

**BINE**

Informationsdienst

# Biogas

Erdgas besteht hauptsächlich aus dem Kohlenwasserstoff Methan. Es hat sich auf natürliche Weise durch Zersetzung urzeitlicher Biomasse unter Luftabschluss gebildet. Methan entsteht auch heute noch bei jeder sauerstofffreien Umwandlung von Biomasse, z. B. aus der Viehhaltung. Auch dieses Biogas kann zur Energieerzeugung benutzt werden.

## EINLEITUNG

**N**icht-Landwirte verbinden mit landwirtschaftlicher Viehhaltung vor allem eine Assoziation: Geruch oder Gestank – je nach Empfindlichkeit der Nase. Dabei machen die riechbaren Bestandteile dieses biologisch entstandenen Gasgemisches nur den geringsten Teil (bis zu 2%) aus. Größtenteils besteht es aus Methan. Dieses Gas ist geruchlos, brennbar und kann zur Energieerzeugung eingesetzt werden. Auch Erdgas, ein Energieträger der etwa 22% zum deutschen Primärenergieverbrauch beiträgt, besteht hauptsächlich aus Methan. Dieses Gas entsteht immer, wenn biologische Materialien unter Luftabschluss von Bakterien zersetzt werden. Neben dem aus landwirtschaftlichen Abfällen und Reststoffen gewonnenen Biogas gibt es noch einige „verwandte“, methanhaltige Gase. Klär- oder Faulgas wird in Kläranlagen gewonnen, in Bergwerken ist es Grubengas, aus Mülldeponien wird Deponiegas abgeleitet und in Sumpfgebieten bildet sich Sumpfgas. Das nachfolgende Info widmet sich vor allem der landwirtschaftlichen Biogasproduktion.

Die Biogasnutzung unterstützt die umweltgerechte Verwertung landwirtschaftlicher Abfallstoffe und ist für geeignete landwirtschaftliche Betriebe ein ökonomisch interessanter, weiterer Produktionszweig. Für den Schutz des Erdklimas ist es günstiger, das bei der landwirtschaftlichen Produktion anfallende



**Abb. 1** Die Biogasproduktion. Mit diesem freundlichen Serviceteam beginnt die Prozesskette.

Methan für die Energieerzeugung zu verbrennen anstatt es, wie bisher, ungenutzt in die Atmosphäre entweichen zu lassen. Eine Biogasanlage kann sogar Abfälle aus der Lebensmittelindustrie, z. B. Fette und Öle oder Brauereiabfälle, verarbeiten und entsorgen. Nicht zuletzt ist Biogas eine natürliche, erneuerbare Energiequelle.

Biogas wird zur Energiegewinnung in Blockheizkraftwerken verbrannt, die sowohl die Wärme nutzen als auch elektrischen Strom erzeugen und einspeisen (Kraft-Wärme-Kopplung). Der Strom wird meist in das Netz für die allgemeine Versorgung eingespeist. Die anfallende Wärme wird zu etwa 30% für die Biogasproduktion benötigt. Der verbleibende Überschuss kann zur Beheizung der Wohnräume, zur Trocknung landwirtschaftlicher Produkte (Ge-

treide, Kräuter) und für externe Abnehmer verwendet werden.

In Europa gehören Dänemark und Deutschland bei der Biogasnutzung zu den führenden Ländern. Hier stehen die Stromgewinnung und die Entsorgung landwirtschaftlicher Reststoffe im Vordergrund. Eine andere Tradition der Biogasnutzung zur Grundversorgung netzferner, ländlicher Gebiete mit Energie, z. B. zum Kochen, gibt es in Ländern wie Indien und China. Sowohl die Erforschung der technischen Grundlagen als auch die Markteinführung der Biogastechnik wurden durch Förderprogramme des Bundes und der Länder gefördert.

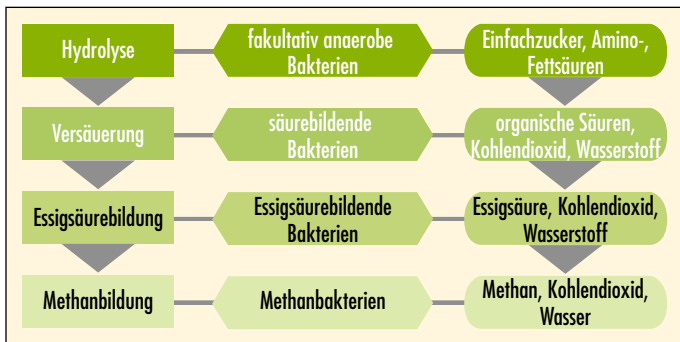
### ZENTRALE BEGRIFFE

- > Methan
- > Umweltvorteile
- > Kraft-Wärme-Kopplung

## CHEMISCHE GRUNDLAGEN

Der Prozess der Umwandlung von organischen Reststoffen in Biogas erfolgt im Wesentlichen in vier Stufen (Abb. 2). Diese Phasen können auch räumlich und zeitlich nebeneinander in einem Prozessbehälter (Faulraum oder Fermenter) stattfinden. Die ca. zehn methanbildenden Bakterienstämme benötigen eine sauerstofffreie (anaerobe) Umgebung und einen schwach alkalischen pH-Wert (7,5). Rückstände von Desinfektions- und Tierarzneimitteln in der Gülle – so nennt man die Mischung aus tierischem Harn und Kot – können den Biogasprozess behindern. Die Bakterien erfordern – vergleichbar den Nutztieren auf einem Hof – regelmäßige Pflege- und Kon-

trollmaßnahmen durch die Anlagenbetreiber. **Phase 1:** Aerobe Bakterien verbrauchen den in der Rohgülle enthaltenen Sauerstoff. „Fakultativ anaerobe Bakterien“ spalten hochmolekulare organische Substanzen (z. B. Fett, Eiweiß, Kohlenhydrate) in niedermolekulare Verbindungen auf (z. B. Einfachzucker, Fett- und Aminosäuren). In der **Phase 2** wandeln säurebildende Bakterien die Gülle in organische Säuren, Alkohole, Kohlendioxid und Wasserstoff um. **Phase 3:** Essigsäurebildende Bakterien setzen an und es entstehen Acetate, Kohlendioxid und Wasserstoff. In der **Phase 4** liegt dann das schwach alkalische Milieu vor. Es entstehen Methan, Kohlendioxid und Wasser.



**Abb. 2** Die vier Phasen der Biogasbildung [Quelle: Schulz/Eder]

Bestandteil	Formel	Volumen %
Methan	CH <sub>4</sub>	50 - 75
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	25 - 50
Stickstoff	N <sub>2</sub>	0 - 5
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	< 1
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	0 - 2
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	0 - 1
Wasserdampf	H <sub>2</sub> O	1-10

**Abb. 3** Chemische Zusammensetzung von Biogas [Quelle: FNR]

reiche: psychrophile (unter 20 °C), mesophile (25 - 35 °C) und thermophile (über 45 °C). Die meisten Anlagen in Deutschland arbeiten im mesophilen Bereich. Die wichtigsten chemischen Bestandteile von Biogas zeigt die Abb. 3. Durch eine nachgeschaltete Gasaufbereitung (z. B. eine Entfeuchtung, Entschwefelung) kann die technische Verwertbarkeit des Biogases weiter verbessert werden.

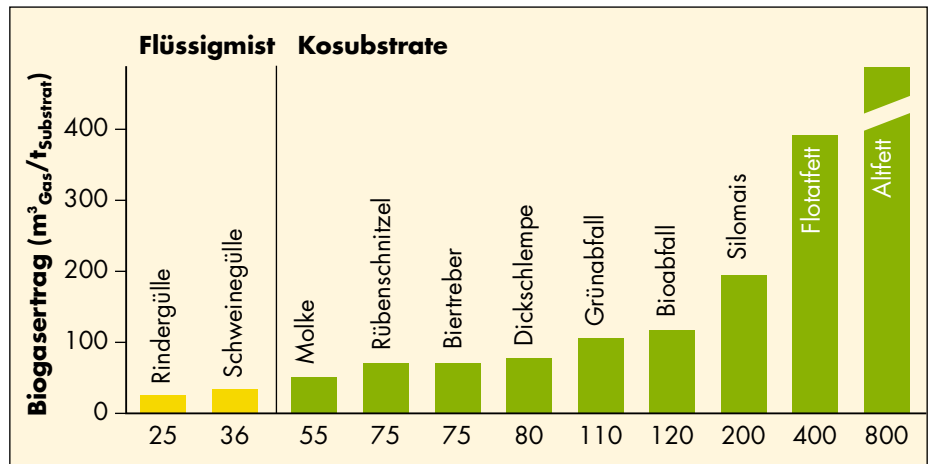
### ZENTRALE BEGRIFFE

- > Anaerob
- > Konstante Temperatur
- > Wassergehalt

## BIOLOGISCHE RESTSTOFFE

Bei der Entsorgung und Verwertung biologischer Reststoffe eignen sich „trockene“, langfaserige und Abfälle mit hohem Holzanteil eher für die Kompostierung, während „nasse“, flüssige für die Biogasproduktion in Frage kommen. Diese „flüssigen“ Reststoffe sollten 5 - 15% feste Bestandteile (organische Trockenmasse) enthalten. Die Biogasproduktion ist sowohl mit Flüssigmist, z. B. bei einstreulosen Spaltenböden, als auch mit Festmist aus einer Tierhaltung mit Stroheinstreu möglich. Damit sich die festen Bestandteile nicht während des Biogasprozesses als „Schwimmdecke“ auf der Gülle absetzen und den weiteren Prozessablauf behindern, wird die Gülle durch ein mechanisches Rührwerk durchmischt.

Abb. 4 zeigt den Biogasertrag verschiedener biologischer Reststoffe; günstig ist ein möglichst energiereiches Substrat (z. B. hoher Fettanteil). Die chemische Zusammensetzung der Gülle ist stark von der Tierart und dem verwendeten Futter abhängig. Der „Fallout“ des Wiederkäuers Rind mit mehreren Mägen unterscheidet sich erheblich vom Allesfresser Schwein mit einem Magen. Keine Tierart ist ein idealer Güllielieferant. Von den insgesamt ca. 1.900 Biogasanlagen (2003) in Deutschland werden etwa 2/3 bei der Rinderhaltung (Milchkühe,



**Abb. 4** Durchschnittliche Biogaserträge verschiedener biologischer Reststoffe [nach Weiland, 1997]

Mastrinder) eingesetzt. Den Rest teilen sich Mastschweine- und Geflügelbetriebe. Biogasanlagen können auch geeignete Bioabfälle von außen aufnehmen, umsetzen und entsorgen (sog. Kofermentation). Jeder als Koferment verwendete Bioabfall muss vorab abfallrechtlich genehmigt werden. Geeignet sind u. a. Abfälle von Brauereien, Brennereien, Obst- und Gemüseverarbeitung, Lebensmittelindustrie, Schlachthofabfälle und Speisereste. Voraussetzung ist, dass diese Abfälle ohne Fremdstoffe, schad-

stoffarm und nicht infektiös sind. Fast alle als Koferment verwendeten Bioabfälle müssen aus hygienischen Gründen im Prozessverlauf für eine Stunde auf 70 °C erhitzt werden. Die Kofermentation kann sowohl die Gasproduktion als auch die Betriebsbilanz einer Biogasanlage verbessern.

### ZENTRALE BEGRIFFE

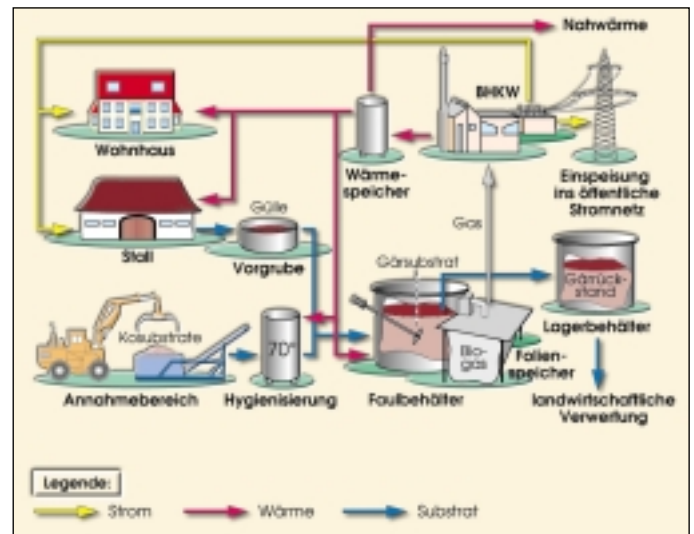
- > Gülle
- > Tierart
- > Koferment

## ANLAGENKONZEPTE

Eine in der Praxis häufig anzutreffende Konfiguration einer Biogasanlage besteht aus Vorgrube, Fermenter, Gastank, BHKW mit Wärmespeicher sowie einem Lagerbehälter (vgl. Abb. 5).

Die Gülle wird in der Vorgrube gesammelt und mehrmals täglich in den Faulbehälter (Fermenter) für den Biogasprozess gepumpt. Um eine gleichmäßige Gasproduktion zu erzielen, wird in der Praxis auf die letzten Prozente der möglichen Gasausbeute verzichtet und die organische Trockensubstanz zu etwa 40 - 60 % abgebaut. Aus dem Fermenter wird das Gas in einen Folienspeicher geleitet und in ein kontinuierlich arbeitendes Blockheizkraftwerk (BHKW) abgegeben. Dieses produziert Strom für das öffentliche Netz sowie Wärme für den Eigenbedarf der Biogasanlage und den Hof. Der Gärückstand kann in einem Lagerbehälter bis zu neun Monate gelagert und zu einem für das Pflanzenwachstum optimalen Zeitpunkt zur Düngung auf dem

Acker ausgebracht werden. Ein derartiges Anlagenkonzept ist eine „Nassvergärung mit quasi kontinuierlicher Beschickung“. Daneben gibt es noch „Nassvergärungen mit diskontinuierlicher Beschickung“, d. h. es existieren mindestens zwei Fermenter, die abwechselnd voll gefüllt werden und dann für die Prozessdauer nicht mehr „geöffnet“ werden. „Trockenvergärungen“ sind derzeit in der Entwicklung. Sie arbeiten mit einem „festen“ Substrat (bis zu 50 % Feststoffe) in einem Behälter und



**Abb. 5** Schema einer Biogasanlage mit Kofermentation und einstufigem Fermenter [FNR]

die austretende Flüssigkeit benetzt kontinuierlich wieder das Substrat von oben.

## GASAUFBEREITUNG

Ein Vergleich des Brennwertes von Biogas, Erdgas und Wasserstoff zeigt Abb. 6. Zur energetischen Nutzung muss Biogas weitgehend entfeuchtet und entschwefelt werden, um einen möglichst hohen Heizwert zu garantieren und Korrosion an Armaturen und Motoraggregaten zu vermeiden. In den heutigen Biogasanlagen wird zur Entschwefelung eine kleine Menge Luft gezielt in den anaeroben Biogasprozess eingeleitet. Dadurch vermögen sogenannte Schwefelbakterien bis zu 95 % des Schwefelwasserstoffs in Wasser und elementaren Schwefel umzuwandeln. Dieser kann zur Pflanzendüngung eingesetzt werden. Frei werdendes Biogas ist etwa 35 °C warm und 100 % wasserdampfgesättigt. Beim Abkühlen auf 10 °C kondensieren etwa 30 g Wasser pro m<sup>3</sup> Biogas

	Biogas	Erdgas	Methan	Wasserstoff
Heizwert [kWh/m <sup>3</sup> ]	6	10	10	3
Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	1,2	0,7	0,72	0,09
Zündtemperatur [°C]	700	650	650	585
Zündgrenze Gas in Luft [%]	6 - 12	5 - 15	5 - 15	4 - 80
Dichteverhältnis zu Luft	0,9	0,54	0,55	0,07

**Abb. 6** Typische Kenndaten für ein Biogas mit 60 % Methan, 38 % Kohlendioxid und 2 % Spurengase im Vergleich zu anderen Gasen [nach Köberle]

aus. Die meisten Biogasanlagen entfeuchten über lange Leitungen und Kondensat-Abscheider. Dabei wird ein großer Teil des Wasserkondensates über einen Syphon abgeleitet. Eine fast vollständige Entfeuchtung lässt sich durch die Einbindung eines Kälteaggregats in der Gasstrecke erzielen, wodurch der Stromverbrauch steigt. Beim Abkühlen kondensiert nicht nur der Wasser-

dampf, sondern auch viele Spurengase werden entfernt. Dieses kann die Lebensdauer des Verbrennungsmotors beträchtlich erhöhen. Um Biogas in einer Brennstoffzelle verwenden zu können, benötigt man ein reines Methangas. Die hierfür notwendigen Trennverfahren zur Gasaufbereitung (z. B. mit Vakuum oder keramischen Molekularsieben) sind derzeit Gegenstand der Forschung.

## MOTOREN – TURBINEN – BRENNSTOFFZELLEN

In den meisten Anlagen wird ein BHKW zur Energiegewinnung eingesetzt. Motoren zum Antrieb des Stromgenerators sollten preiswert, leistungsstark, wartungsarm, servicefreundlich und tolerant gegen wechselnde Gaszusammensetzung sein. Einen idealen Motor gibt es bislang nicht. Mittlerweile werden umgerüstete Dieselmotoren nach dem Zündstrahlprinzip am häufigsten verwendet (Abb. 7). Als Zündöl sind außer konventionellem Heizöl auch Bioöle (z. B. Rapsöl) geeignet. Die früher verwendeten, auf Gasbetrieb umgerüsteten Ben-

	Benzinmotor Gas-Otto-Verfahren	Dieselmotor Zündstrahlverfahren	Dieselmotor Gas-Otto-Verfahren
elektrischer Wirkungsgrad [%]	22 - 27	28 - 35	≥ 35
Lebensdauer	niedrig	mittel	hoch
Wartungsbedarf	hoch	hoch	niedrig
Investitionskosten	niedrig	mittel	hoch
Leistungsklasse [kW]	5 - 30	30 - 150	> 150

**Abb. 7** Merkmale verschiedener Motorentypen beim Betrieb mit Biogas [FNR]

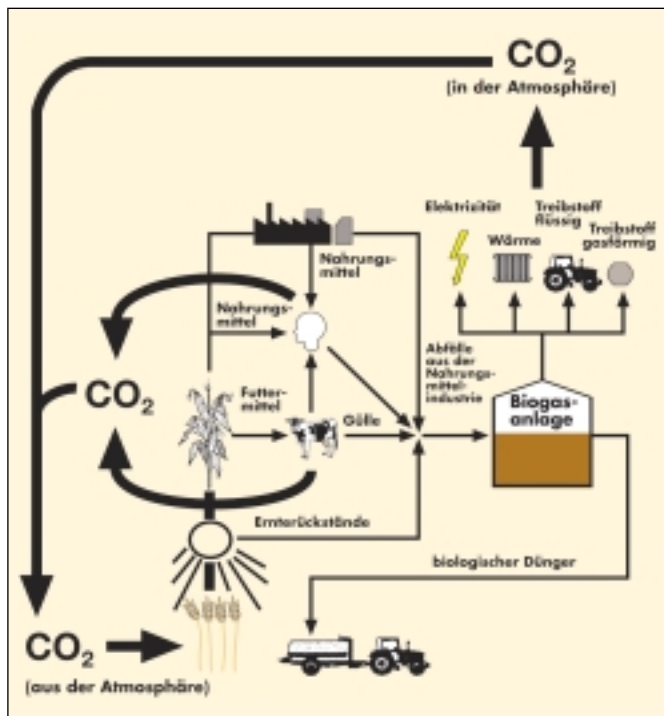
zin-Ottomotoren haben sich als sehr wartungsintensiv erwiesen. In ersten Pilotanwendungen wird Biogas auch bereits in

Gasturbinen eingesetzt. Ein weiterer, hoffnungsvoller Weg ist die Verwendung in Brennstoffzellen.



## WIRTSCHAFTLICHE ASPEKTE

**B**iogas-Anlagen sind eine fast weltweit einsetzbare Energietechnik. In Deutschland wurden die ersten Biogasanlagen zu Beginn des 20. Jahrhunderts auf Kläranlagen errichtet. Die ersten landwirtschaftlichen Versuchsanlagen folgten nach 1945. Von diesen konnten sich nur zwei über die bald folgende Phase billigen Erdöls retten. Nach der Ölpreiskrise



**Abb. 8** Biogas – eine CO<sub>2</sub>-neutrale Energiequelle  
[Quelle: Energieagentur NRW]

des bis dahin üblichen Eigenbaus. Damit hat sich auch der Sicherheitsstandard verbessert. Die relativen Investitionskosten sinken mit der Größe der Anlagen deutlich. Bei Kleinanlagen mit 25 kW elektrischer Leistung liegen sie bei ca. 6.000 - 7.000 EUR/kW, während sie bei 150 kW nur noch ca. 3.500 EUR/kW betragen. Die Stromgestehungskosten pro Kilowattstunde liegen bei reinen „Gülleanlagen“ zwischen ca. 18 ct. (25 kW<sub>el</sub>) und 11 ct. (150 kW<sub>el</sub>). Bei Anlagen mit einer Kofermentation von etwa 30% Altfett können die Kosten – je nach Marktlage – auch 3 bis 5 ct. niedriger liegen. Würde man nur die Hälfte der geeigneten biologischen Reststoffe für die Biogasproduktion nutzen, entspräche das rein rechnerisch etwa 5,5% des deutschen Erdgasverbrauchs. Dieses Potenzial wird erst zu einem Bruchteil genutzt.

## LITERATUR

Ein ausführliches Literaturverzeichnis steht im BINE-Internetangebot als Download in der Rubrik Service/InfoPlus bereit oder kann kostenlos angefordert werden.

1. Schulz, H.; Eder, B.: Biogas Praxis. Staufen. Ökobuchverlag, 2001, ISBN 3-922964-59-1.
2. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe [FNR] e. V. (Hrsg.): Biogas – eine natürliche Energiequelle. Juni 2002. Bezug: FNR, Hofplatz 1, 18276 Gülzow, [www.fnr.de](http://www.fnr.de).
3. Energieagentur NRW: Biogas: Strom und Wärme aus Gülle. Wuppertal 2000. Bezug: Energieagentur NRW, Morianstr. 32, 42103 Wuppertal, [www.ea-nrw.de](http://www.ea-nrw.de)

### Bildung & Energie im Web

[www.bine.info](http://www.bine.info)

Unsere Informationen für Schule, Beruf und Erwachsenenbildung finden SIE unter:  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Dort sind in der Rubrik "Service/InfoPlus" ein Literaturverzeichnis und eine aktuelle Linkliste zum Thema eingestellt.

### Ergänzende Informationen

Info-Mappen / Download

Zu den behandelten Themen ist jeweils eine kostenlose Mappe mit vertiefenden Informationen bei BINE erhältlich.

Alle Abbildungen stehen für Bildungszwecke unter [www.bine.info](http://www.bine.info) in der Rubrik "Service/InfoPlus" kostenlos zum Download zur Verfügung oder können gegen eine Bearbeitungsgebühr von 15,-€ (V-Scheck) bei BINE angefordert werden.

## IMPRESSUM

### ▼ Herausgeber



**FACHINFORMATIONSZENTRUM  
KARLSRUHE**

Gesellschaft für wissenschaftlich-technische Information mbH

76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### ▼ Redaktion

Uwe Milles

### ▼ Fachliche Beratung

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe  
Dr. - Ing. Thorsten Gottschau,  
Olaf Fuchs

### ▼ ISSN

1438-3802

### ▼ Nachdruck

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

### ▼ Stand

Dezember 2003

## BINE – INFORMATIONEN UND IDEEN ZU ENERGIE & UMWELT

BINE ist ein vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit geförderter Informationsdienst des Fachinformationszentrums Karlsruhe.

BINE informiert über neue Energietechniken und deren Anwendung in Wohnungsbau, Industrie, Gewerbe und Kommunen.

BINE bietet Ihnen folgende kostenfreie Informationsreihen

- Projekt-Infos
- Themen-Infos
- basisEnergie

### Nehmen Sie mit uns Kontakt auf,

wenn Sie vertiefende Informationen, spezielle Auskünfte, Adressen etc. benötigen, oder wenn Sie allgemeine Informationen über neue Energietechniken wünschen.



**BINE**

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe  
Büro Bonn  
Meeßenstr. 57  
53129 Bonn

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

E-Mail: [bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
Internet: [www.bine.info](http://www.bine.info)