

# Erneuerbare Energien – Ein Beitrag zum Klimaschutz

## BIOGAS UND ABWASSER ALS ENERGIETRÄGER DER ZUKUNFT?

Biogas gehörte bis vor kurzem in die »Kuriositätenkiste« der Energieträger. Mittlerweile ist die Biogaserzeugung nicht nur hoffähig geworden, sondern bietet auch Potenziale für arme Länder. Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik untersucht, wie mit einfachen Mitteln in der Abwasserreinigung Biogas gewonnen werden kann.

Spätestens seit der Einführung des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) im März 2000 sind die »nicht-endlichen« Energieträger in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Mit diesen soll eine nachhaltige Energieversorgung der Bundesrepublik sichergestellt und die Einhaltung des Kyoto-Protokolls erreicht werden. In dem Zeitraum von 1998 bis 2003 wurden vom Bund ins-

### Was sind überhaupt erneuerbare Energien?

Die erneuerbaren Energien lassen sich in die Bereiche, Solar-, Wind- und Wasserkraft sowie Geothermie und nachwachsende Rohstoffe gliedern (Abbildung 1). Die nachwachsenden Rohstoffe (Nawaro) werden zudem hinsichtlich ihres Aggregatzustandes in Biodiesel, -gas und -masse unter-

seines Gesamtenergiebedarfes (Strom, Wärme und Kraftstoff) durch selbst produzierte erneuerbare Energien decken [1].

### Wie entsteht Biogas?

Biogas entsteht als Abfallprodukt beim anaeroben, sprich sauerstofffreien Abbau organischer Verbindungen durch Mikroorganismen. An diesem



	Nutzung 2003 [TWh]	Potential Ertrag [TWh/a]
<b>Stromerzeugung</b>		
Wasserkraft	20,4	24
Windenergie	13,1	180
Biomasse	7,1	60
Photovoltaik	0,02	100
Geothermie	-	200
Anteil bezogen auf den Bruttostromverbrauch 2003	7,9 %	94 %
<b>Wärmeerzeugung</b>		
Biomasse	5,1	200
Geothermie	-	330
Solarthermie	-	200
Anteil bezogen auf den Endenergieverbrauch für Wärme 2003	4,1 %	10 %
<b>Kraftstoffe</b>		
Biomasse	1	60
Anteil bezogen auf den Kraftstoffverbrauch 2003	0,9 %	3 %
<b>Gesamtanteil bezogen auf den Endenergieverbrauch 2003</b>	<b>4,4 %</b>	<b>16 %</b>

Abbildung 1 Erneuerbare Energien gemäß dem EEG.

Abbildung 2 Nutzungspotenziale erneuerbarer Energien in Deutschland [1].

gesamt mehr als eine Milliarde Euro in Förderprogramme investiert, deren Erfolge bereits 2003 sichtbar waren: Gegenüber 1990 wurde in Deutschland eine Reduzierung der klimarelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 53 Millionen Tonnen durch die Nutzung erneuerbarer Energien erreicht und Umsatzerlöse von zehn Milliarden Euro erzielt [1].

chieden. Das nutzbare Potenzial der erneuerbaren Energien ist relativ hoch (Abbildung 2), wobei zur Stromerzeugung die Wasserkraft mit 24 TWh/a den geringsten und die Geothermie mit 200 TWh/a den höchsten Ertrag liefern könnte.

Die Nutzung dieser Potenziale läuft derzeit aber genau entgegengesetzt. Bei voller Ausnutzung aller Potenziale könnte Deutschland, bezogen auf 2002, mehr als die Hälfte

Prozess sind mehrere Organismengruppen beteiligt, die teilweise in enger Symbiose miteinander leben und komplexe Substrate in vier Schritten nach und nach zu den Endprodukten Methan (CH<sub>4</sub>) und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) abbauen (Abbildung 3). Der energetisch nutzbare Anteil des so entstandenen Gases (Methan) hängt

dabei sehr stark von der Zusammensetzung des Ausgangsstoffes ab und kann von 50 bis zu 80 Volumenprozent CH<sub>4</sub> schwanken. Dieser Prozess läuft jedoch nicht nur unter technischen Bedingungen wie in Biogas- und Kläranlagen ab, sondern auch tagtäglich in unserer Umwelt.

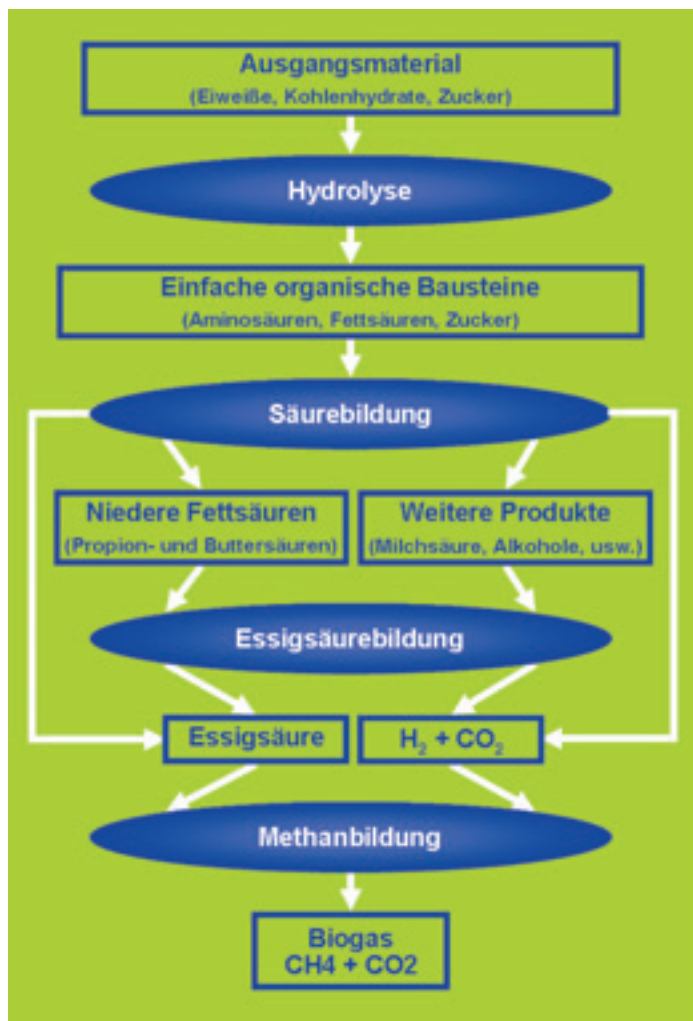
So entstehen beispielsweise jährlich rund 200 Millionen Tonnen CH<sub>4</sub> durch die Verdauung von Wiederkäuern und sogar 280 Millionen Tonnen

**Biogas-Nutzung in Deutschland**

Biogas wird, entsprechend seiner Herkunft, unterschiedlich bezeichnet. Wird Biogas bei der Faulung in den Faulbehältern von Kläranlagen gewonnen, heißt es Faul- oder Klärgas; wird es bei der Ablagerung unbehandeltem Abfalls aus Mülldeponien gewonnen, heißt es Deponiegas usw. Trotz dieser unterschiedlichen Bezeichnung sind diese Gase jedoch in ihrer Zusammensetzung

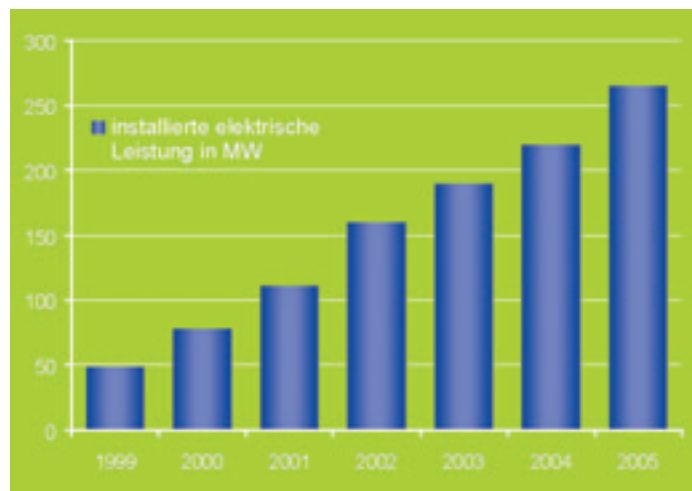
der erneuerbaren Energien aus der »Kuriositätenkiste« in das Interesse der Wirtschaft und Öffentlichkeit getreten. Einer der Gründe ist, dass erst durch die Subventionen des EEG die Stromerzeugung aus Biogas rentabel wurde und mit der konventionellen Stromerzeugung konkurrieren kann.

In den vergangenen vier Jahren hat sich die installierte Leistung von reinen Biogasanlagen von knapp 50 auf über 200 Megawatt (MW) vervier-



pro Jahr durch den Anbau von Reis [2]. Zudem gilt – unter Berücksichtigung der Lebensdauer der Gase – der Faktor 21 als wissenschaftlich anerkannter CO<sub>2</sub>-Äquivalenzwert für Methan, das heißt die Treibhauswirksamkeit (GWP = global warming potential) von CH<sub>4</sub> ist um 21-fach stärker als von CO<sub>2</sub>.

zung – in der Regel: CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> sowie Spuren von Wasser und Schwefelwasserstoff – gleich und unterscheiden sich nur durch Spurenelemente und die jeweiligen Mengenteile. Während die Nutzung von Faul- und Deponiegas schon seit Jahrzehnten Stand der Technik ist, sind Biogasanlagen erst seit der Unterstüt-



facht und die Prognose lässt einen weiteren Anstieg erwarten (Abbildung 4).

Im Jahr 2004 hat der aus Biogas gewonnene Strom inzwischen den Stellenwert von Klär- und Deponiegas erreicht. Ein Ausbau des Anteils am produzierten »erneuerbaren« Strom ist sehr wahrscheinlich, da zum Beispiel das Potenzial der Wasserkraft, die momentan nahezu ein Viertel des »erneuerbaren« Stroms stellt, weitestgehend ausgeschöpft ist (Abbildungen 4 und 5).

Abbildung 4  
Installierte elektrische Leistung in Biogasanlagen Stand 02/2004 und mögliche Entwicklung [4].

Abbildung 3  
Schematische Darstellung der Biogasproduktion [3].

Die in Deutschland gebräuchlichste Form für industrielle Biogasanlagen ist das zwei-stufige Verfahren, wobei der anaerobe Abbau in zwei aufeinander folgenden Reaktoren

Das erzeugte Gas wird in einem Gasspeicher gesammelt und über ein Blockheizkraftwerk verstromt. Die dabei entstehende Abwärme des Abgases wird zur Temperierung der

Substrat genutzt und somit die Abholzung der Wälder eingedämmt werden. Wird das Holz lediglich zum Kochen verwendet, so lässt sich dieses sehr effektiv durch Biogas er-

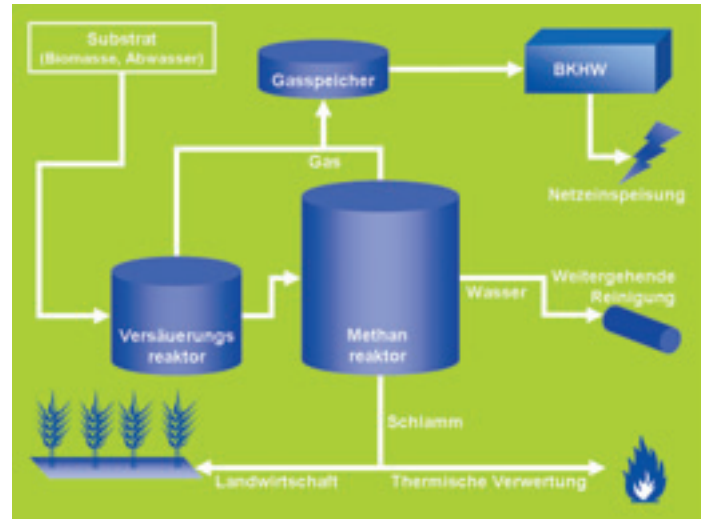
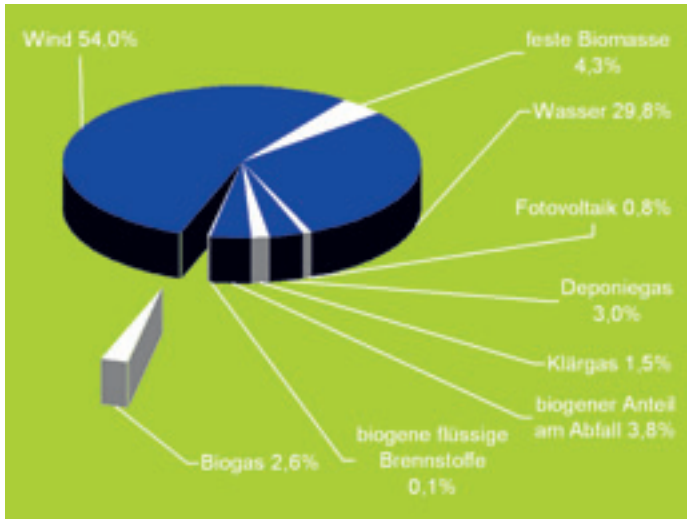


Abbildung 5 Anteil der Stromversorgung nach Sparten der erneuerbaren Energien, vorläufige Abschätzung für das 1. Halbjahr 2004 [4].

Abbildung 6 Vereinfachter Aufbau einer Biogasanlage.

erfolgt. Durch die Aufteilung der vier Phasen der Biogasproduktion auf zwei Reaktoren,

- Hydrolyse und Säurebildung im ersten so genannten Versäuerungsreaktor sowie
- Essigsäure- und Methanbildung im nachfolgenden Methanreaktor,

können die jeweils optimalen Prozessbedingungen eingestellt werden. Entscheidend neben der Aufenthaltszeit des Substrats im Reaktor sind die dort für die Bakterien vorherrschenden Milieubedingungen und die Zusammensetzung des Substrates. So sollte in beiden Reaktoren die Temperatur im mesophilen Bereich von 37°C liegen und eine Sauerstofffreiheit (anaerob) gegeben sein. Der optimale pH-Wert liegt im Versäuerungsreaktor bei 4,5 bis 6,3 und im Methanreaktor bei 6,8 bis 7,5. Um die Bakterien mit ausreichend Nährstoffen zu versorgen, sollte das C:N:P:S-Verhältnis bei 600:15:5:1 liegen [1]. Sollte ein Nährstoff in zu geringer Konzentration vorliegen, muss dieser ggf. nachdosiert werden, damit das Potenzial des Substrates gemäß dem Minimumgesetz von LIEBIG vollständig genutzt wird.

Reaktoren genutzt und steht für andere Nahwärmenutzungen zur Verfügung. Der anfallende Gärrest wird in Form von Schlamm der Landwirtschaft wieder zugeführt oder, wenn dieser mit Schadstoffen belastet ist, verbrannt. Das anfallende Prozesswasser wird einer nachgeschalteten Reinigung zugeführt (Abbildung 6).

### Low-Tech Biogasanlagen

Der Klimaschutz bezieht sich jedoch nicht nur auf die Schonung fossiler Brennstoffe, sondern auch auf den Erhalt vorhandener Ökosysteme oder den Schutz der Natur vor Desertifikation infolge zu hoher Wasserförderung und übermäßiger Rodung vor allem in (sub-)tropischen Regionen. Bei diesen beiden Arten der Ressourcennutzung herrscht meist eine starke Diskrepanz zwischen den Bedürfnissen der Bevölkerung und dem Rohstoffangebot.

Erste Ansätze zur Biogas-Nutzung zur Schonung der Wälder sind schon mehr als 30 Jahre alt. Durch den Bau einfacher Biogasanlagen konnten Fäkalien und Tierdung als

setzen; das Biogasäquivalent beträgt 0,11 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/kg Holz [5]. Es können mit einfachsten Anlagen (Abbildung 7) schon mittlere Biogausausbeuten von circa 25 L CH<sub>4</sub>/kg Tierdung erreicht werden. Somit können bereits fünf Kilo Fäkalien oder Tierdung ein Kilo Feuerholz ersetzen. Der ausgefaulte Schlamm aus der Biogasanlage kann später, wie sonst auch der Frischdung, zur Düngung auf die Felder gebracht und somit die darin enthaltenen Nährstoffe den Pflanzen zugeführt werden. Durch den langen Aufenthalt in der Biogasanlage (bis zu 100 d) wird sogar der größte Teil der Krankheitserreger abgetötet, so dass dieses Verfahren auch den hygienischen Anforderungen genügt (Abbildung 9).

### Forschungsvorhaben zur Wasserwiederverwendung

Ein vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (ISAH) geplantes Forschungsvorhaben setzt an dieser Stelle an.

Da das oben dargestellte Verfahren einer Low-Tech Biogasanlage auf hohe Aufenthaltszeiten und stark konzen-

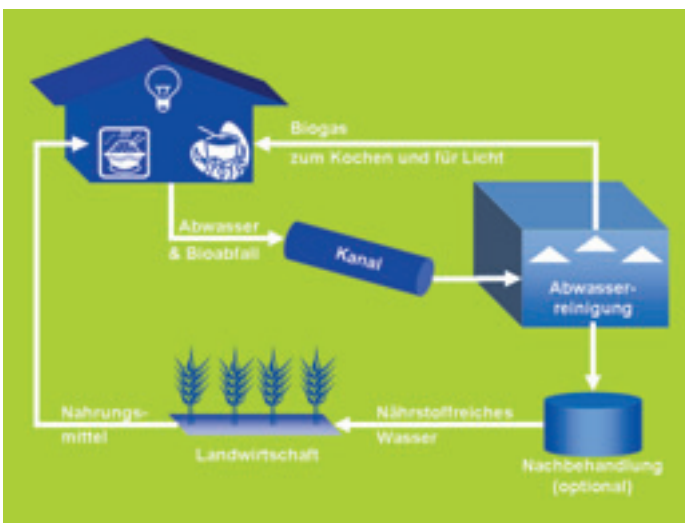
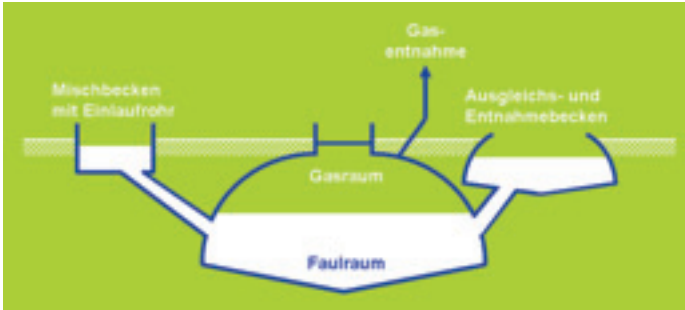
triierte Substrate angewiesen ist, kann damit nicht das relativ niedrig belastete Abwasser aus der Schwemmkanalisation der Kommunen genutzt werden.

lich mit einem Kohlenstoff-äquivalent von 0,2 Kilo CSB pro Einwohner (CSB: chemischer Sauerstoffbedarf) beschickt [6]. Bei einer idealen Vergärung ohne Gärrückstän-

Das Verfahren des ISAH sieht jedoch vor, den Ablauf der Anaerobanlage zur Bewässerung von Feldfrüchten weiter zu nutzen. Hierdurch können Synergien genutzt werden:

1. Kostbares Trinkwasser muss nicht zur Bewässerung aufgebracht werden. Energie zur Förderung des Wassers wird eingespart und die Ressource Wasser selbst geschont.
2. Der anfallende Ablauf der Abwasserreinigung wird nicht dem Gewässer zugeführt und eine Eutrophierung infolge Nährstoffzufuhr wird vermieden.
3. Es brauchen keine oder nur wenige zusätzlichen Nährstoffe auf die Felder aufgebracht werden, da diese bereits im Abwasser enthalten sind.
4. Unfruchtbare, weil nährstoffarme Böden wie Sandböden können mit dem Ablauf urbar gemacht werden. Dadurch werden neue Anbauflächen gewonnen.

Abbildung 7  
Low-Tech Biogasanlage [5].



Das ISAH greift bei seiner Variante auf die aus der industriellen Abwassertechnik bewährten Anaerobverfahren, im speziellen den UASB-Reaktor (Upflow-Anaerobic-Sludge-Blanket-Reaktor), zurück. Diese sind als Schlammbedtreaktoren auf feststoffarme Abwässer ausgelegt und kommen mit geringer technischer Ausrüstung aus.

Ziel ist es dabei nicht nur das anfallende kommunale Abwasser zu reinigen und energetisch nutzbares Biogas zu produzieren, sondern auch die im Abwasser enthaltenen Nährstoffe, wie Stickstoff und Phosphor möglichst effektiv weiter zu verwenden (Abbildung 8).

Werden der Abwasseranlage sowohl das häusliche Abwasser als auch der Bioabfall zugeführt, so wird diese täg-

de könnten hieraus 70 Liter  $\text{CH}_4$  gewonnen werden, unter Berücksichtigung der nicht vermeidbaren Verluste ist jedoch eine Biogasausbeute von circa 50 Liter  $\text{CH}_4$  pro Einwohner und Tag als realistisch anzusehen.

Durch die anaerobe Abwasserreinigung werden die im Abwasser enthaltenen energiereichen Kohlenstoffverbindungen – entsprechend der bereits beschriebenen Biogasanlagen – zu Biogas umgewandelt und stehen somit zur Eigenversorgung der Anlage zur Verfügung oder können den Haushalten direkt als Energieträger zugeführt werden. Die im Abwasser enthaltenen Nährsalze dagegen verlassen die Anlage größtenteils ungenutzt und würden bei herkömmlichen Konzepten einem Gewässer zugeführt.

Der dritte Punkt ist vor allem in Hinblick auf die schwindenden Phosphorreserven von Interesse. Da die bekannten mineralischen Phosphorlagerstätten bei vorsichtiger Schätzung für nur noch rund 150 Jahre ausreichen werden, sollten schon jetzt Wege gefunden werden, den bereits in der Nahrungskette vorhandenen Phosphor wieder zu verwenden [7].

Bei der Aufbringung des Abwassers auf Feldfrüchte sind Gesundheitsstandards einzuhalten. So fordert die Weltgesundheitsorganisation (WHO) eine Mindestbehandlung für Abwasser, welches für Bewässerungszwecke genutzt wird [8]. Das anfallende Wasser wird der Kategorie B entsprechen und somit zur Bewässerung von Getreidefeldern geeignet sein.

Abbildung 8  
Wiederverwendung der im Abwasser enthaltenen Ressourcen.





**Dr.-Ing. Dirk Weichgrebe**  
 Jahrgang 1964, ist Oberingenieur am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik.



**Dipl.-Ing. Ingo Urban**  
 Jahrgang 1972, ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik.

Kategorie	Art der Wiederverwendung	Betroffene Personengruppe	Wurmeier [1/L]	Fäkalkeime [1/100 mL]	Benötigte Abwasserbehandlungsmaßnahmen zum Erreichen der geforderten Wasserqualität
A	Fruchtbewässerung von Nahrungsmitteln, die ungekocht verzehrt werden, Sportplätze und öffentliche Parks	Arbeiter, Konsumenten & Öffentlichkeit	≤ 1	≤ 1000	Kombination aus mehreren Abwasserteichen ausgerichtet auf die geforderte Reduktion der angegebenen Parameter oder gleichwertige Behandlung
B	Bewässerung von Getreide, Industriefrüchten und Futtermitteln sowie Weiden und Bäume	Arbeiter	≤ 1	Kein Standard vorgeschrieben	Mindestaufenthalt von 8-10d in Abwasserbehandlungsteichen oder gleichwertige Entfernung von Wurmeiern und Fäkalkeimen
C	Bewässerung der unter B aufgeführten Früchte, solange diese den Arbeitern und der Öffentlichkeit nicht zugänglich sind	-	Kein Nachweis	Kein Nachweis	Vorbehandlung gemäß den technischen Anforderungen der Bewässerungstechnik, zumindest Vorklärung

Abbildung 9  
 Von der WHO geforderte mikrobiologische Qualität für Bewässerungswasser [8].

**Ausblick**

Die erneuerbaren Energien bieten durch das vorhandene Potenzial die Möglichkeit, den weltweiten Ausstoß an klimarelevanten Gasen zu reduzieren. Die Nutzung der Nawaro hat dabei den großen Vorteil, dass diese genauso wie die fossilen Energieträger genutzt und gespeichert werden können. Ein weiterer Vorteil des Biogases liegt darin, dass Reststoffe, Abwasser und Bioabfall als Rohstoff zur Energiegewinnung genutzt werden und die bei diesem Prozess anfallenden, nicht genutzten Verbindungen landwirtschaftlich verwertet werden können. Damit wird eine praktisch rückstandsfreie energetische und stoffliche Verwertung von Abwasser und Bioabfall erreicht sowie knappe Ressourcen und gefährdete Ökosysteme geschützt.

**Literaturverzeichnis**

- [1] Umweltpolitik, Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU); Berlin, 2004.
- [2] Der Biogasreport; Walter Graf, 2002
- [3] Handreichung, Biogasgewinnung und -nutzung; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.; Leipzig, 2004.
- [4] Fortschreibung der Daten zur Stromerzeugung aus Biomasse; Bericht für die Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat); Institut für Energetik und Umwelt; Leipzig, 2004.
- [5] Die Biogasanlage; Ludwig Sasse; Braunschweig/Wiesbaden, 1987.
- [6] Hamburger Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 45; Kommunale Stoffströme – Wie sinnvoll ist die getrennte Behandlung von Abwasser und Abfall; Daniel Wendler; Hamburg, 2004.
- [7] U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries; Januar 1999; (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity>).
- [8] Analysis of Wastewater for Use in Agriculture – A Laboratory Manual of Parasitological and Bacteriological Techniques; World Health Organisation; Genf, 1996.