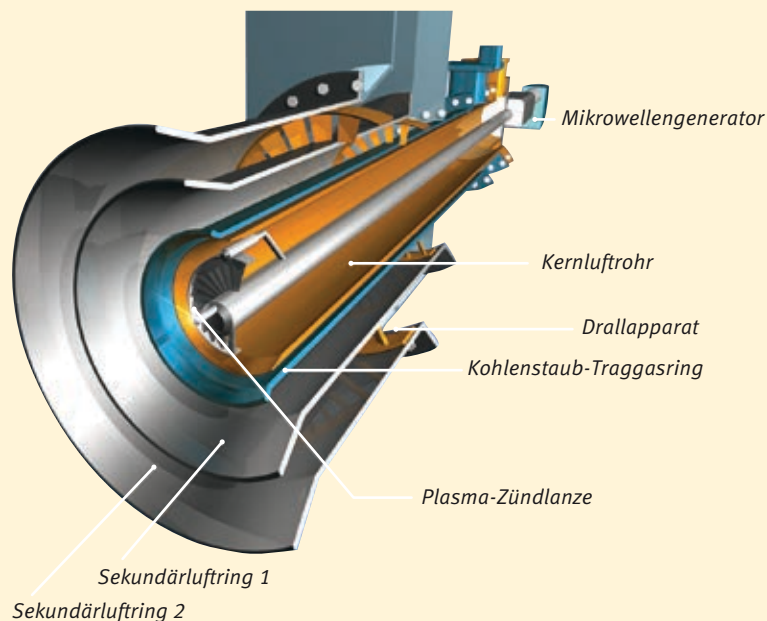


Abb. 1 Der Brennstoff gelangt gemeinsam mit der Förderluft in den Brenner und umströmt an seinem Ende die Plasma-Zündlanze. An der Zündung sorgen zwei Sekundärluft-Einsätze für eine ausreichende Luftzufuhr, die eine vollständige Verbrennung ermöglicht.

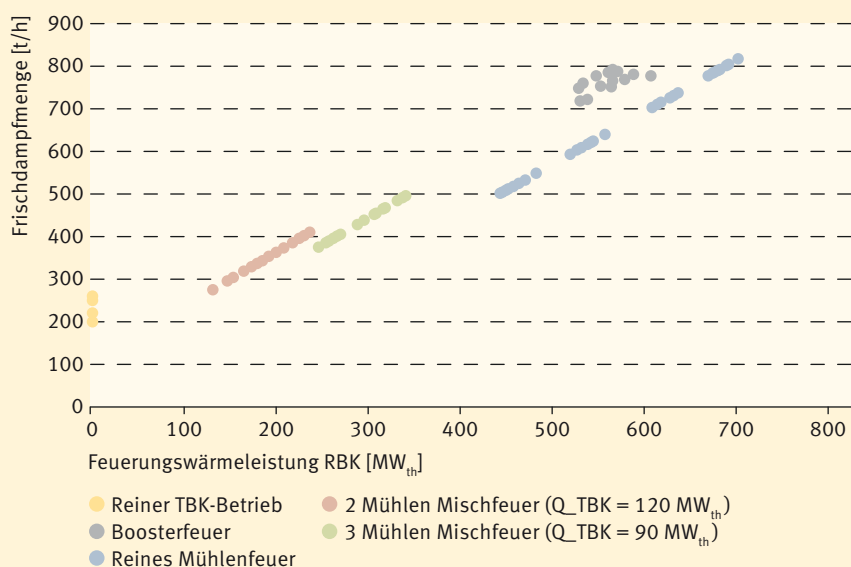


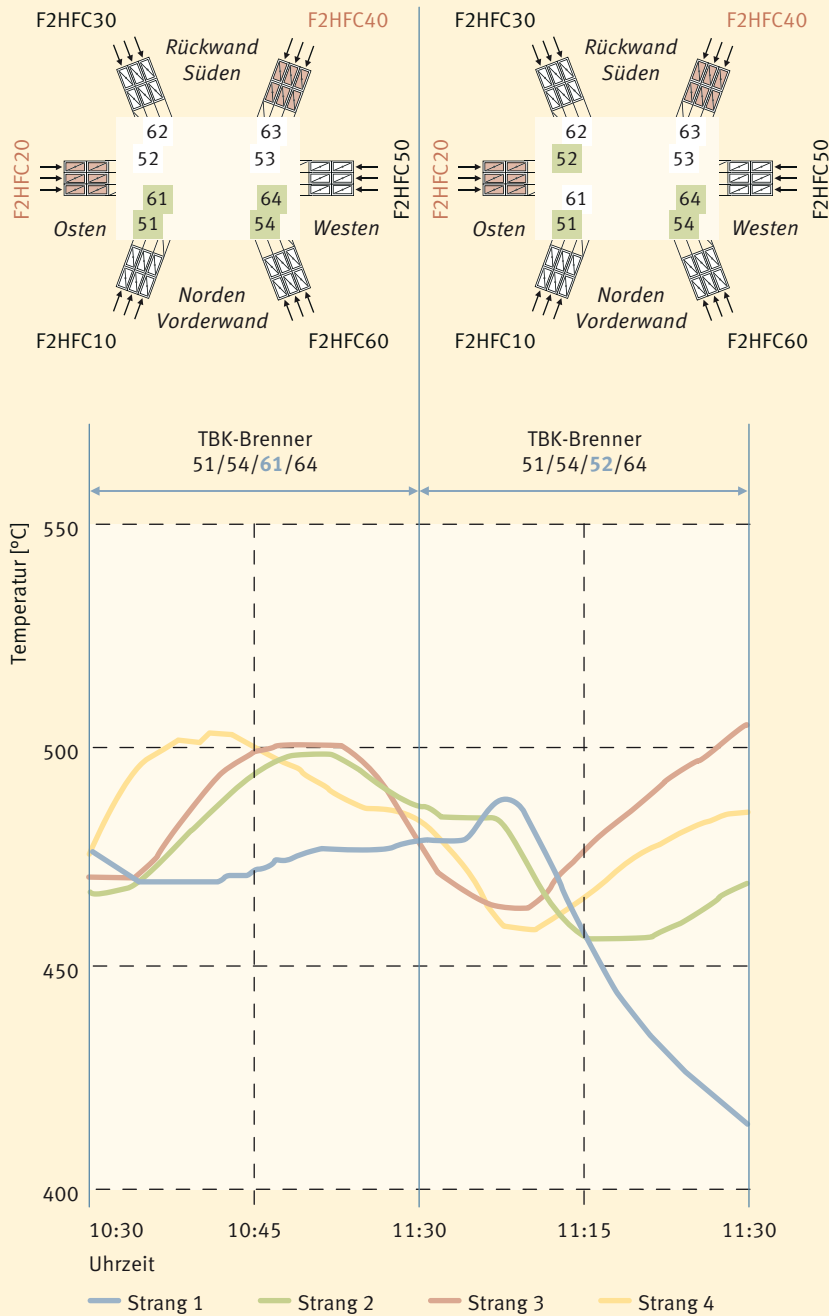
Abb. 2 Das Brennereinsatzdiagramm zeigt, wie sich die Frischdampfmenge bei Mischfeuer und reinem RBK-Betrieb verändert. Beim Boosterfeuer werden die TBK-Brenner zusätzlich angeschaltet, um kurzfristig mehr Leistung erzielen zu können.

### Höhere Lastgradienten im Boosterbetrieb

Wichtig für die Stabilität im Stromnetz: Mit dem Boosterbetrieb steigt der Lastgradient: Der Kraftwerksbetreiber kann kurzfristig die Leistung erhöhen und besser auf die schwankende Residuallast reagieren. Das macht das Kraftwerk neben der abgesenkten Mindestlast flexibler. Da Rohbraunkohle unterschiedliche Qualitäten besitzt, kann die Feuerungsleistung variieren. Diesen Unterschied können die TBK-Brenner ausgleichen. Außerdem können sie kurzfristig einspringen, wenn eine Mühle ausfällt. Damit steigt die Zuverlässigkeit der Anlage.

### Zündsysteme praxistauglich angepasst

Der Einbau im großtechnischen Maßstab in Jämschwalde unterteilte sich in zwei Phasen: Zunächst mussten die Ingenieure die TBK-Brenner und die



**Abb. 3** Zu sehen ist der Temperaturunterschied im Zwischenüberhitzer beim Betrieb von zwei RBK-Mühlen und vier TBK-Brennern in verschiedener Konstellation. Der Betrieb mit den TBK-Brennern 51, 54, 61 und 64 ermöglicht demnach eine gleichmäßigere Temperaturverteilung (links).

Plasmazündungen so auslegen, dass sie eine vergleichbar hohe Zuverlässigkeit wie die Ölbrenner boten. Dazu gab es noch keine praktischen Erfahrungen und die Rahmenbedingungen im Kraftwerk sind mit denen des Labors nicht zu vergleichen. Schwankende Temperaturen, Vibrationen und Staub stellen andere Herausforderungen an das System. Es zeigte sich, dass die Belastung für die Brenner und die Plasmalanze dann am höchsten ist, wenn der Block im Nennbetrieb fährt. Wärmestrahlung und Partikel beziehungsweise Rauchgasströmungen beanspruchen die Lanze dann besonders. Die Lösung: ein Schutzrohr für das Zündsystem, das die Brenner vor Störeinflüssen abschirmt. Außerdem sorgen die Entwickler für eine trockenere Spülluft. Zusätzlich zu konstruktiven Verbesserungen optimierten sie die Verfahrenstechnik. Etwa indem sie die Förderluftmenge

## Kohletrocknung

Rohbraunkohle besitzt nach der Förderung einen Feuchtigkeitsanteil von bis zu 60 Prozent. Um Kraftwerke effizient betreiben zu können, ist es notwendig, das Wasser aus der Kohle auszutreiben. Dazu gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten: Trocknen und Entwässern. Während der Kohle beim Entwässern die Feuchtigkeit über Druck – zum Beispiel in einer Zentrifuge – entzogen wird, wird beim Trocknen Wasser verdampft. Vergleichbar mit dem Schleudergang einer Waschmaschine (Entwässern) und dem anschließenden Trocknen im Wäschetrockner oder der Leine (Trocknen).

Oberflächenfeuchte lässt sich mit der Entwässerung vergleichsweise einfach entfernen. Das in den Kapillaren und Poren chemisch und physikalisch gebundene Wasser kann hingegen nur durch Verdampfen – also durch eine Trocknung entfernt werden. Das geschieht in Kraftwerken im Regelfall in einem Arbeitsschritt mit dem Mahlen der Kohlen. Um eine ausreichend hohe Temperatur zu erreichen, kommt Heißluft oder Rauchgas zum Einsatz. Die Feuchte beträgt dann noch ungefähr 15 bis 20 Prozent.

Wird die Kohle noch weiter getrocknet, entsteht sogenannte Trockenbraunkohle. Sie lässt sich zum Beispiel mit der druckaufgeladenen Dampfwirbelschicht-trocknung erzeugen. Dabei wird die feuchte Braunkohle mit einer Wirbelschicht in Bewegung gebracht und unter einem Druck von drei bis fünf bar sowie einer Temperatur zwischen 100 und 160 °C getrocknet. Der Restwassergehalt der übriggebliebenen Trockenbraunkohle kann auf bis zu 5 Prozent abgesenkt werden. Neben dem Einsatz in Zünd- und Stützbrennern kann TBK auch zu einem höheren Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes beitragen.

variieren. Ergebnis: Die Zündzuverlässigkeit stieg auf einen Wert von mehr als 90 Prozent. Als das erreicht war, konnte die Brennersteuerung in das automatische Feuerleitprogramm, das die Regelung der RBK-Mühlen übernimmt, eingebettet werden.

### Pilotanlage für Regelbetrieb und Forschung

Die Pilotanlage ist für den Regelbetrieb ausgelegt. Sie dient aber auch der weiteren Forschung. Zum Beispiel, um weitere Kenntnisse über unterschiedliche Kohlen zu liefern. In einem 1.430 m<sup>3</sup> großen Silo lagert die TBK und gelangt über einen Zwischenbehälter zusammen mit der Förderluft in die Brenner. Separate Dosiersysteme ermöglichen die genaue Dosierung jedes einzelnen Brenners. Um Erkenntnisse über andere Trockenbraunkohlen erhalten zu können, haben die Ingenieure den Zwischenbehälter so konstruiert, dass er direkt von einem LKW beladen werden kann. So kann zum Beispiel auf lange Sicht das Ziel erreicht werden, die Brenner mit verschiedenen Trockenbraunkohlequalitäten aus der energieeffizienten, druckaufgeladenen Dampfwirbelschicht-trocknung (DDWT) zu betreiben. Erste Versuche dazu liefen bereits erfolgreich und werden in einem Folgeprojekt weiter untersucht.



## Lastflexibilität mit CO<sub>2</sub>-Abtrennung

Um CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verringern, ist eine Möglichkeit, das Treibhausgas herauszufiltern und es nicht in die Atmosphäre gelangen zu lassen. Dazu gibt es im Prinzip zwei Möglichkeiten: Mit einer Reinigung des Rauchgases nach der Verbrennung (Post Combustion Capture, kurz: PCC) und durch eine Modifikation der Verbrennungsluft (Oxyfuel-Prozess). Denn wenn diese aus 95 bis 99 Prozent Sauerstoff besteht, entsteht im Verbrennungsprozess CO<sub>2</sub>-reiches Gas, das vergleichsweise einfach von Begleitstoffen gereinigt werden kann.

Im Forschungsvorhaben DYNCAP untersuchten Wissenschaftler unter der Leitung der Technischen Universität Hamburg-Harburg, wie sich Steinkohlekraftwerke mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung zur Bereitstellung von Regelenergie eignen. Die notwendigen Anlagen beider Techniken benötigen Energie. Die Idee hinter DYNCAP: Benötigt das Netz Regelleistung, so ist es möglich, kurzfristig die Anlagen zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung abzuregulieren und damit den Wirkungsgrad des Kraftwerks zu erhöhen. Ein Beispiel: Im Oxyfuel-Prozess gibt es einen Sauerstoffspeicher, der als Puffer wirken kann. Für eine kurzfristige Leistungssteigerung kann der für die Luftzerlegung benötigte Rauchgasstrom zur Dampferzeugung beitragen. Ist die Lastspitze vorüber, so kann der Sauerstoffspeicher im regulären Betrieb wieder gefüllt werden. Beim PCC würde dem Kraftwerksprozess weniger Dampf zur CO<sub>2</sub>-Abscheidung entzogen und stattdessen in den Turbinen verstromt.

Die Berechnungen der Wissenschaftler ergaben, dass eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Abtrennrate beim Post Combustion Capture auf bis zu 30 Prozent sinnvoll sein kann – im Regelbetrieb sind es 90 Prozent. Damit könnten die Turbinen eines 1.000-Megawatt-Kraftwerksblocks zusätzlich 180 Megawatt elektrische Leistung ins Netz speisen. Doch was passiert, wenn Wetterbedingungen günstig sind und die Kraftwerke unter ihrer Mindestlast fahren müssten? Das Ziel des Folgeprojektes DYNSTART ist es, den Schwachlastbetrieb bis zu 12 Prozent der Nennlast und das komplette Abfahren von Kraftwerken zu untersuchen – und zwar für Kraftwerke mit und ohne CO<sub>2</sub>-Abscheidung.

## Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** Vattenfall Europe Generation AG, Cottbus, Dr. Stephanie Tappe, stephanie.tappe@vattenfall.de, <https://www.vattenfall.de/>
- » **Wissenschaftliche Begleitung:** Brandenburgische Technische Universität Cottbus - Senftenberg, Cottbus, <https://www.b-tu.de/fg-kraftwerkstechnik/>, Technische Universität Hamburg-Harburg, Hamburg, <https://www.tuhh.de/iet.html>, Hochschule Zittau/Görlitz, Zittau, <https://ipm.hszg.de/fachgebiete/kerntechnik-soft-computing.html>

## Links und Literatur

- » [www.kraftwerkforschung.info](http://www.kraftwerkforschung.info)
- » <https://corporate.vattenfall.de/nachhaltigkeit/energie-der-zukunft/nachhaltige-energielosungen/flex-gen/>
- » Tappe, S. u. a.: Flexibilisierung von Bestandsanlagen. Erste Betriebserfahrungen mit neuartiger Zündtechnologie an einem Großdampferzeuger. In: Kraftwerkstechnik 2015. Strategien, Anlagentechnik und Betrieb. 47. Kraftwerkstechnisches Kolloquium. Dresden, 13.-15. Okt. 2015. Freiberg: Saxonia GmbH, 2015. S. 165-177

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Stabiles Netz mit 100 Prozent Ökostrom. BINE-Projektinfo 06/2015
- » CO<sub>2</sub>-Abscheidung mit Kalk. BINE-Projektinfo 01/2014
- » Fossile Stromproduktion im Vergleich. BINE-Projektinfo 05/2011
- » Neue Kraftwerke mit fossilen Brennstoffen. BINE-Themeninfo II/2010
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info/Projektinfo\\_07\\_2016](http://www.bine.info/Projektinfo_07_2016)

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)

## Impressum

**Projektorganisation**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Dr. Wolfgang Körner  
52425 Jülich

**Förderkennzeichen**  
03ET7010A-D

**ISSN**  
0937-8367

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Autor**  
Andreas Michels

**Urheberrecht**  
Titelbild: Jörg Friebe,  
[www.lausitz-bild.de](http://www.lausitz-bild.de)  
Abb. 1, 2 und 3:  
Vattenfall Europe Generation AG  
Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation ist  
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages