



**Leopoldina**  
Nationale Akademie  
der Wissenschaften

2012

## Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen

Empfehlungen

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina

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



Empfehlungen

# Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen

Die Kurzfassung der Stellungnahme und die ausführliche Stellungnahme (in englischer Sprache) können unter [www.leopoldina.org](http://www.leopoldina.org) heruntergeladen werden.

## **Impressum**

### **Herausgeber:**

Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina  
– Nationale Akademie der Wissenschaften –  
Jägerberg 1  
06108 Halle (Saale)

### **Berliner Büro:**

Reinhardtstraße 14  
10117 Berlin

### **Redaktion:**

Dr. Christian Anton  
Dr. Henning Steinicke

### **Gestaltung und Satz:**

unicom Werbeagentur GmbH, Berlin

### **Druck:**

H. Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin

### **Titelbild:**

© PhotographyByMK – Fotolia.com

**Auflage:** 1.500

© Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina  
– Nationale Akademie der Wissenschaften –

# INHALT

WELCHEN BEITRAG KANN DIE BIOENERGIE ZUR ENERGIEWENDE LEISTEN? .....	2
1. EMPFEHLUNGEN ZUR VERWENDUNG VON BIOMASSE ALS ENERGIEQUELLE .....	3
2. EMPFEHLUNGEN ZUR UMWANDLUNG VON BIOMASSE IN BRENNSTOFFE UND IN VORSTUFEN FÜR CHEMISCHE SYNTHESSEN .....	5
3. EMPFEHLUNGEN ZUR LICHTGETRIEBENEN WASSERSTOFF-BILDUNG AUS WASSER .....	7
AUTOREN UND GUTACHTER DER STELLUNGNAHME .....	8

# WELCHEN BEITRAG KANN DIE BIOENERGIE ZUR ENERGIEWENDE LEISTEN?

Die Energieversorgung in Deutschland wird in den kommenden Jahren mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien umstrukturiert. Neben der Windenergie und der Photovoltaik wird auch der Ausbau der Biomassenutzung in Betracht gezogen. Doch wie groß ist das Potenzial der Bioenergie<sup>1</sup> als Energiequelle für Deutschland heute und in der Zukunft?

In der hier vorliegenden Broschüre finden Sie mit den Empfehlungen zur zukünftigen Nutzung von Biomasse die zentralen Ergebnisse der Leopoldina-Stellungnahme „Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen“. Die Empfehlungen sollen Parlamenten, Ministerien, Verbänden und Unternehmen eine fundierte und unabhängige Hilfestellung bei den anstehenden wichtigen Entscheidungen für eine klimaverträgliche, versorgungssichere und zukunftsfähige Nutzung der Bioenergie geben. Neben quantitativen Aspekten stehen in der Stellungnahme die ökologischen und klimatischen Risiken der Verwendung von Bioenergie im Mittelpunkt. Auch wenn der Fokus auf Deutschland liegt, schließt die Diskussion Europa und globale Perspektiven ein.

Zur Stellungnahme liegt eine deutsch-englische Kurzfassung vor und eine ausführliche englischsprachige Fassung, in der die Aussagen durch Einbeziehung von wissenschaftlichen Arbeiten und Dokumentationen belegt sind. In der Stellungnahme werden umfassende Bestandsaufnahmen (1) zur Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit von Biomasse als Energiequelle, (2) zur Umwandlung von Biomasse in Biobrennstoffe und in Vorstufen für chemische Synthesen und (3) zur Gewinnung von Wasserstoff durch Photolyse von Wasser gegeben.

Parallel zur Leopoldina-Stellungnahme, die im Wesentlichen die naturwissenschaftlichen Aspekte der Bioenergie abdeckt, hat die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) ein Positionspapier über die „Biotechnologische Energieumwandlung in Deutschland“ erarbeitet, das überwiegend technische Aspekte der Bioenergie zum Gegenstand hat und eine wichtige Ergänzung ist.

---

<sup>1</sup> Bioenergie ist Energie, die aus nicht-fossiler Biomasse von Pflanzen und Algen stammt, wozu auch Holz gehört. Energetisch kann Biomasse direkt durch Verbrennung genutzt werden oder nach vorheriger Umwandlung in Bioethanol, Biodiesel, Biogas, Wasserstoff oder Synthesegas (ein Gemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff).

# 1. EMPFEHLUNGEN ZUR VERWENDUNG VON BIOMASSE ALS ENERGIEQUELLE

- Um den Verbrauch von fossilen Brennstoffen und die Emissionen von Treibhausgasen<sup>2</sup> zu reduzieren, sollte Deutschland nicht den weiteren Ausbau von Bioenergie anstreben. Zu diesem Schluss kommen die Autoren der Stellungnahme nach Abwägung aller Argumente für und wider eine Nutzung von Biomasse als Energiequelle. Insbesondere sollte darauf gedrängt werden, das EU-2020-Konzept zu überdenken, das darauf abzielt, möglichst 10 Prozent des Treibstoffes für Transportzwecke aus Biomasse bereitzustellen<sup>3</sup>. Vielmehr sollte sich Deutschland auf andere erneuerbare Energieressourcen konzentrieren wie Photovoltaik<sup>4</sup>, Solarthermie<sup>5</sup> und Windenergie, deren Flächeneffizienz, Treibhausgas-Emissionen und andere Umweltbeeinträchtigungen niedriger sind als die von Bioenergie. Die Einsparung von Energie und Verbesserungen der Energieeffizienz sollten Vorrang haben.
- Die Förderung von Bioenergie sollte sich auf Formen beschränken, die weder zur Verknappung von Nahrungsmitteln führen noch deren Preise durch Wettbewerb um Land und Wasser in die Höhe treiben. Darüber hinaus sollten diese Formen von Bioenergie keinen größeren negativen Einfluss auf Ökosysteme und Biodiversität haben, und eine substanziiell bessere Treibhausgas-Bilanz aufweisen als die fossile Energie, die sie ersetzen. Auch gilt es, die gesamte Breite der wertvollen Dienste zu respektieren, die Ökosysteme für die Öffentlichkeit leisten. Bei Importen von Biomasse oder von Biomasseprodukten sind auch all diese Aspekte zu berücksichtigen, da Importe das Problem nicht beheben, sondern in andere Länder verlagern.

2 Treibhausgase (Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid) absorbieren und emittieren Strahlungen im thermischen Infrarot-Bereich.

3 Richtlinien 2009/28/EG, 2009/29/EG und 2009/30/EG vom 23. April 2009 des Europäischen Parlaments und des Rates.

4 Photovoltaik ist eine Methode, unter Verwendung von Halbleitern elektrische Energie zu erzeugen, indem Sonnenstrahlung direkt in elektrischen Strom umgewandelt wird.

5 Solarthermie ist eine Methode, Sonnenstrahlung unter Verwendung von Kollektoren direkt in Wärme umzuwandeln. Der Begriff wird hauptsächlich im Zusammenhang mit Kollektoren verwendet, in denen Wasser erhitzt wird, gilt aber auch für kompliziertere Installationen wie Solartürme.

- Ein durchaus signifikantes Bioenergiepotenzial lässt sich erschließen, indem die Nahrungsmittel- und Bioenergieproduktion kombiniert und dadurch optimiert wird. Beispiele hierfür sind die Verwendung von Mist und Gülle aus der Tierhaltung und der Einsatz von Lebensmittelabfällen und pflanzlichen Reststoffen. Allerdings gilt es darauf zu achten, dass von pflanzlichen Resten wie Stroh nur ein begrenzter Anteil für Bioenergiezwecke genutzt werden kann, da genügend Biomasse auf den Feldern verbleiben sollte, um die Bodenfunktionen zu erhalten. Zurzeit verlieren Ackerböden in Europa für den Erhalt ihrer Fertilität notwendigen Kohlenstoff in zu hohen Raten. In Zukunft ist es daher geboten, mehr pflanzliche Reste den Böden zurückzuführen.
- Bei der Bewertung von klimaschädlichen Emissionen im Zusammenhang mit der Produktion von Bioenergie müssen alle Treibhausgase (Kohlendioxid, Stickoxide und Methan) einbezogen werden, die aus der Verwendung von Düngemitteln und aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe bei der Produktion und Konversion von Biomasse und durch Einsatz der menschlichen Arbeitskraft resultieren. Dabei sind auch die Auswirkungen von direkten und indirekten Änderungen der Landnutzung<sup>6</sup> auf die Treibhausgas-Bilanz sowie auf Ökosystemfunktionen und Biodiversität zu berücksichtigen.
- Alle Treibhausgas-Emissionen müssen umfassend unter Klima politischen Gesichtspunkten berücksichtigt werden – vorzugsweise, indem sie in ein Emissionshandel-Schema einbezogen werden. Nur so wird es genügend Anreize geben, in der Landwirtschaft auf Niedrigemissionstechnologien (z. B. auf gemischte Systeme und Präzisionsackerbau) umzusteigen und Landumwandlungen für die Produktion von Bioenergie einzuschränken.
- Um die besten Lösungen zu finden, sind weitere Untersuchungen zu Treibhausgas-Emissionen in der Landwirtschaft nötig. Insbesondere gilt es, umfassende Lebenszyklus-Analysen der unterschiedlichen Produktionssysteme für Nahrungsmittel und für Bioenergie zu erstellen. Dabei sollten die Analysen auf Modellen basieren, die es erlauben, die durch Bioenergie verursachten globalen Treibhausgas-Emissionen umfassend und verlässlich zu ermitteln.

6 Ein Beispiel für eine direkte Landnutzungsänderung ist die Umwandlung von Grasland in Ackerland zum Zweck der Produktion von Bioenergie. Indirekte Landnutzungsänderung findet z. B. statt, wenn Ackerland, das bisher zum Wachstum von Nahrungsmittelpflanzen verwendet wurde, jetzt zum Wachstum von Energiepflanzen genutzt wird.



## 2. EMPFEHLUNGEN ZUR UMWANDLUNG VON BIOMASSE IN BRENNSTOFFE UND IN VORSTUFEN FÜR CHEMISCHE SYNTHESSEN

- Die Produktion von Bioethanol<sup>7</sup> aus Stärke oder Zucker, die primär als Lebensmittel dienen, ist für Deutschland aufgrund der damit verbundenen Klima relevanten und ökologischen Folgen nicht zu empfehlen (siehe Kapitel 1). Gleiches gilt für den Import von Bioethanol, der aus diesen Rohstoffen hergestellt wird. Hingegen ist eine Kombination von Bioethanol- und Biogasproduktion<sup>8</sup> – bevorzugt aus Rest- und Abfallstoffen – in kleineren dezentralen Anlagen begrenzt vertretbar, soweit die internen Energieflüsse optimal genutzt und alle ökologischen Aspekte Berücksichtigung finden.
- Eine Produktion von Bioethanol aus Lignozellulose<sup>9</sup> ist nur dann zu empfehlen, wenn im Gesamtprozess (vom Anbau der Biomasse über Ernte und Bioenergiekonversion bis hin zur Verbrennung) netto deutlich weniger Treibhausgase emittiert werden, als dies bei der Verbrennung einer Energie-äquivalenten Menge fossiler Brennstoffe der Fall ist. Bei Importen von Biomasse sollten die mit der Produktion von Biomasse im Herkunftsland verbundenen Treibhausgas-Emissionen mit berücksichtigt werden. Für die Produktion von Biodiesel<sup>10</sup> aus Raps, Sonnenblumen, Ölpalmen oder Sojabohnen gelten die gleichen Empfehlungen.
- Die Produktion von Biogas aus landwirtschaftlichen und häuslichen Abfällen sollte, auch unter dem Gesichtspunkt der Entsorgung, weiterentwickelt werden, soweit eine direkte Verbrennung oder Vergasung (Pyrolyse) nicht vorzuziehen ist. Die Abwägung zwischen diesen Techniken ist im Wesentlichen abhängig vom

<sup>7</sup> Bioethanol ist ein Alkohol, der durch Mikroorganismen gewonnen wird, indem Kohlenhydrate in Biomasse oder Biomasse-Abfällen vergoren werden. Bioethanol kann als Brennstoff für Fahrzeuge entweder rein oder als Zusatz eingesetzt werden.

<sup>8</sup> Biogas ist eine Mischung aus Methan (ca. 60 Prozent) und Kohlendioxid, die durch anaerobe Vergärung (in Abwesenheit von Sauerstoff) aus organischem Material durch Mikroorganismen gebildet wird. Biogas kann als Brennstoff in Fahrzeugen oder als Ersatz für Erdgas genutzt werden.

<sup>9</sup> Lignozellulose ist aus Zellulose, Hemizellulose und Lignin zusammengesetzt. Lignin ist nach der Zellulose das mengenmäßig wichtigste organische Polymer auf der Erde und macht 30 Prozent des nicht-fossilen organischen Kohlenstoffs aus.

<sup>10</sup> Biodiesel wird aus Pflanzenölen und tierischen Fetten durch Umesterung mit Methanol hergestellt. Es kann als Ersatz für fossile Brennstoffe in Dieselmotoren genutzt werden.

Wassergehalt der Abfallmaterialien: Je geringer der Wassergehalt, desto eher empfiehlt sich eine Verbrennung oder Vergasung. Die Produktion von Biogas aus „Energiepflanzen“ sollte nur insoweit erfolgen, als sie dazu beiträgt, die Biogasproduktion aus Agrarabfällen und den fluktuierenden Energiebedarf zu stabilisieren und zu optimieren.<sup>11</sup>

- Bisher wurde Biomasse zum größten Teil für Heizungszwecke (das meiste Holz) und für die Erzeugung von Elektrizität (das meiste Biogas) genutzt. Das ist insofern problematisch, als Biokraftstoffe für den Transport langfristig wohl am schwierigsten zu ersetzen sind. Die Umwandlung von Biomasse sollte überwiegend auf Biotreibstoffe für Schwerlastwagen, Flugzeuge und Lastschiffe ausgerichtet sein, die wahrscheinlich auch in Zukunft nicht elektrisch betrieben werden können.
- Ein vielversprechendes Forschungsgebiet ist die Entwicklung von Verfahren, welche aus Biomasse organische Bausteine gewinnen, die für chemische Synthesen benötigt werden und die bisher petrochemisch hergestellt worden sind.
- Bei der Verwendung von Biobrennstoffen ist darauf zu achten, dass die nach unvollständiger Verbrennung verbleibenden Emissionen auf Toxizität geprüft und die Schadstoffe gegebenenfalls katalytisch entgiftet werden.

---

<sup>11</sup> So kann Stromerzeugung aus gespeichertem Biogas zur Netzstabilität beitragen, was in einem Energiesystem, in dem die Anteile an fluktuierenden erneuerbaren Energien größer werden, immer wichtiger werden wird.

### 3. EMPFEHLUNGEN ZUR LICHT-GETRIEBENEN WASSERSTOFF-BILDUNG AUS WASSER

- In Anbetracht der nahezu unbegrenzten Verfügbarkeit von Wasser und Sonnenlicht könnte die Produktion von Wasserstoff durch direkte photolytische Spaltung von Wasser mit Hilfe phototropher Mikroorganismen einen idealen Energieträger liefern, der sowohl erneuerbar als auch umweltfreundlich und nachhaltig ist. Ob und wann die Bildung von Wasserstoff durch natürliche Photosynthese-Systeme technisch einsatzfähig wird, ist allerdings offen und Gegenstand laufender Grundlagenforschung.
- Die Entwicklung chemisch synthetisierter Katalysatoren, die befähigt sind, in Anlehnung an die natürlichen Systeme unter milden Bedingungen Wasser photolytisch in Wasserstoff und Sauerstoff zu spalten (artifizielle Photosynthese) hat in letzter Zeit große Fortschritte gemacht. Diese neuen Ansätze bieten zusätzlich die Chance, aktive und ökonomisch erschwingliche Katalysatoren zu erhalten, die bei der Verbrennung von Wasserstoff in Brennstoffzellen und in chemischen Synthesen eingesetzt werden können. Das Forschungsgebiet hat ein hohes Innovationspotenzial und sollte weiter verfolgt werden.

# AUTOREN UND GUTACHTER DER STELLUNGNAHME

## Koordinatoren

Prof. Dr. Bärbel Friedrich ML	<i>Humboldt-Universität Berlin</i>
Prof. Dr. Bernhard Schink ML	<i>Universität Konstanz</i>
Prof. Dr. Rudolf K. Thauer ML	<i>Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie, Marburg</i>

## Autoren der Stellungnahme

Prof. Dr. Fraser A. Armstrong	<i>University Oxford, Great Britain</i>
Dr. Vincent Artero	<i>Université Joseph Fourier, Grenoble, France</i>
PD Dr. Nicolaus Dahmen	<i>Karlsruher Institut für Technologie KIT</i>
Prof. Dr. Holger Dau	<i>Freie Universität Berlin</i>
Prof. Dr. Eckhard Dinjus	<i>Karlsruher Institut für Technologie KIT</i>
Prof. Dr. Peter Dürre	<i>Universität Ulm</i>
Prof. Dr. Bärbel Friedrich ML	<i>Humboldt-Universität Berlin</i>
Prof. Dr. Helmut Haberl	<i>Alpen-Adria Universität Klagenfurt, Wien, Graz, Österreich</i>
Prof. Dr. Thomas Happe	<i>Ruhr-Universität Bochum</i>
Prof. Dr. Christian Körner ML	<i>Universität Basel, Schweiz</i>
Prof. Dr. Gerd Kohlhepp	<i>Eberhard-Karls-Universität Tübingen</i>
Prof. Dr. Katharina Kohse-Höinghaus ML	<i>Universität Bielefeld</i>
Dr. Philipp Kurz	<i>Christian-Albrechts-Universität zu Kiel</i>
Dr. Christian Lauk	<i>Alpen-Adria Universität Klagenfurt, Wien, Graz, Österreich</i>
Prof. Dr. Wolfgang Lubitz	<i>Max-Planck-Institut für chemische Energiekonversion, Mülheim</i>
Prof. Dr. Matthias Rögner	<i>Ruhr-Universität Bochum</i>
PD Dr. Thomas Senn	<i>Universität Hohenheim</i>
Prof. Dr. Victor Smetacek	<i>Alfred-Wegener-Institut für Polar-und Meeresforschung, Bremerhaven</i>
Prof. Dr. Bernhard Schink ML	<i>Universität Konstanz</i>
Dr. Ulrike Schmid-Staiger	<i>Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Verfahrenstechnik, Stuttgart</i>

Prof. Dr. Ernst-Detlef Schulze ML	<i>Max-Planck-Institut für Biogeochemie, Jena</i>
Prof. Dr. Rudolf K. Thauer ML	<i>Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie, Marburg</i>
Prof. Dr. Peter Weiland	<i>Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig</i>
Dr. Karen Wilson	<i>Cardiff University, Wales, Great Britain</i>

### Wissenschaftler, die zu einzelnen Punkten gehört wurden

Prof. Dr. Thomas Bley	<i>TU Dresden</i>
Prof. Dr. Christian Barth	<i>Deutsches Institut für Ernährungsforschung, Golm</i>
Prof. Dr. Detlev Drenckhahn ML	<i>Julius-Maximilians-Universität Würzburg</i>
Prof. Dr. Ian Donnison	<i>Aberystwyth University, Wales, Great Britain</i>
Prof. Dr. Ottmar Edenhofer und Kollegen	<i>Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam</i>
Prof. Dr. Maarten Koornneef	<i>Max-Planck-Institut für Pflanzenzüchtung, Köln</i>
Dr. Adam Powel	<i>Swansea University, Wales, Great Britain</i>
Dr. Robin Shields	<i>Swansea University, Wales, Great Britain</i>
Prof. Dr. Mark Stitt ML	<i>Max-Planck-Institut für molekulare Pflanzenphysiologie, Golm</i>

### Externe Gutachter \*

Prof. Dr. Nikolaus Amrhein ML	<i>ETH Zürich</i>
Prof. Dr. Georg Fuchs ML	<i>Albert-Ludwigs-Universität Freiburg</i>
Prof. Dr. Wolfgang Junge	<i>Universität Osnabrück</i>
Prof. Dr. Bernt Krebs ML	<i>Westfälische Wilhelms-Universität Münster</i>
Prof. Dr. Hermann Sahn	<i>Forschungszentrum Jülich</i>
Prof. Dr. Hans Joachim Schellnhuber ML	<i>Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam</i>
Prof. Dr. Ferdi Schüth ML	<i>Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim</i>
Prof. Dr. Stefan Tangermann	<i>Georg-August-Universität Göttingen, Akademie der Wissenschaften zu Göttingen</i>

\* Den Gutachtern sei für ihre vielen Verbesserungsvorschläge gedankt, die nahezu alle an- und aufgenommen wurden. Der vorliegende Text liegt aber ausschließlich in der Verantwortung der Wissenschaftler, die den Bericht geschrieben haben

# NOTIZEN





**Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina**

**– Nationale Akademie der Wissenschaften –**

Jägerberg 1

06108 Halle (Saale)

Tel.: (0345) 47 239 - 867

Fax: (0345) 47 239 - 839

E-Mail: [politikberatung@leopoldina.org](mailto:politikberatung@leopoldina.org)

**Berliner Büro:**

Reinhardtstraße 14

10117 Berlin