

# Bioenergie



**Pflanzen  
Rohstoffe  
Produkte**



## Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)  
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow  
info@fnr.de • www.fnr.de  
www.bio-energie.de

## Bioenergieberatung der FNR

Tel.: 038 43/69 30-199  
Fax: 038 43/69 30-102  
E-Mail: info@bio-energie.de

Mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für  
Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

## Impressum



### Herausgeber:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)  
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow  
info@fnr.de • www.fnr.de  
www.bio-energie.de

Mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für  
Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

### Text:

Barbara Wenig, FNR

### Bilder:

Agenda, Agravis Raiffeisen AG, BEKON Energy Technologies  
GmbH & Co. KG, DaimlerChrysler, Fachagentur Nachwachsende  
Rohstoffe e. V. (FNR), Presse- und Informationsamt der Bundes-  
regierung/Bundesbildstelle (BPA), Schmack Biogas, Union zur  
Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP)

### Druck:

Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, 50354 Hürth  
www.mediacolonne.de

### Realisierung:

nova-Institut GmbH, Hürth, www.nova-institut.de/nr

Stand: Juli 2007

## Inhaltsverzeichnis

Warum Bioenergie?	4
Potenziale: Was ist möglich?	10
Mit Biomasse heizen	12
Strom aus Holz und Stroh	16
Biogas	20
Biokraftstoffe	25
Gesetze und Rahmenbedingungen	30
Abschließende Betrachtungen	33
Weiterführende Informationen	35

## Warum Bioenergie?

Ob als Wärme, Strom oder Kraftstoff: Energie wird überall benötigt und macht uns das Leben angenehm. Je höher der Lebensstandard eines Landes, desto höher in der Regel auch sein Energieverbrauch. Lieferten im 18. Jahrhundert noch Wasser, Wind und Holz die für die Industrialisierung nötige Energie, lösten Kohle, Erdöl und Erdgas die regenerativen Energieträger im 19. Jahrhundert schnell ab. Heute werden rund 90 Prozent der weltweit verbrauchten Energie aus fossilen Ressourcen bereitgestellt. Das lässt nicht

nur die Vorräte an Kohle oder Erdöl rasch schrumpfen, sondern hat auch Folgen für Klima und Umwelt: Denn bei der Energiegewinnung aus fossilen Rohstoffen gelangen in kurzer Zeit große Mengen an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in die Atmosphäre und verstärken den Treibhauseffekt.

Diese Konsequenzen sind bei der Nutzung von Biomasse nicht zu befürchten. Werden Holz, Reststoffe oder Energiepflanzen in Energie umgewandelt, entsteht in etwa nur die Menge CO<sub>2</sub>, die

vorher beim Wachstum der Pflanzen gebunden wurde. Der CO<sub>2</sub>-Kreislauf ist geschlossen.

Biomasse ist hierzulande nicht nur in großen Mengen vorhanden und nutzbar, sie hat noch einen anderen erheblichen Vorteil. Als einziger regenerativer Energieträger ist sie speicherbar. Wärme, Strom oder Treibstoffe lassen sich damit ganz nach Bedarf dann erzeugen, wenn sie auch gebraucht werden. Kein Wunder, dass Biomasse schon jetzt der bedeutendste erneuerbare Energieträger in Deutschland ist.

Erst in den letzten Jahrzehnten gelang es der Wissenschaft, die Technologien so weit zu entwickeln, dass die Bioenergie hierzulande effektiv genutzt werden kann. Das ist weltweit nicht überall der Fall. Dennoch stellen Holz, halmgutartige Rückstände oder auch Dung gerade in Entwicklungsländern heute noch die am intensivsten genutzten Energieträger dar. Hier sind die Industrieländer gefragt, Wissen und Technologien zugänglich zu machen und auch in Staaten der dritten Welt eine effiziente, ökologisch sinnvollere Nutzung der vorhandenen Ressourcen anzustoßen.

Pflanzen und Tiere, sondern auch tierische Exkremente oder Pflanzenbestandteile wie zum Beispiel Stroh. Auch Papier und Zellstoff, Schlachthofabfälle, Biomüll, Pflanzenöl oder Ethanol sind Biomassen, die sich energetisch nutzen lassen.

Mit verschiedenen Verfahren werden aus den unterschiedlichen Rohstoffen flüssige, feste oder gasförmige Energieträger. Oftmals sind sogar mehrere Wege offen, einen Rohstoff in Energie umzuwandeln. Biomasse kann zum Beispiel in einem

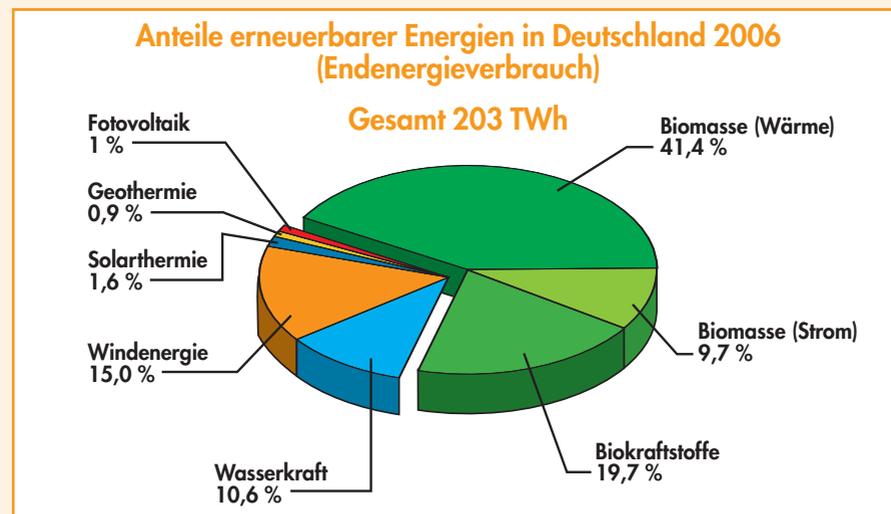
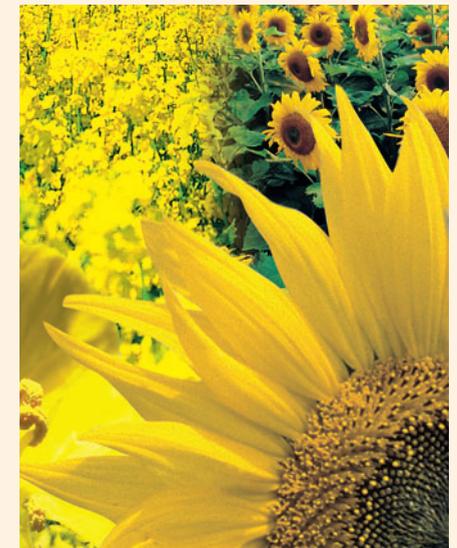


Abb.: 5,6 Prozent des deutschen Endenergieverbrauchs wurden 2006 durch Bioenergie bereitgestellt. Ihr Anteil an den erneuerbaren Energien betrug über 70 Prozent  
Quelle: BMU, Juni 2007

### Was ist Biomasse?

Zur Biomasse zählen im Prinzip sämtliche Stoffe organischer Herkunft. Also nicht nur

Kraftwerk zur Wärmegewinnung verbrannt, in einer Biogasanlage zu Biogas vergoren und dann zu Strom oder über die thermochemische Vergasung in ein

Synthesegas umgewandelt und dann zu Treibstoff verarbeitet werden. Welche Variante sich durchsetzt, hängt nicht nur von den Kosten und vom Aufwand ab, auch die politischen Rahmenbedingungen spielen eine Rolle.

### Die wichtigsten Rohstoffe stammen aus:

- **Forstwirtschaft**

Heute werden in Deutschland nur etwa 80 Prozent des jährlichen Holzzuwachses eingeschlagen bzw. genutzt. Dabei und bei der Durchforstung verbleiben außerdem Resthölzer und Schwachholzsortimente im Wald, die als Bauholz, zur Zellstoffgewinnung oder für die Möbelherstellung nicht nutzbar sind. Es könnte also auch unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit weitaus mehr Holz energetisch genutzt werden, ohne dass der Wald darunter leiden würde.

- **Landwirtschaft**

Nicht nur Reststoffe wie beispielsweise Stroh können energetisch genutzt werden, seit einigen Jahren baut die Landwirtschaft sogar gezielt Energiepflanzen an. Da hierzulande immer weniger Flächen für die Nahrungsmittelproduktion benötigt werden, bietet der Anbau von Energiepflanzen für die Zukunft besondere Potenziale. Während Raps

sich als Kraftstofflieferant bereits durchgesetzt hat, sind Mais und andere Energiepflanzen stark im Kommen. Zu schnellwachsenden Baumarten wie Pappeln oder neuen Kulturpflanzen wie etwa Chinaschilf (*Miscanthus*) und speziellen Grasarten laufen Anbauversuche. Auch neue Anbauverfahren wie der Mischfrucht- oder der Mehrkulturanbau sind im Test. Es gilt, Kulturpflanzen und Fruchtfolgen zu finden, die ökologisch verträglich sind, dem Landwirt aber auch wirtschaftliche Erträge liefern.

- **Holz- oder lebensmittelverarbeitende Industrie**

Während Sägereestholz oder Sägespäne in Form von Pellets für die Verbrennung prädestiniert sind, können Obst- und Gemüsereste und Grüngut aus Landschaftspflege und Gartenbau auch in Biogasanlagen in Energie umgewandelt werden.



Brennstoff		Heizwert
Fossil	Braunkohle	5,6 kWh/kg
	Steinkohle	8,9 kWh/kg
	Heizöl	11,7 kWh/kg
Biogen	Stroh	4 kWh/kg
	Getreidepflanzen	4,2 kWh/kg
	Holz	4,4 kWh/kg

Tab. 1: Energiegehalte verschiedener Energieträger

### Wie kommt die Energie in die Biomasse?

Der Sonne ist es zu verdanken, dass wir nachwachsende Rohstoffe zur Energieerzeugung nutzen können. Bei der Photosynthese werden Kohlendioxid und Wasser unter Einwirkung von Sonnenenergie in Sauerstoff und Kohlenhydrate sowie anschließend auch Fette und Proteine umgewandelt. Die Pflanze bindet Kohlendioxid, wächst und gibt Sauerstoff an die Umgebung ab. Natürlich unterscheidet sich die jährlich aufgebaute Biomasse je nach Pflanzenart, Boden und Klima. Auch wenn Pflanzen nur einen vergleichsweise

geringen Teil der Sonnenenergie speichern können, ist die in der Biomasse der Erde eingebundene Energiemenge gewaltig: Jährlich werden rund 400 Milliarden Tonnen Biomasse mit einem Energiegehalt von rund 3.000 Exajoule (EJ,  $10^{18}$  Joule) aufgebaut. Zum Vergleich: Die Menschheit nutzt jährlich, allerdings aus überwiegend fossilen Quellen, rund 400 EJ. Aus Biomasse stammen nur rund 45 EJ. Sind diese Zahlen in ihrer Dimension zwar schwer zu begreifen, machen sie doch gut deutlich, dass nachwachsende Rohstoffe als Energieträger erheblich intensiver genutzt werden könnten als das bislang der Fall ist.

Pflanzenart	Durchschnittlicher Ertrag (t TM/ha)
Weizen (Ganzpflanze)	10,5 – 17,5
Raps (Ganzpflanze)	8,5 – 12
Mais (Ganzpflanze)	11 – 19
Chinaschilf	10 – 30
Holz	4 – 18

Tab. 2: Jährliche Trockenmasseerträge verschiedener Pflanzen (Quelle: Leitfaden Bioenergie, FNR 2005)

## Was heißt eigentlich CO<sub>2</sub>-neutral?

Da Kohlenstoff oft über Jahre oder Jahrzehnte in den Pflanzen gebunden bleibt, bezeichnet man sie als CO<sub>2</sub>-Senken. Für das Klimagleichgewicht der Erde spielen sie eine wichtige Rolle. Auch fossile Rohstoffe sind CO<sub>2</sub>-Senken, die jedoch schon seit Jahrmillionen existieren.

Werden kohlenstoffhaltige Rohstoffe für die Energiegewinnung genutzt, bildet sich unter Einwirkung von Sauerstoff Kohlendioxid, das als einer der Hauptverursacher des Treibhauseffekts gilt. Das ist übrigens auch der Fall, wenn Pflanzen ungenutzt verrotten.

Während in der Natur jedoch Wachstum und Zersetzung im Gleichgewicht stehen, die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre konstant und der Kohlendioxid-Kreislauf geschlossen bleiben, sind fossile Rohstoffe in den Kreislauf nicht mehr eingebunden.

Werden sie energetisch genutzt, steigt die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre und der Treibhauseffekt wird verstärkt.

## Von der Biomasse zum Energieträger

Durch mehr oder weniger aufwändige Verfahren werden aus der Biomasse feste, flüssige oder gasförmige Energieträger, die wiederum in Wärme, Strom oder Kraftstoffe umgewandelt werden können. Während die im Rohstoff gebundene chemische Energie bei der Verbrennung relativ einfach durch Oxidation in Wärme umgewandelt wird, sind andere Verfahren komplexer. Die Vergasung beispielsweise läuft unter Sauerstoffmangel ab. Ziel ist es, aus dem Rohstoff möglichst große Mengen brennbarer Gase zu gewinnen, die nach Aufreinigung werden können. Auch die Verflüssigung von Biomasse über die Pyrolyse ist denkbar.

Energieträger	CO <sub>2</sub> -Emission (kg/MWh)	Jährlicher CO <sub>2</sub> -Ausstoß (kg/a)	CO <sub>2</sub> -Ersparnis im Vergleich zu Heizöl (kg/a)
Heizöl	342	5472	0
Erdgas	228	3648	1824 = 33 %
Holzpellets	68	1088	4384 = 80 %
Scheitholz	8,8	141	5331 = 97 %

Tab. 3: In einem Einfamilienhaus werden jährlich rund 16 MWh Energie verbraucht, das verursacht je nach Energieträger ganz unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Emissionen

Neben diesen thermochemischen können für bestimmte Umwandlungswege auch physikalisch-chemische Verfahren eingesetzt werden. Nur über die Pressung oder die chemische Extraktion kann beispielsweise aus Sonnenblumenkernen oder Rapssaat Öl gewonnen werden. Für die Umwandlung von Biomasse in Biogas oder die Vergärung von zucker-, stärke- oder zellulosehaltigen Biomassen zu Alkohol dagegen sind biochemische Verfahren verantwortlich. Einige Optionen stehen

zwangsläufig in Konkurrenz zueinander, so kann eine bestimmte Menge Holz entweder direkt verbrannt oder über einen Vergasungsprozess in ein Synthesegas oder in einen flüssigen Bioenergieträger umgewandelt werden. Welche der Umwandlungswege letztlich beschränkt werden, ist in vielen Fällen nicht nur eine technische, sondern vor allem eine wirtschaftliche Frage: Je größer der Aufwand, desto höher sind zwangsläufig die Kosten für den erzeugten Bioenergieträger.

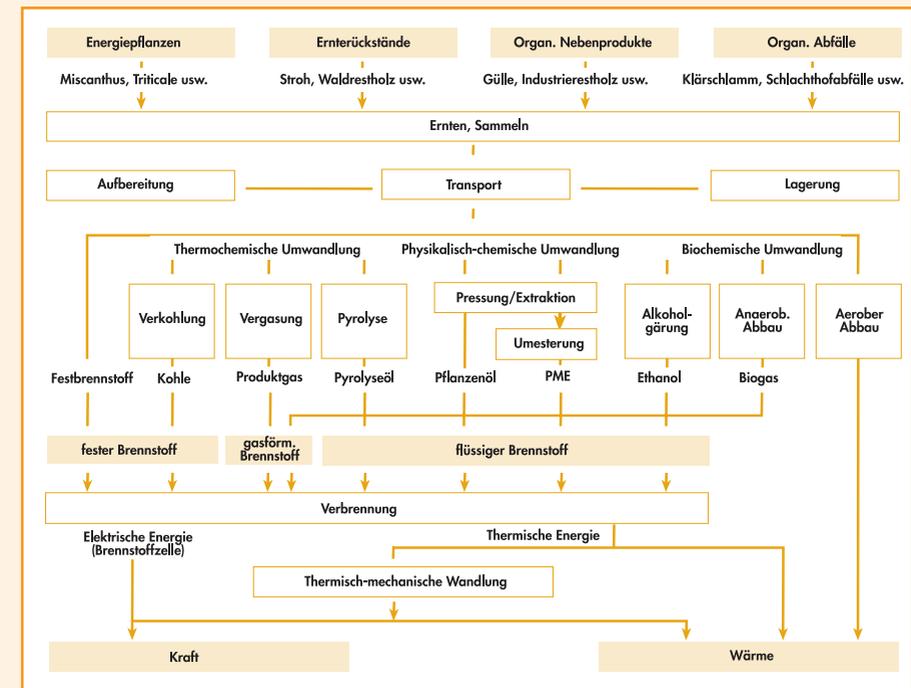


Abb. 2: Biomasse und Möglichkeiten ihrer energetischen Nutzung

## Potenziale: Was ist möglich?

Biomasse ist zwar eine nie versiegende Energiequelle, die jährlich produzierbare Menge ist jedoch durch Grenzen vorgegeben. Der Anbau von Pflanzen für die Nahrungsmittelerzeugung darf dadurch genauso wenig beeinträchtigt werden wie das ökologische Gleichgewicht. Deshalb sollte die energetische Nutzung von Biomasse überlegt und gezielt betrieben werden.

Wie viel Bioenergie in Deutschland gewonnen werden kann, hängt nicht nur davon ab, welche Menge an Holz jährlich zuwächst und welche Mengen an organischen Reststoffen anfallen. In Zukunft werden auch Energiepflanzen eine wichtige Rolle spielen. Dabei gilt es auszuloten, mit welchen Pflanzen sich die meiste Energie gewinnen lässt. Die verschiedenen Pflanzen und Endprodukte stehen sozusagen in direkter Konkurrenz zueinander. Während heute noch vor allem Mais oder Mischkulturen für die Mitvergärung in Biogasanlagen angebaut werden, könnten es im Jahr 2030 Pflanzen sein, die für die Gewinnung synthetischer Kraftstoffe besonders geeignet sind. Grundsätzlich geht man davon aus, dass die Ernteerträge mit der Zeit steigen und auch die Nutzungsverfahren effizienter werden. Das technische Potenzial gibt an, welchen Beitrag die Bioenergie zur

Deckung der Energienachfrage zu einem bestimmten Zeitpunkt leisten könnte. In die Rechnung gehen sowohl technische als auch strukturelle und ökologische Hindernisse mit ein. Wie es um die Bioenergie in Zukunft stehen könnte, zeigen Schätzungen für das Jahr 2030. Mit rund 12.750 Petajoule wird in Deutschland dann zwar voraussichtlich etwas weniger Energie benötigt als heute, rund 17 Prozent davon könnten jedoch aus heimischen nachwachsenden Rohstoffen stammen.

Interessant ist auch ein Blick auf die konkreten Energielieferanten. Während heute rund 57 Prozent der Bioenergie aus Holz stammen, gehört die Zukunft vor allem den Energiepflanzen, die laut Hochrechnung im Jahr 2030 den größten Anteil zur Energieversorgung aus Biomasse beitragen werden. 4,3 Mio. Hektar stehen dann für den Anbau von Pflanzen für Strom, Wärme oder Kraftstoffe zur Verfügung. Nur zum Vergleich: Heute werden rund 17 Mio. Hektar landwirtschaftlich genutzt. Die Biomasse ist anderen regenerativen Energieträgern in Deutschland damit zwar weit überlegen, hat aber ihre Grenzen. Ohne Importe werden wir auch dabei nicht auskommen. Ziel ist es, zu einer ausgewogenen Energieversorgung zu kommen, zu der alle erneuerbaren Energien im Rahmen der technischen, wirt-

schaftlichen und ökologischen Möglichkeiten einen Beitrag leisten.

In anderen Ländern und Kontinenten bieten ganz andere Rohstoffe für eine energetische Nutzung Perspektiven. In Asien beispielsweise fallen große Mengen von Reisspelzen, von Bagasse aus der Zuckerrohrverarbeitung oder Dung an. Je nach

geographischen Gegebenheiten könnten regional auch die verschiedensten Energiepflanzen an Bedeutung gewinnen. Summiert man alle Möglichkeiten auf, könnten weltweit über 100 EJ und damit etwa ein Viertel des heutigen Energiebedarfs aus Biomasse bereitgestellt werden. Die energetische Nutzung der Biomasse bietet also weltweit neue Perspektiven.

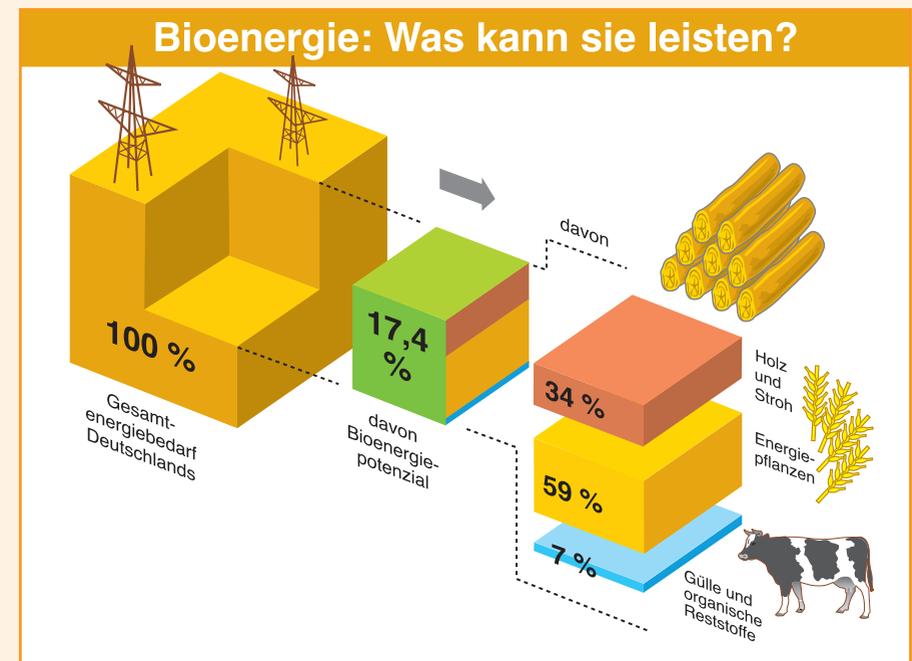


Abb. 3: Biomasse liefert heute rund 5,6 Prozent des deutschen Bedarfs an Strom, Wärme und Kraftstoffen – im Jahr 2030 könnten es über 17 sein. Nicht nur Biogas, Waldrestholz, Schwachholz, Reste aus der Holzverarbeitung und die großen Mengen des bislang ungenutzten Holzzuwachses bieten Potenziale. Auch Energiepflanzen und Stroh haben für die Energieversorgung der Zukunft erhebliche Bedeutung.

## Mit Biomasse heizen

Mit Holz wird zwar schon seit Jahrtausenden geheizt, moderne Verbrennungsanlagen mit Wirkungsgraden von über 90 Prozent wandeln es heute jedoch viel effektiver in Wärme um. Für die gleiche Heizleistung wird nicht nur weniger Biomasse benötigt, es bleiben auch weniger Rückstände übrig. Ob in Zentralheizungen, Heizwerken oder Heizkraftwerken, Holz ist in Deutschland nach wie vor der wichtigste Biobrennstoff.

Da im Holz hohe Anteile flüchtiger Substanzen gebunden sind, müssen Holzfeuerungskessel anders konstruiert sein



als Kessel für Öl oder Kohle. Um möglichst effizient und schadstoffarm zu arbeiten, unterscheiden sich die Kessel auch je nach Art des Biobrennstoffs; bei Scheitholz kommen andere Konstruktionen zum Einsatz als bei Hackschnitzeln oder Pellets.

### Biomasseheizwerke

Da biogene Festbrennstoffe auf das Gewicht bezogen naturgemäß weniger Energie enthalten als fossile Rohstoffe, nutzt man sie am Besten dort, wo sie auch anfallen. Biostrom und -wärme stammen daher vorwiegend aus dezentralen Anlagen kleiner und mittlerer Leistung. Überall in Deutschland gibt es mittlerweile Biomasseheizwerke zwischen 500 kW und 30 MW, die Mehrfamilienhäuser, Schulen, Schwimmbäder und kleinere Betriebe versorgen oder an ein Nahwärmenetz angekoppelt sind. Brennstoff sind meistens Hackschnitzel aus der Durchforstung oder aus Industrieholz. Sie sind kostengünstig und machen ein Biomasseheizwerk auch wirtschaftlich zur Alternative. Zahlreiche Kommunen nutzen beispielsweise das im eigenen Wald anfallende Schwach- und Durchforstungsholz. Aufbereiten müssen sie es nicht unbedingt selber, das Häckseln wird oft von einem Dienstleister über-

nommen. Auch Unternehmen, die Hackschnitzel in größeren Mengen produzieren und vertreiben, gibt es längst.

### Kleinf Feuerungskessel

Im ländlichen Raum setzen sich Kleinf Feuerungskessel für einzelne Haushalte immer mehr durch. Denn der Verbraucher hat erkannt, dass moderne Holzkes-sel effektiv arbeiten und ein vor Ort vorhandener Brennstoff Preisvorteile hat. Da die Technologie zur Nutzung von Hackschnitzeln relativ aufwändig und teuer ist und Hackschnitzel viel Lagerfläche benötigen, werden vor allem Scheitholz- und Pelletkessel eingebaut. Beide Brennstoffe haben ihre Vorteile: Pelletkessel laufen ähnlich wie Ölkessel vollautomatisch und punkten mit ihrem Komfort. Scheitholz dagegen ist konkurrenzlos preiswert, vor allem für Nutzer, die beim Einwerben des Holzes selbst Hand anlegen.

### Heizen mit Scheitholz

Moderne Scheitholzkessel gibt es im Leistungsbereich von fünf bis zu mehreren 100 kW. Zwar muss das Holz noch immer per Hand nachgelegt werden, modernste Technik sorgt jedoch für eine erheblich effizientere und sauberere Verbrennung als früher, so dass es kein Problem ist, die strengen Emissionsschutzaufgaben in

Deutschland einzuhalten. Dank Lambda-Sonde und Regelung steht immer ausreichend Sauerstoff für eine vollständige Verbrennung zur Verfügung und es ent-



Abb. 5: Schema eines Scheitholzkessels

stehen erheblich weniger Luftschadstoffe wie Kohlenmonoxid (CO) oder Kohlenwasserstoffe. Scheitholzvergaserkessel trennen die Freisetzung der leichtflüchtigen Bestandteile (Vergasung) und die Umsetzung dieser Gase in Wärme (Verbrennung) auch räumlich. Durch gestufte Zufuhr der Verbrennungsluft lassen sich damit Wirkungsgrade von mehr als 90 Prozent erreichen. Um die entstehende Wärme möglichst effektiv zu nutzen, werden Scheitholzkessel mit einem Warmwasserspeicher kombiniert, der die Wärme je nach Bedarf an das Heizungssystem abgibt.

## Heizen mit Pellets

Pellets werden industriell aus Säge- und Hobelspänen hergestellt. Die zylindrischen Presslinge sind 6 bis 8 mm dick und etwa 10 bis 30 mm lang, eine Norm garantiert gleichbleibende Qualität. Pellets sind nicht nur echte Energiebündel (2 kg Pellets entsprechen 1 l Heizöl), sondern lassen sich auch hervorragend transportieren. Da der Brennstoff nur wenig Lagerraum benötigt, sind Pellet-



kessel in Einfamilienhäusern besonders beliebt. Dank modernster Technologie ist ein Pelletkessel in Kombination mit einem Gebläse oder einer Transportschnecke selbst in der Lage, soviel Pellets



Abb. 6: Platzsparender Einbau einer Holzheizung

anzufordern wie er benötigt, um die vom Nutzer eingestellte Wärme zu erzeugen. Das ist nicht nur komfortabel, sondern auch besonders effizient und umweltschonend. Ein kleiner Puffer- und Brauchwarmwasserspeicher (Boiler) reicht aus, um die Verbrennungswärme zu speichern. Kombikessel zur kombinierten Verfeuerung von Pellets und Stückholz und Pelleteinzelöfen ergänzen das Sortiment.

## Stroh und Getreide als Brennstoff

Getreide und Stroh binden nicht nur ähnlich viel Energie wie Holz, sondern sind auch relativ homogene Brennstoffe

und auch in Deutschland überall verfügbar. Dennoch hat sich ihre energetische Nutzung bislang nicht durchgesetzt, da besondere Eigenschaften und Inhaltsstoffe bei der Verbrennung Probleme bereiten können und daher besondere technische Lösungen bedingen. Während der niedrige Ascheerweichungspunkt die Verschlackung der Asche im Kessel bewirkt, können höhere Chlorgehalte zu Korrosion führen. Auch Staub- und Stickoxidemissionen gilt es erst in den Griff zu kriegen. Die Hersteller versuchen, die Probleme sowohl konstruktiv als auch durch nachgeschaltete Reinigungssysteme anzugehen.

Denn die derzeit und zukünftig gültigen Emissionsanforderungen für Staub lassen sich ohne ergänzende Abgasreinigungseinrichtungen nicht einhalten. Um die sehr feinen Staubpartikel abzufangen, werden sowohl filternde oder elek-



trostatische Abscheider, als auch Sekundärwärmetauscher zur Rauchgaskondensation erprobt. Sie müssen nicht nur funktionieren, sondern dürfen auch nicht zu teuer sein, damit sich die Investition für den Landwirt auch lohnt.

Mit Ganzballen-, Ballenauflöse- oder Zigarrenabbrandfeuerung existieren heute bereits Anlagen für die energetische Nutzung von Stroh im höheren Leistungsbereich. Die Arbeiten zur technischen Anpassung kleinerer Kessel an stroh- und halmgutartige Brennstoffe laufen auf Hochtouren. Mehrere Kesselhersteller haben bereits vielversprechende spezielle Getreideheizungen auf den Markt gebracht.

Eine interessante Alternative für die Zukunft sind auch Stroh- und Halmgutpellets. Sowohl die Pelletierung von Stroh als auch die Verfeuerung derartiger Pellets werden in kleinerem Umfang bereits praktiziert.

Da Stroh und Getreide beachtliche Biomassepotenziale bieten, die einen wichtigen Beitrag zu einer ökologisch verträglichen Energieversorgung leisten können, unterstützt der Bund Forschungsarbeiten in diesem Bereich.

## Strom aus Holz und Stroh

Schon 120 v. Chr. beschrieb Heron von Alexandrien, wie mit durch Verbrennung erzeugtem Dampf mechanische Arbeit verrichtet wird. Erst 1770 jedoch schuf James Watt mit der ersten funktionsfähigen Niederdruckdampfmaschine die Grundlagen für die industrielle Revolution. Seitdem ist der Dampfkraftprozess aus der Industriegesellschaft nicht mehr wegzudenken. Wurde mit Dampfmaschinen ursprünglich direkt mechanische Energie gewonnen, gelang Ende des 19. Jahrhunderts auch die Stromerzeugung. 1882 wurden auf Anregung

von Edison in London und New York erste Dampfkraftwerke in Betrieb genommen.

Für die Konversion fester Brennstoff zu Strom ist der Dampfkraftprozess bis heute das Maß der Dinge. Moderne Dampfkraftwerke erreichen Dampfparameter von 250 bar und 560°C, mit denen elektrische Wirkungsgrade von 43 Prozent und mehr möglich sind. Die Betriebsweise solcher Kraftwerke ist thermodynamisch recht komplex. Die Kraftwerksgrößen erreichen 1.000 MW<sub>th</sub> (thermische Leistung) und mehr.

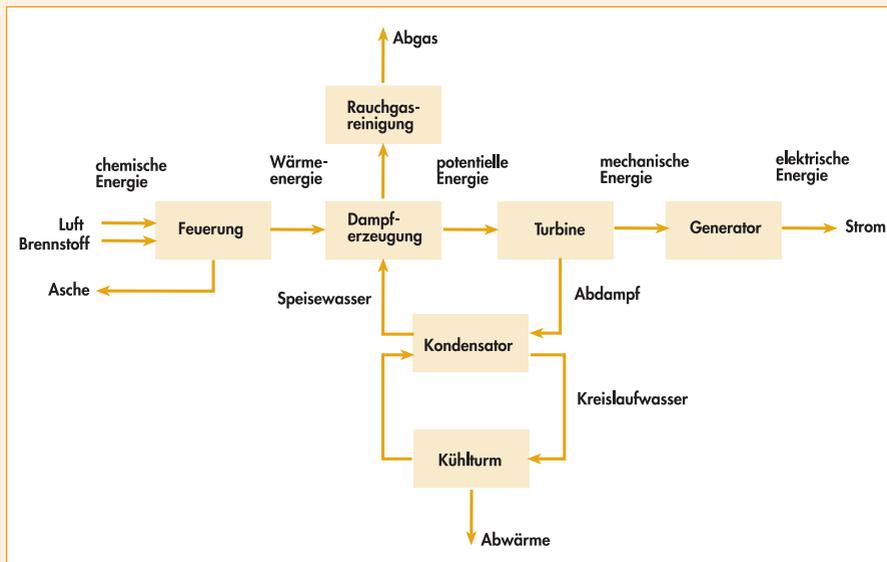


Abb. 7: Schema eines Dampfkraftwerkes

Da Holz, Stroh oder Energiepflanzen dezentral anfallen, rentiert sich eine Verwertung in sehr großen zentralen Kraftwerken nicht immer. Bei Stroh und Energiegetreide machen außerdem die Verbrennungseigenschaften den Dampfkraftprozess mit den angestrebten hohen Temperaturen und Drücken nicht ohne weiteres möglich. Er bleibt daher der energetischen Altholzverwertung vorbehalten. Alle anderen festen Biomassen werden in vergleichsweise kleinen, weniger komplexen Kraftwerkseinheiten und mit niedrigeren Dampfparametern in Strom umgewandelt. Daran liegt es auch, dass die elektrischen Wirkungsgrade von Biomassekraftwerken mit heute rund 35 Prozent niedriger sind als die großer Kohlekraftwerke.

Eine effiziente Alternative für dezentrale Kraftwerke bietet die Kraft-Wärme-Kopplung, bei der neben dem Strom auch die entstehende Wärme ausgekoppelt und genutzt wird. Da derartige Kraftwerke Wärme und Strom gleichzeitig erzeugen, kann die in der Biomasse gebundene Energie sehr effizient genutzt werden.

### Alternative Konversionstechnologien

Die Brennstoffeigenschaften fester Biomasse begrenzen die für die Stromerzeugung verfügbaren Alternativen. Heute

wichtige Prozesse sind der Organic-Rankine-Cycle(ORC)-Prozess, der Dampfmaschine sowie die Stirling-Maschine. Da der Stromwirkungsgrad bei all diesen Technologien relativ gering ist, machen sie nur Sinn, wenn auch die Wärme ihren Abnehmer findet. ORC-Prozess und Dampfmaschine sind beispielsweise in der Holzverarbeitenden Industrie zu finden, wo Restholz anfällt und sowohl Strom als auch Wärme benötigt werden.

### Organic-Rankine-Cycle(ORC)-Prozess:

Beim ORC-Prozess macht man sich organische Arbeitsmedien zunutze, die günstigere Verdampfungseigenschaften haben als Wasser. Silikonöl beispielsweise kann bereits bei niedrigen Temperaturen und Drücken große Energiemengen übertragen. Auch hier erfolgt die Stromerzeugung über eine, allerdings etwas abgewandelte, Dampfmaschine. ORC-Anlagen werden ab elektrischen Leistungen von 100 kW<sub>el</sub> in Kompaktbauweise angeboten und erreichen elektrische Wirkungsgrade über 12 Prozent.

**Dampfmaschine:** Der Dampfmaschine kann als moderne Form der klassischen Watt'schen Dampfmaschine betrachtet werden, wird aber im geschlossenen Kreislauf betrieben. Da elektrische Wirkungsgrade über 15 Prozent nicht möglich sind, macht er nur dort Sinn, wo auch die (Ab-)Wärme benötigt wird.



Abb. 4: ORC-Anlage

**Stirlingmaschine:** Der Stirlingmotor wurde zwar schon 1817 vom gleichnamigen schottischen Geistlichen zum Patent angemeldet, hat sich jedoch bis heute nicht durchgesetzt. Ein Gas, meist Helium, setzt dabei über einen periodisch unter Temperatur- und Druckänderung ablaufenden Kreisprozess Energie in Arbeit um. Zwar kann der Stirlingmotor mit nahezu allen Biobrennstoffen betrieben werden, die technische Umsetzung des Verfahrens birgt jedoch nach wie vor Probleme, weshalb der Stirlingmotor bis heute keine große praktische

Bedeutung für die Biomassenutzung hat. Stirlingmaschinen weisen heute in der Prototypphase elektrische Leistungen von unter 10 bis 40 kW<sub>el</sub> auf, größere Einheiten sind vereinzelt zu finden. In jüngster Zeit wird insbesondere die KWK durch die Verbindung von Pelletöfen und Stirlingmaschinen verfolgt. Die Maßstabvergrößerung und damit verbunden die Leistungserhöhung gilt bei Stirlingmaschinen als schwierig. Thermodynamisch kann der elektrische Wirkungsgrad 25 Prozent betragen, im Labor werden etwa 10 Prozent erreicht.

## Hoffnungsträger thermochemische Vergasung

Um die mit der Verbrennung von Feststoffen verbundenen Nachteile zu umgehen, beschäftigen sich Ingenieure und Wissenschaftler seit mehr als 80 Jahren mit der Vergasung. Bei der Vergasung wird der Brennstoff durch Erwärmung unter Sauerstoffmangel in ein brennbares Gas überführt, das häufig für die weitere Nutzung noch gereinigt wird. In einem Gasmotor oder einer Gasturbine werden daraus Strom und Wärme erzeugt. Bei heutigen Vergasungsverfahren gelingt es, ca. 70 bis 80 Prozent der Brennstoffenergie in das Produktgas zu übertragen.

Während im Bereich von ca. 2 bis 5 MW<sub>th</sub> Festbettvergaser erprobt werden, zieht man in größeren Leistungsbereichen Wirbelschichtvergaser vor. Zukünftig könnten größere Anlagen (Feuerungswärmeleistungen > 20 MW<sub>th</sub>) Bedeutung erlan-

gen, bei denen die Vergasung unter Druck (20 bis 100 bar) stattfindet und zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe führt.

Mit elektrischen Wirkungsgraden von etwa 30 Prozent ist die Vergasung schon heute ein interessantes Verfahren zur Verstromung von Biomasse. Über 40 Prozent erhofft man sich vom gekoppelten Gas- und Dampfturbinenprozess (GuD oder IGCC: Integrated Gasification Combustion Cycle). Auch der Einsatz von Brennstoffzellen verspricht langfristig Erfolg, der elektrische Wirkungsgrad könnte damit auf über 50 Prozent steigen. Bislang ist die thermochemische Vergasung aber in keinem Leistungsbereich zum Stand der Technik zu rechnen. Probleme bereiten nicht nur die Qualität des Produktgases, sondern auch die mangelnde Stabilität des Vergasungsprozesses. Dennoch könnte die thermochemische Vergasung mittelfristig eine geeignete Alternative zur Stromerzeugung aus Biomasse werden.



## Biogas

Ob in Sümpfen und Mooren oder im Verdauungstrakt von Wiederkäuern: Biogas bildet sich überall dort, wo organisches Material in feuchter Umgebung unter Licht- und Luftabschluss abgebaut wird. Methanbakterien leisten dabei die Hauptarbeit. In einer Biogasanlage lässt sich Biogas mit Hilfe verschiedener Bakterien aber auch systematisch aus organischem Material erzeugen. Die Biogaserträge aber auch die Zusammensetzung des Biogases variieren je nach Einsatzstoff oder Stoffgemisch.



lichen Biogasanlagen, werden heute zunehmend andere Biomassen beigemischt. Neben organischen Rest- und Abfallstoffen aus der Lebensmittelindustrie oder Biomüll, sorgen vor allem eigens angebaute Energiepflanzen wie beispielsweise Mais für besonders hohe Biogas-

### Was kommt hinein?

Waren zunächst Gülle und Mist von Rindern, Schweinen oder Hühnern die wichtigsten Einsatzstoffe in landwirtschaft-

Bestandteil	Chem. Bezeichn.	Konzentration in Volumenprozent
Methan	CH <sub>4</sub>	50 – 75
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	25 – 45
Wasserdampf	H <sub>2</sub> O	2 – 7
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	< 2
Stickstoff	N <sub>2</sub>	< 2
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	< 2
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	< 1
Wasserstoff	H <sub>2</sub>	< 1

Tab. 4: Durchschnittliche Zusammensetzung von Biogas

Substrat	Biogasertrag (m <sup>3</sup> /t Frischmasse)	CH <sub>4</sub> -Gehalt (Vol.-%)
Rindergülle	20 – 30	60
Schweingülle	20 – 35	60 – 70
Rindermist	40 – 50	60
Schweinemist	55 – 65	60
Hühnermist	70 – 90	60
Maissilage	170 – 200	50 – 55
Roggen-GPS	170 – 220	55
Biotonne	80 – 120	58 – 65
Grünschnitt	150 – 200	55 – 65

Tab. 5: Biogas- und Methangehalt verschiedener Substrate

erträge. Gehäckselt und über die Silierung haltbar gemacht, kann er bedarfsgerecht eingesetzt werden. Auch Grassilage, Rüben oder siliertes Getreide werden in Biogasanlagen vergoren. Eine intensivere Biogasnutzung ist abzuse-

hen und muss sinnvoll gesteuert werden. Die Wissenschaft arbeitet daher daran, neue Energiepflanzen und Anbausysteme zu etablieren, um den Energiepflanzenanbau ökologisch und ökonomisch verträglich ausbauen zu können.

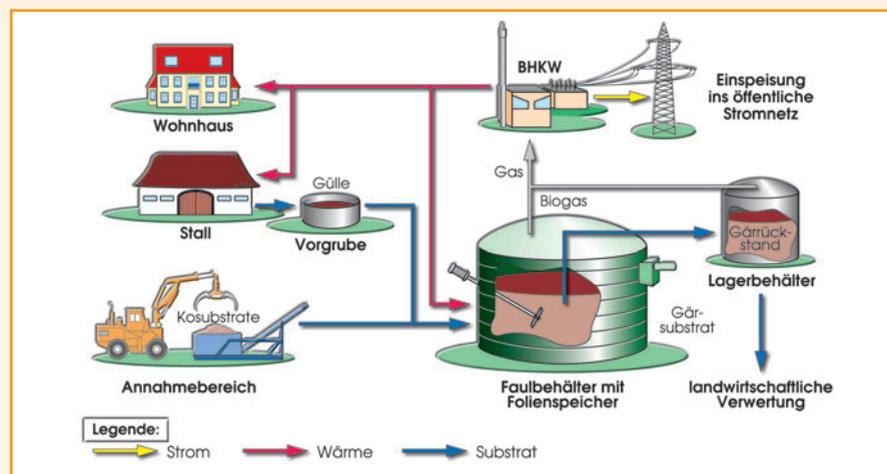


Abb. 8: Aufbau einer Biogasanlage

## Wie ist eine Biogasanlage aufgebaut?

Abbildung 8 zeigt, wie eine landwirtschaftlichen Biogasanlage funktioniert und wie die Grundelemente Vorgrube/ Substrateinbringung, Faulbehälter, Gärrestlager und Biogasverwertung angeordnet sind. Werden seuchenhygienisch bedenkliche Substrate wie z.B. Schlachthof- oder Speiseabfälle mitvergoren, müssen diese hygienisiert und für mindestens eine Stunde auf über 70 °C erhitzt werden, um Keime abzutöten. In der Vorgrube werden Gülle und Kosubstrate zwischengelagert und wenn nötig zerkleinert, verdünnt oder gemischt. Der beheizte Faulbehälter, auch Fermenter genannt, ist das Kernstück der Anlage.



Abb. 9: Landwirtschaftliche Biogasanlage

Er muss für eine erfolgreiche Vergärung nicht nur gas- und wasserdicht, sondern auch lichtundurchlässig sein. Eine Rührvorrichtung sorgt dafür, dass das Substrat gut gemischt und homogen bleibt und Bakterien und Substrat in engem Kontakt stehen.

Ist das Substrat vergoren, wird es in das Gärrestlager gepumpt und kann dann als Dünger ausgebracht werden. Das produzierte Biogas wird zunächst gereinigt und entschwefelt und fließt in einen Gasspeicher bevor es beispielsweise in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) verstromt wird. Mit der dabei entstehenden Wärme können die Biogasanlage und angrenzende Wohn- und Wirtschaftsgebäude sinnvoll beheizt werden.



Abb. 10: Vereinfachte Darstellung des Abbaus organischer Substanz in der Biogasanlage

## Was passiert im Fermenter?

Je nach den eingesetzten Substraten, Technik aber auch der Arbeitstemperatur unterscheiden sich die Biogasanlagen. Liegt die Arbeitstemperatur im Fer-

menter bei 32 – 42 °C, spricht man von einer mesophilen, bei 50 – 57 °C von einer thermophilen Anlage. Die Vergärung im Faulbehälter ist jedoch grundsätzlich die gleiche: Die Biomasse wird in vier voneinander abhängigen biologischen Teilschritten, an denen jeweils verschiedene Gruppen von Mikroorganismen beteiligt sind, unter anaeroben Bedingungen zersetzt. Die an eine flüssige Phase gebundenen Organismen verwerten die Produkte der vorangegangenen Abbauschritte und bilden zum Ende der Vergärung Biogas. Während bei einstufigen Anlagen alle Phasen in einem Fermenter ablaufen, werden bei zweistufigen Anlagen die Phasen voneinander getrennt.

## Biogas als Energiequelle

Biogas wird überwiegend über Verbrennungsmotoren in Strom umgewandelt, die einen Generator zur Stromerzeugung antreiben. Als Motoren für die BHKW-Module dienen entweder Gas-Otto- oder Zündstrahlmotoren. Gas-Otto-Motoren sind speziell für den Gasbetrieb entwickelte Motoren, die mit Viertakt-Motoren aus Kraftfahrzeugen vergleichbar sind. Zündstrahlmotoren dagegen arbeiten nach dem Dieselpinzip. Da sich Biogas bei Kompression nicht selbst entzündet, wird ein Zündöl (ca. 10 Prozent der Brennstoffleistung) eingespritzt, um ein

selbstzündendes Gasgemisch herzustellen. Eine Biogasanlage kann dann besonders wirtschaftlich arbeiten, wenn auch die Abwärme ihren Abnehmer findet. Denn mit konventionellen Technologien lassen sich nur etwa 35 Prozent der im Biogas enthaltenen Energie in Strom umwandeln.

Um höhere Stromausbeuten zu erhalten, erproben Forscher beispielsweise den Einsatz von Biogas in der Brennstoffzelle, die die chemische Energie des aufbereiteten Biogases direkt in Strom umwandeln kann. Die Brennstoffzelle ist bislang zwar teuer, arbeitet aber leise und kann elektrische Wirkungsgrade bis zu 50 Prozent erreichen.

Neue Chancen bietet die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas ins Erdgasnetz. Denn damit kann das Biogas dort



Abb. 11: Biogasanlage mit Trockenfermentation

genutzt werden, wo Bedarf an der anfallenden Wärme besteht. Wenngleich die Reinigung und Aufbereitung des Biogases teuer sind, zeigen aktuelle Beispiele, dass sich die Einspeisung auch lohnen kann. Wie die 2006 eingeweihte erste Biogastankstelle Deutschlands zeigt, kann Biogas so aufbereitet dann auch als Kraftstoff von Erdgasfahrzeugen getankt werden.

### Biogas ohne Gülle – Trockenfermentation

Da für den Gärprozess bei der Trockenfermentation keine Gülle erforderlich ist, können damit auch Ackerbauern zu Energiewirten werden. Energiepflanzen, Ernterückstände und biogene Abfälle werden dabei kontinuierlich oder diskontinuierlich vergoren. Während bei der kontinuierlichen Trockenvergärung konstant frisches Substrat in den Gärraum eingebracht und Gärreste entnommen werden, muss bei der diskontinuierlichen Vergärung der Fermenter alle drei bis sechs Wochen zum Ausleeren und zur Neubefüllung mit Substrat heruntergefahren werden. Die Verfahren zur Trockenfermentation stellen eine Alternative zur weit verbreiteten Nassvergärung dar und bergen für die Zukunft vor allem deshalb Potenzial, weil sie die Vergärung technisch einfacher und ohne Gülle möglich machen.

## Biokraftstoffe

Wer nachhaltige Mobilität will, kommt an Biokraftstoffen nicht vorbei. Sie sind momentan die einzige regenerative Alternative. Denn den von Brennstoff-

nahmen eingesetzt werden können. Mit Biodiesel hat sich ein erster dieser Kraftstoffe bereits etabliert. Aber auch reine Pflanzenöle oder Ethanol aus zucker-



zellen angetriebenen Elektromotor wird es in nächster Zeit nicht geben. Deshalb setzt man weiter auf den Verbrennungsmotor.

Biokraftstoffe müssen daher Benzin oder Diesel ähneln und in hochentwickelten Motoren ohne größere Anpassungsmaß-

oder stärkehaltigen Pflanzen kommen schon heute zum Einsatz. Im Juni 2006 wurde im Rahmen eines Pilotprojektes die erste Tankstelle für Biogas als Kraftstoff im Wendland eingeweiht. Das Gas wird dabei so gereinigt und aufbereitet, dass es von Erdgasfahrzeugen getankt werden kann.

Synthese- oder BtL-Kraftstoffe (biomass-to-liquid) sind in der Entwicklung. Die meisten Biokraftstoffe sind flüssig und lassen sich dadurch gut transportieren. Sie sind nicht nur CO<sub>2</sub>-neutral, sondern auch schnell biologisch abbaubar und nicht oder nur gering Wasser gefährdend, was bei Leckagen oder Unfällen von Vorteil ist.

2006 stammten in Deutschland bereits 6,4 Prozent aller Kraftstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Damit ist Deutschland ein Vorreiter in Europa und geht mit positivem Beispiel voran. Denn aus klima-, energie- und agrarpolitischen Gründen will die EU den biogenen Anteil am gesamten Kraftstoffmarkt bis zum Jahr 2010 auf 5,75 Prozent erhöhen.

## Pflanzenöl

Um **Pflanzenöl** wie beispielsweise Rapsöl in modernen Dieselmotoren einsetzen zu können, muss der Motor dem Kraftstoff angepasst werden. Der Handel bietet dafür spezielle Umrüstsätze an. Da die Ölqualität entscheidende Auswirkungen auf den einwandfreien Betrieb hat, kommt der Einhaltung der DIN-Vornorm 51605 große Bedeutung zu. Vor allem Land- und Forstwirte sowie Speditionen haben ihre Fuhrparks auf den Biokraftstoff umgestellt. 2006 wurden 1 Mio. Tonnen Pflanzenöl als Kraftstoff genutzt.

## Biodiesel

**Biodiesel** oder auch Fettsäuremethylester (FAME) kann aus den verschiedensten Ölen und Fetten über die Veresterung hergestellt werden. In Deutschland hat sich Rapsöl als Rohstoff etabliert, daher auch der Name Rapsölmethylester (RME). Bei der Herstellung werden die im Öl enthaltenen drei Fettsäuren in Gegenwart eines Katalysators vom Glycerin abgespalten und anschließend mit Methanol verestert. Da Biodiesel konventionellem Diesel so ähnelt, dass sein Einsatz auch in modernen Hochleistungsdieselmotoren möglich ist, haben einige Fahrzeughersteller Freigaben für die Verwendung von Biodiesel erteilt. Die für die Kraftstoffqualität notwendigen Anforderungen sind in der europaweit gültigen Norm DIN EN 14214 festgeschrieben.

Die Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e. V. (AGQM) sichert eine hohe und dauerhaft gleich bleibende Kraftstoffqualität, auf die an der Zapfsäule ein eigenes Logo hinweist. Im Jahr 2006 wurden in Deutschland rund 2,5 Mio. Tonnen Biodieselmethylesterkraftstoff verbraucht. Als Reinkraftstoff kommt er heute vor allem in Fahrzeugflotten von Speditionen zum Einsatz, wird aber auch an rund 1.900 Tankstellen von privaten Autofahrern getankt. Seit 2004 mischen Mineralölkonzerne Biodiesel herkömmlichem Diesel bis zu fünf Prozent bei.

## Biokraftstoff-Potenzial in Deutschland

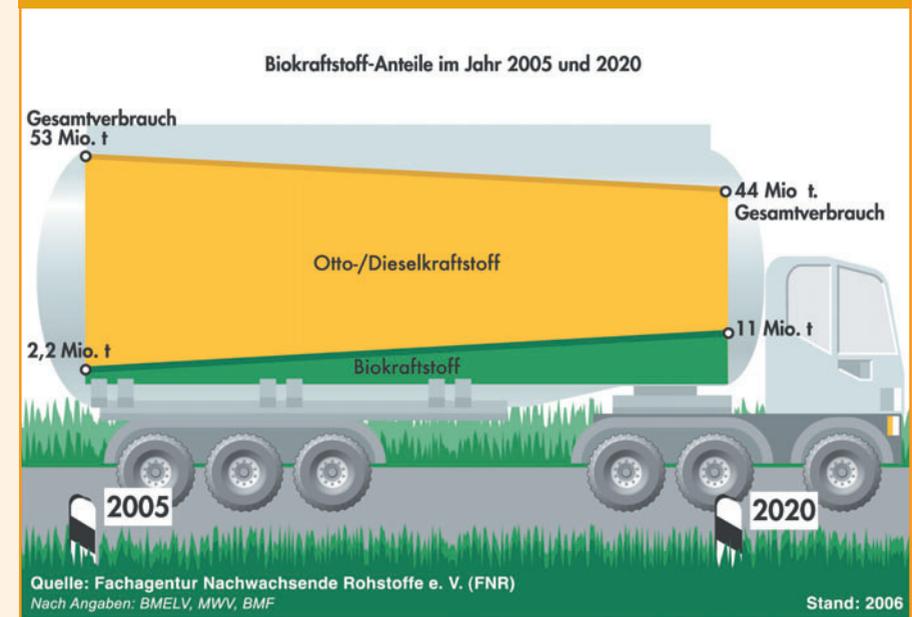


Abb. 12: Der Kraftstoffverbrauch in Deutschland wird in Zukunft voraussichtlich abnehmen: Während er 2005 noch bei 53 Millionen Tonnen lag, schätzen ihn Experten für das Jahr 2020 auf nur noch 44 Millionen Tonnen. Gleichzeitig stehen immer größere Flächen für den Energiepflanzenanbau bereit, 2020 können es bis zu 3,5 Millionen Hektar sein. Würde diese Fläche für die Erzeugung synthetischer BtL-(Biomass-to-Liquid) Kraftstoffe genutzt, ließen sich damit knapp 11 Millionen Tonnen oder rund 25 Prozent unseres Kraftstoffbedarfs decken.

Natürlich eignen sich Rapsöl und Biodiesel auch als Brennstoff für eine stationäre Wärmeversorgung oder für die kombinierte Wärme- und Stromerzeugung in einem Motor-Blockheizkraftwerk. Auch der Einsatz in konventionellen Ölheizungen ist nach technischer An-

passung möglich aber in der Regel bislang nicht wirtschaftlich.

## Ethanol

Während Pflanzenöl und Biodiesel Dieselmotoren antreiben, kann Bioethanol Ottokraftstoffe, also Benzin, Super und Superplus ersetzen. Wird das sauerstoffhaltige Ethanol beigemischt, verbrennt der Treibstoff nicht nur effektiver, auch bessere Abgaswerte sind möglich. Ethanol entsteht bei der Vergärung von Zuckern, die in stärkehaltigen (Kartoffeln, Mais, Getreide) oder zuckerhaltigen Pflanzen (Zuckerrüben) vorkommen. Unter Einsatz von Hefe und Enzymen wird dieser Zucker zu Ethanol und CO<sub>2</sub> umgewandelt. Die mehrstufige Destillation und Entwässerung ermöglichen die Anreicherung des Alkohols auf bis zu 99,9 Prozent. Ethanol kann nach DIN EN 228 zu Ottokraftstoffen in Anteilen von bis zu 5 Prozent beigemischt werden. Auch die Umwandlung zu Ethyl-tertiär-Butylether (ETBE) ist möglich. Er wird Ottokraftstoffen als Oktanzahl-Verbesserer beigemischt und ersetzt das fossil-stämmige Methyl-tertiär-Buthylether (MTBE). Erste große Ethanolfabriken haben ihren Betrieb in Deutschland mittlerweile aufgenommen und dafür gesorgt, dass 2006 ca. 480.000 Tonnen Ethanol getankt werden konnten. So genannte Flexible Fuel Vehicles (FFV), die mit einem bis zu 85-prozentigen Ethanolanteil fahren, werden hierzulande seit 2005 angeboten. Allerdings muss aufgrund des geringeren Energieinhalts mit einem erhöhten



Kraftstoffverbrauch gerechnet werden. Erste Tankstellen wurden auch für diesen Kraftstoff bereits errichtet.

## Synthetische Kraftstoffe

Wenngleich die Herstellung synthetischer Kraftstoffe bislang noch nicht großtechnisch umgesetzt ist, erhofft man sich von ihnen eine ganze Menge. Biomasto-Liquid (BtL, auch Synfuel oder Sunfuel®) genannte Kraftstoffe punkten mit mehreren Vorteilen. Sie lassen sich nicht nur aus den verschiedensten Rohstoffen herstellen und modernen Motorenkonzepten ideal anpassen. Auch der Vertrieb über das vorhandene Tankstellennetz ist

problemlos möglich. Bei der Herstellung werden Stroh, Holz oder Energiepflanzen zunächst über die thermochemische Vergasung in ein Synthesegas umgewandelt, aus dem sich gezielt Benzin oder Diesel herstellen lassen. Dank der chemischen Eigenschaften der Kohlenwasserstoffe verbrennt BtL-Kraftstoff effizient und vollständig und verursacht geringere Abgase als herkömmliche Kraftstoffe. Durch die Veränderung von Druck, Temperatur oder Katalysatoren bei der Synthese und der anschließenden Aufarbeitung lassen sich die Kraftstoffe außerdem maßschneidern. In Deutschland und Europa arbeiten mehrere Unternehmen und Forschungseinrichtungen an der Produktion von BtL-Kraftstoffen

im Pilotmaßstab. Trotz vielversprechender Entwicklungen wird in den dichtbesiedelten Ländern Mitteleuropas eine vollständig autarke Biokraftstoffversorgung kaum möglich sein. Experten gehen jedoch davon aus, dass in Deutschland produzierte Biokraftstoffe bereits im Jahr 2020 einen Anteil von 20 – 25 Prozent an der gesamten Kraftstoffversorgung ausmachen können. Eine beachtliche Größenordnung, wenn man bedenkt, dass wir heute fast vollständig von den Erdöllieferanten abhängig sind. Ob unsere Mobilität am Ende des Jahrhunderts vollständig erneuerbar ist, wird die Zukunft zeigen. Dass die weltweiten Biomasse-Potenziale hierfür ausreichen, steht jedoch außer Zweifel.



Abb. 13: Pilotanlage zur Produktion von BtL-Kraftstoffen

## Gesetze und Rahmenbedingungen

Wo, wie und in welchem Umfang Biomasse zur Energieversorgung beiträgt, hängt stark von den ordnungsrechtlichen Rahmenbedingungen ab. Nicht nur Raumplanungs- und Baurecht oder Immissionschutzrecht müssen berücksichtigt werden, auch Abfall- und Düngemittelrecht spielen eine Rolle. Daneben finden sich Gesetze wie z. B. das Erneuerbare-Energien-Gesetz oder das Mineralölsteuergesetz, die den Ausbau der Bioenergie durch eine festgelegte Vergütung für Strom aus Biomasse oder die Steuerbegünstigung für Biokraftstoffe forcieren. Durch verschiedene Programme zur Förderung von Forschung, Entwicklung und Markteinführung wird der Ausbau der Bioenergie von der Bundesregierung unterstützt.

### Immissionsschutz

Die Verbrennung von Biomasse ist zwar weitgehend CO<sub>2</sub>-neutral und damit Klima schonend. Bei der Verbrennung fester Biomasse können jedoch auch schädliche Gase freigesetzt werden. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) mit seinen nachgeschalteten Verordnungen bzw. Verwaltungsvorschriften (1. BImSchV, 13. BImSchV, 17. BImSchV und TA Luft) greift hier regelnd ein. Je nach Brennstoff werden Mindestanlagengrößen festge-

legt, die dafür sorgen sollen, dass möglichst wenige Schadstoffe in die Umwelt gelangen. Während naturbelassenes Holz auch in kleinen Kesseln als Energieträger genutzt werden kann, sind für Stroh und beschichtete Holzwerkstoffe größere Anlagen verbindlich, da sie eine emissionsärmere Verbrennung gewährleisten können.

Deutlich komplexer sind die rechtlichen Anforderungen an Biogasanlagen. Neben dem Immissionsschutzrecht sollen eine Vielzahl zusätzlicher Regelungen für möglichst umweltverträglichen Bau und Betrieb sorgen. Der Anlagenplaner muss sich daher nicht nur mit dem Baurecht, dem Wasserrecht und dem Düngemittelrecht, sondern auch mit zahlreichen sicherheitstechnischen Anforderungen auseinandersetzen. Bei Biogasanlagen und großen Verbrennungs- und Vergasungsanlagen gilt es sogar, die Vorgaben des Seuchenhygienegesetzes zu beachten.

### Das Erneuerbare-Energien-Gesetz

Das wichtigste rechtliche Instrument zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG), das im April 2000 in Kraft trat und im Juli 2004 neu aufgelegt wurde.

Im EEG ist die Vergütung für jede Kilowattstunde erneuerbaren Stroms festgelegt, die ins öffentliche Netz eingespeist wird. Je nach Art des erneuerbaren Energieträgers, der Umwandlungstechnologie und Anlagengröße sind die Grundvergütungen dabei differenziert ausgestaltet. Zusätzliche Vergütungen gibt es für den Einsatz von Holz und anderen speziell für die Energieerzeugung angebaute nachwachsenden Rohstoffen (Biomassebonus), für Kraft-Wärme-Kopplungs-

Anlagen und bei Einsatz innovativer Technologien. In den vergangenen vier Jahren führten die Vergütungsregelungen des EEG zu einer deutlichen Steigerung der Stromerzeugung aus Biomasse. Mit der Verbesserung der Vergütungssätze im Rahmen der EEG-Novellierung von 2004 konnte die Energieerzeugung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen und Biomasse-Heizkraftwerken deutlich ausgebaut werden.

Grundvergütung für Anlagen	Vergütungshöhen in Cent / kWh		
	2006	2007	2008
bis 150 kW	11,16	10,99	10,83
> 150 kW bis 500 kW	9,60	9,45	9,31
> 500 kW bis 5 MW	8,64	8,51	8,38
> 5 MW bis 20 MW	8,15	8,03	7,91
und für den Einsatz von Altholz der Kategorien AIII /AIV	3,78	3,72	3,66
<b>Biomasse-Bonus für Anlagen</b>			
bis 500 kW	6		
> 500 kW bis 5 MW	4		
> 500 kW bis 5 MW bei Einsatz von Holz	2,5		
<b>Kraft-Wärme-Kopplungs-Bonus</b>	2		
<b>Technologie-Bonus</b>	2		

Tab. 6: Vergütung für Strom aus Biomasse, Stand 2006

## Energieeinsparverordnung (EnEV)

Im Bereich des privaten Wohnungsbaus spielt auch die Energieeinsparverordnung (EnEV) eine Rolle. Seit 01.02.2002 legt sie den zulässigen Primärenergiebedarf für die Heizung und Warmwasserbereitung eines Hauses fest. Auch die primärenergetische Effizienz der verschiedenen Energieträger sowie Wirkungsgrad und Umweltverträglichkeit der Anlagentechnik finden dabei Berücksichtigung. Moderne Holzfeuerungen wie z. B. Pelletzentralheizungen und Scheitholzvergaserkessel sind in diesem Kontext sowohl im Neubau als auch bei der Sanierung von Altbauten eine echte Alternative.

## Marktanreizprogramm Erneuerbare Energien der Bundesregierung

Die energetische Nutzung von Biomasse ist hinsichtlich der Investitionskosten meist teurer als die Nutzung fossiler Energieträger wie Öl oder Gas. Denn die Anlagen sind nicht nur technisch auf-



wändiger, sondern werden zurzeit noch in vergleichsweise kleinen Stückzahlen hergestellt. Da sich Bioenergie trotz positiver ökologischer Effekte daher nur langsam durchsetzen kann, beschleunigen Bund und Länder mit verschiedenen Förderprogrammen die Markteinführung.

Seit dem Jahr 2000 unterstützt die Bundesregierung auch die Anschaffung von Biomasse-Anlagen wie mit Holzpellets bzw. Scheitholz befeuerten Zentralheizungen, Biomasse-Heiz(kraft)werken und Biogasanlagen. Die Impulse, die von diesem Förderprogramm ausgehen, sind beachtlich: So wurden vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle seit Programmbeginn bis Mitte 2006 insgesamt 70.846 Biomassekleinanlagen (< 100 kW) mit 126,5 Mio. Euro bezuschusst und somit ein Gesamtinvestitionsvolumen von über 1 Milliarde Euro ausgelöst. Über Darlehensprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau wurden seit Programmbeginn 1.239 Biogasanlagen, 1.185 Biomasse-Heizwerke und 60 Biomasse-KWK-Anlagen mit einem Investitionsvolumen von 725,5 Mio. Euro gefördert. Hinzu kommen noch zahlreiche Biogas- bzw. Biomasse-Anlagen, die im land- und forstwirtschaftlichen Bereich über das Agrarinvestitionsförderprogramm (AFP) der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ realisiert wurden.

## Gesetzliche Regelungen zu Biokraftstoffen

Europäische und nationale Rahmenbedingungen regeln den Umgang mit Biokraftstoffen. Um ihren Anteil zu steigern, hat die EU die Richtlinie 2003/30/EG beschlossen. Sie verpflichtet die Mitgliedsstaaten, den Anteil der Biokraftstoffe bis 2010 auf 5,75 Prozent zu erhöhen. Über die EU-Richtlinie 2003/96/EG können die Mitgliedsstaaten Biokraftstoffe außerdem teilweise oder vollständig von der Steuer befreien. Waren Biokraftstoffe im Rahmen des Mineralölsteuergesetzes in Deutschland bis Juli 2006 steuerbefreit, gilt jetzt das Energiesteuergesetz. Von

August 2006 bis 2012 sind jährlich steigende Steuersätze festgeschrieben, die 2012 das Niveau von Diesel- und Ottokraftstoff erreichen. Die Land- und Forstwirtschaft jedoch muss auf Biokraftstoffe keine Steuern zahlen.

Auch zur Beimischung von Biokraftstoffen gibt es feste Regelungen. Die Kraftstoffnormen gestatten jeweils fünfprozentige Beimischungen von Biodiesel zu Diesel (DIN EN 590) bzw. Ethanol zu Ottokraftstoffen (DIN EN 228). Das Biokraftstoffquotengesetz verpflichtet die Mineralölwirtschaft seit 2007 feste Quoten von Biokraftstoffen beizumischen.

## Abschließende Betrachtungen

Galt die energetische Nutzung von Biomasse vor zwanzig Jahren vielen noch als Utopie, hat man sie inzwischen als ernstzunehmende Alternative erkannt. Wissenschaftler aber auch Politiker und die breite Öffentlichkeit sind sich einig: Land- und forstwirtschaftliche Rohstoffe haben als Energieträger eine große Zukunft. Nicht nur das Bewusstsein hat sich gewandelt, auch an der Technologie hat sich einiges geändert. Dank umfangreicher Forschung gelang es, einen großen Teil des Rückstandes aufzuholen, den Biomasse gegenüber fossilen Ressourcen

hatte. Neue und effektivere Umwandlungsverfahren konnten entwickelt und auch andere Arten von Biomassen als Energieträger erschlossen werden.



Je besser die Umwandlungsverfahren, desto größer auch die Potenziale, die die Wissenschaftler der Biomasse als Energieträger zutrauen. Von den 17,4 Prozent der im Jahr 2030 benötigten Energie, die die Biomasse laut Hochrechnungen liefern könnte, profitieren nicht nur die schwindenden Vorräte fossiler Rohstoffe. Auch die Umwelt hat etwas davon: Je mehr Biomasse umgesetzt wird, desto größer die CO<sub>2</sub>-Einsparungen.

Doch nicht nur ökologisch lässt sich mit einer intensiveren Nutzung der Bioenergie viel erreichen. Auch ökonomische und geographische Aspekte verdienen Berücksichtigung. Die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe bietet Lösungsansätze für ein gravierendes Problem: Sie bietet der Landwirtschaft und dem ländlichen Raum Alternativen und kann Beschäftigung und Wertschöpfung sichern. Die Funktion des Landwirts als Energiewirt schafft hier eine neue Perspektive.

Der im Vergleich zum hohen Gewicht relativ geringe Energiegehalt biogener Energieträger ist da nicht nur von Nachteil. Wirklich effektiv können Holz, Gülle oder Energiepflanzen dort genutzt werden, wo sie anfallen oder nachwachsen. Im ländlichen Raum entstehen daher zunehmend Arbeitsplätze für den Anbau, die Ernte, den Transport aber auch die Umwandlung der Rohstoffe in Strom, Wärme oder Kraftstoffe. Der ländliche

Raum versorgt sich damit nicht nur selbst mit Energie, sondern erhält auch wieder etwas von seiner ursprünglichen Funktion des Versorgers der Städte zurück. Die Bioenergie ist aber auch aus wissenschaftlicher Sicht ein äußerst interessantes Thema. Die unterschiedlichsten Rohstoffe sind nutzbar und es gibt verschiedenste Möglichkeiten, sie in Strom, Wärme oder Kraftstoffe umzuwandeln. Längst sind nicht alle Technologien gefunden, geschweige denn ausgereift. Darüber, welche Varianten der Energiegewinnung zum Einsatz kommen, entscheiden nicht nur die Kosten, sondern ganz maßgeblich auch die Rahmenbedingungen. Da auch die Politik in den letzten Jahren erkannt hat, welche Chancen die Bioenergie bietet, begünstigen Gesetze und Verordnungen aber auch Förderprogramme die energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe.

Natürlich muss der Ausbau der Bioenergie überlegt und im Sinne nachhaltigen Wirtschaftens betrieben werden. Die Nahrungsmittelversorgung darf dadurch ebenso wenig eingeschränkt wie Belange des Naturschutzes verletzt werden. Die Bioenergie ist keinesfalls das Allheilmittel für die Energieversorgung der Zukunft. Gemeinsam mit den anderen regenerativen Energieträgern wird sie jedoch erheblich zur zukünftigen Versorgung mit Wärme, Strom und Kraftstoffen beitragen.

## Weiterführende Informationen

### **Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)**

[www.bio-energie.de](http://www.bio-energie.de)  
[www.fnr.de](http://www.fnr.de)

### **Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)**

[www.bmelv.de](http://www.bmelv.de)

### **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)**

[www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de)

### **Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe**

[www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

### **Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V. (UFOP)**

[www.ufop.de](http://www.ufop.de)

### **Fachverband Biogas e. V.**

[www.biogas.org](http://www.biogas.org)

### **Holzabsatzfonds**

[www.infoholz.de](http://www.infoholz.de) • [www.haf.de](http://www.haf.de)

### **Bundesverband BioEnergie e. V. (BBE)**

[www.bioenergie.de](http://www.bioenergie.de)

### **Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)**

[www.fal.de](http://www.fal.de)

### **Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)**

[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

### **Deutsche Energieagentur (dena)**

[www.dena.de](http://www.dena.de)