



## Gas aus Biokohlenstaub

Mit Hitze und Druck aus Pflanzenresten  
Biokohle und Brenngas für Motor-BHKW erzeugen



*Grünabfälle, Durchforstungsholz, Stroh und Landschaftspflegematerial werden bis heute wenig zur Energieerzeugung genutzt. Das liegt daran, dass solche biogenen Reststoffe wegen inhomogener Zusammensetzung oder hoher Feuchtegehalte schlechte Verbrennungseigenschaften haben. Doch nun stellen Forscher der Technischen Universität München und der Firma Suncoal Industries daraus mit einem neuen Verfahren Biokohle her. Diese bereiten sie in einem speziell für kleinere Anlagen entwickelten Flugstromvergaser auf. Das so produzierte Brenngas kann in einem Gasmotor-BHKW Strom und Wärme erzeugen.*

Biomasse und Reststoffe werden hauptsächlich durch direkte Verbrennung oder biochemische Vergärung in Kombination mit einem Gasmotor energetisch genutzt. Doch dazu eignen sich Siedlungsabfälle aus der Biotonne, Grünabfall wie Gras und Laub, gartenbauliche und landwirtschaftliche Reststoffe, Klärschlamm sowie Reste aus der Lebensmittelindustrie nur bedingt. Sie sind oft faserig, sehr verschieden zusammengesetzt und haben meist einen sehr hohen Wassergehalt – das macht es aufwendig, sie zu behandeln und zu verwerten. Indem bisher ungenutzte pflanzliche Reststoffe zu Biokohle aufbereitet werden, können sie CO<sub>2</sub>-neutral energetisch verwertet werden.

Mit dem Verfahren der hydrothermalen Karbonisierung (HTC) erzeugt der Projektpartner Suncoal eine hochwertige Biokohle, deren Brennwert mit dem von Braunkohle vergleichbar ist. Diese Biokohle wird getrocknet und gemahlen. Ein von der TU München entwickelter Flugstromvergaser wandelt den Biokohlenstaub in ein heizwertreiches Produktgas um, mit dem der Gasmotor eines Blockheizkraftwerks angetrieben werden kann. Für die energetische Verwertung der Biokohle

Dieses Forschungsprojekt  
wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft  
und Energie (BMWi)

im BHKW adaptierten die Forscher die großtechnisch in Kohlekraftwerken eingesetzte Flugstromvergasungstechnologie für kleinere dezentrale Anlagen.

Die Forscher am Lehrstuhl für Energiesysteme der TU München untersuchten die gesamte Technologieketten von der Biomassebereitstellung über die Aufbereitung bis zur Vergasung. Sie entwickelten einen autothermen Flugstromvergaser mit einer thermischen Leistung von 100 kW. In diesem Labor-Flugstromreaktor testeten sie das Vergasungsverhalten von Biokohle-Staub.

### Hydrothermale Karbonisierung von Bioabfall

Die Firma Suncoal hat in Ludwigsfelde eine HTC-Anlage im Technikumsmaßstab aufgebaut. In dieser produzierte sie die Biokohle für die Untersuchungen. Die Anlage kann pro Jahr aus einem Input von 60.000 Tonnen biogener Reststoffe etwa 17.600 Tonnen Biokohle erzeugen. Diese eignet sich aufgrund ihrer feinen Korngröße und der damit verbundenen Fluidisierbarkeit sehr gut als Einsatzstoff für einen Flugstromvergaser.

Das Verfahren der hydrothermalen Karbonisierung nutzt Wärme und Druck, um den natürlichen Inkohlungsprozess von Biomassen nachzubilden. Dabei werden pflanzliche Reststoffe mit 20 bis 75 % Wassergehalt und einem niedrigen Heizwert zu Biokohle umgewandelt; diese ist hydrophob und lässt sich dadurch weitgehend mechanisch entwässern.

In der HTC-Anlage werden die angelieferten Grünabfälle und biogenen Reststoffe auf eine Korngröße von maximal 60 mm zerkleinert und von anorganischen Störstoffen wie Gestein, Metall oder Plastik befreit. Die aufbereitete Biomasse wird bei einer Temperatur von etwa 220 °C und einem Druck von 25 bar in drei bis vier Stunden aufgeschlossen. Im ersten Schritt erfolgt unter Wasserabspaltung eine Hydrolyse der Kohlenhydrate; im zweiten Schritt folgt die Polymerisation dieser kleinen Moleküle zu Kohlevorprodukten und Harzen, dabei wird weiteres Wasser frei. Bei kurzen Reaktionszeiten entstehen humus- oder torfähnliche Produkte, nach bis zu sechs Stunden ist das Ergebnis mit Braunkohle vergleichbar.

Die hydrothermale Karbonisierung verläuft exotherm, Wärme wird freigesetzt. Der Prozess zur Herstellung der Biokohle verbraucht bis zu 30 % der chemischen Energie der eingesetzten Biomasse sowie Fremdenergie im Bereich von etwa 7 % vom Energiegehalt des Endprodukts. Nur ein kleiner Teil der freigesetzten thermischen Energie könnte als Nutzwärme verwendet werden.

Im Verlauf der Karbonisierung verliert das Material seine faserige Grundstruktur und wird homogenisiert. Verglichen mit dem Ausgangsmaterial steigt der Heizwert um bis zu 70 %. Die erzeugte Biokohle ist hygienisch einwandfrei und kann mit geringem Energieeinsatz weiter getrocknet werden. Zuerst wird der entstandene Schlamm in einer Presse auf einen Wassergehalt von 50 % gebracht, anschließend in einer thermischen Trocknungsanlage bis auf rund 5 % getrocknet. Das anfallende Wasser wird vor Ort aufbereitet oder in ein Klärwerk eingeleitet.

Die Biokohle hat gute Verbrennungs- und Vergasungseigenschaften. Sie lässt sich sehr gut mahlen; das ist speziell für Staubfeuerungen und Flugstromprozesse wichtig, für die mittlere Partikelgrößen von 50–100 µm benötigt werden.

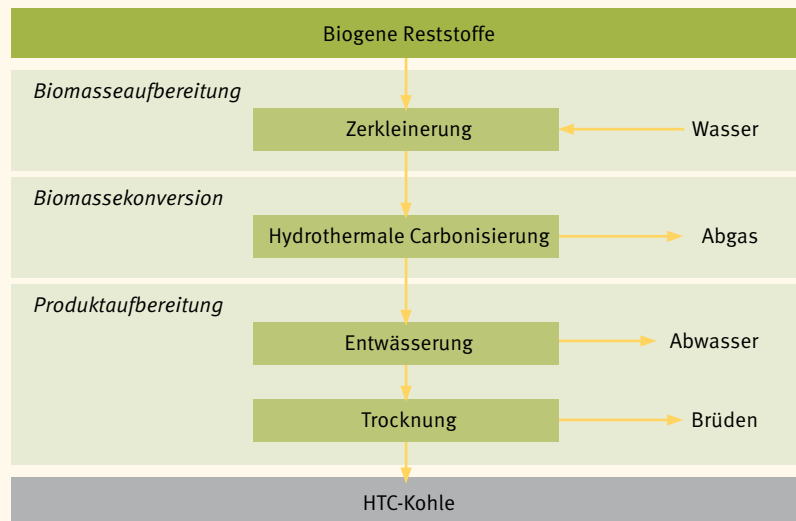


Abb. 1 Gesamtprozesskette von der Biomasse bis zur Biokohle. Bei Aufbereitung und Konversion fallen Abgas, Abwasser und dampfgesättigte Abluft (Brüden) an, die weiter zu behandeln sind.

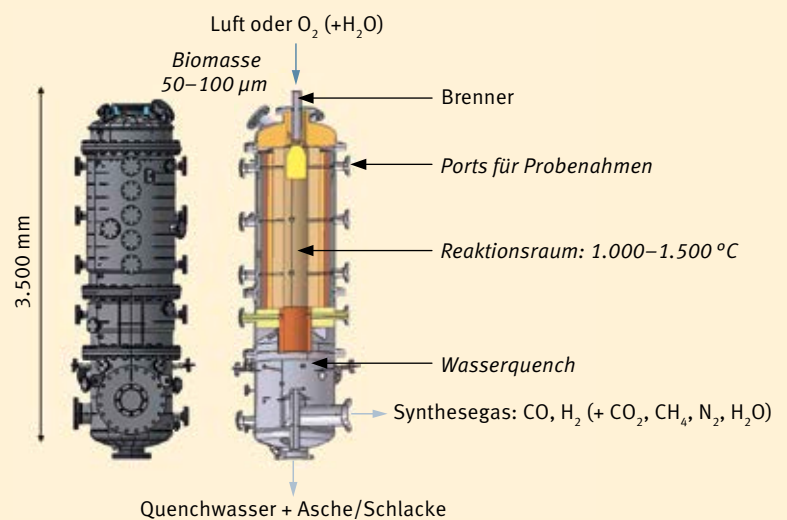


Abb. 2 Schnittansicht des Vergasers, in dem die Biomasse umgesetzt wird

### Flugstromvergasung erzeugt Prozessgas

Mit der Flugstromvergasung wird aus der Biokohle ein kohlenmonoxid- und wasserstoffhaltiges Brenngas erzeugt, das sich für die Nutzung in einem Gasmotor-BHKW eignet. Um das angepasste Verfahren unter industriennahen Bedingungen zu testen, errichteten die Forscher am Lehrstuhl für Energiesysteme der TU München einen Flugstromvergaser im Technikumsmaßstab. In diesen wurde der Brennstoff mittels einer pneumatischen Dichtstromförderung über einen Drallbrenner eingebracht und mit auf 500 °C vorgeheizter Luft bei Temperaturen von bis zu 1.300 °C vergast. Da bei diesen Temperaturen höhere Kohlenwasserstoffverbindungen (Teere) gecrackt werden, ist das erzeugte Gas weitestgehend teerfrei. Dies ist ein entscheidender Vorteil gegenüber den bisher erprobten Festbett- oder Wirbelschichttechnologien. Diese können zwar stückige, inhomogene Brennstoffe verarbeiten, doch das erzeugte Produktgas ist stark mit verschiedenen Teerbestandteilen belastet. Diese werden energetisch nicht genutzt und erfordern einen hohen technischen und finanziellen Aufwand für die Reinigung des Gases. Denn sie können bereits bei relativ hohen Temperaturen (über 100 °C) auskondensieren und dadurch Rohre verstopfen, Anlagenteile und Einbauten beschädigen.





## Rohstoffpotenzial biogener Reststoffe

Zu biogenen Reststoffen zählen unter anderem Bio- und Grünabfälle, Stroh oder Klärschlamm, ebenso auch Waldrestholz, Landschaftspflege- oder Altholz. Studien kommen zum Ergebnis, dass für hydrothermale Prozesse ein Biomasse-Potenzial von bis zu 16,8 Millionen Tonnen Trockensubstanz verfügbar wäre. Würde diese Menge ausschließlich hydrothermalen Prozessen zugeführt, ergäbe sich ein Primärenergiebeitrag in Höhe von etwa 141 PJ. Das entspricht etwa 1,1 % des deutschen Primärenergieverbrauchs von 13.077 PJ im Jahr 2014.

Die Reststoffe machen etwa 47 bis 62 % des energetischen Gesamtpotenzials heimischer Biomassen aus. Aktuell werden weniger als 1 % des Strohs und etwa 5 bis 10 % der Bio- und Grünabfälle energetisch genutzt, dagegen fast die Hälfte der forstwirtschaftlichen Biomasse.

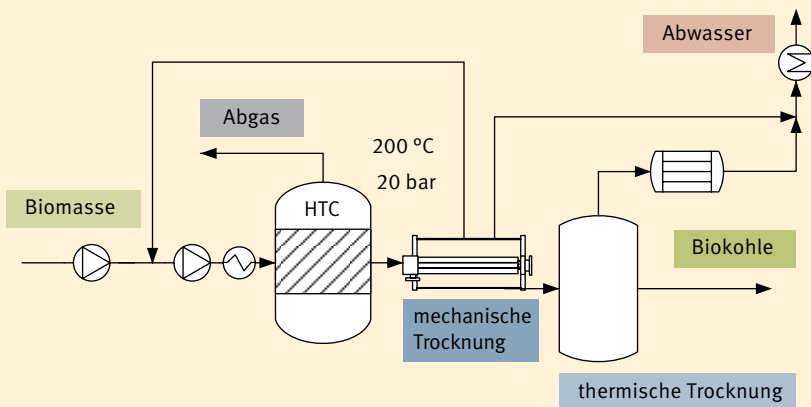


Abb. 3 Schematischer Aufbau einer Anlage zur Herstellung von Biokohle

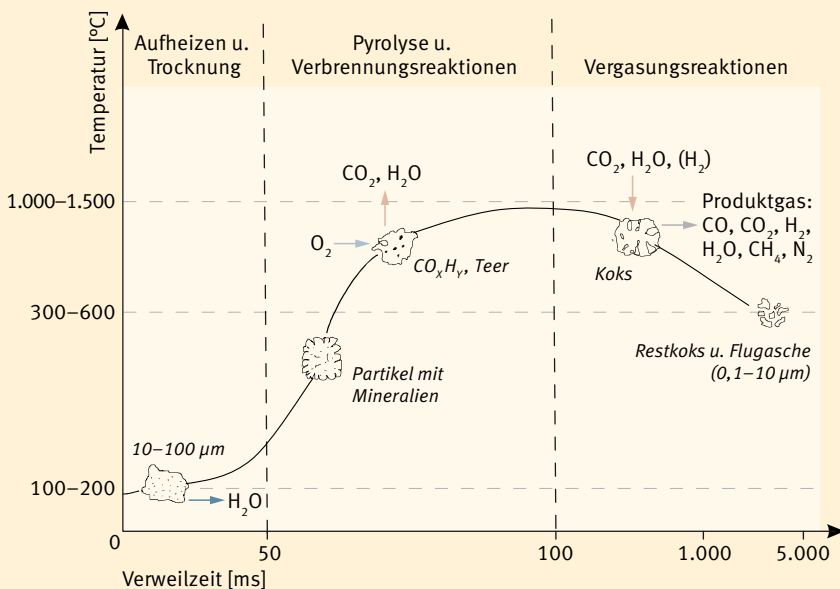


Abb. 4 Nach dem Einbringen in den Flugstromvergaser verläuft die Reaktion sehr schnell, innerhalb von 2-4 Sekunden ist ein Einzelpartikel vollständig umgesetzt.

Bei der Flugstromvergasung von Feststoffen laufen verschiedene Reaktionsschritte teilweise parallel ab. Dabei reißt die vorgeheizte Luft als Vergasungsmedium den feingemahlten Brennstoff mit; dieser wird innerhalb von etwa drei Sekunden vollständig zu Prozessgas umgewandelt. Im Vergaser wird das poröse Partikel sehr schnell aufgeheizt, das enthaltene Wasser wird frei. In der Pyrolysephase folgen flüchtige Bestandteile, u. a. höhere Kohlenwasserstoffe; diese reagieren mit vorhandenem Sauerstoff zu Wasser und  $\text{CO}_2$  und setzen Reaktionswärme frei. Nach etwa 200 ms besteht das verbliebene Partikel im Wesentlichen nur noch aus dem porösen Kohlenstoffgerüst sowie inerten Aschebestandteilen. Nach dem Flüchtigenabbrand erreicht die Temperatur ihr Maximum. Der übrige Kohlenstoff reagiert mit  $\text{H}_2\text{O}$  und  $\text{CO}_2$  unter Energieaufnahme zu den Vergasungsprodukten  $\text{H}_2$  und  $\text{CO}$ . Mit fortschreitendem Umsatz sinken die Temperaturen und die Reaktionen verlaufen langsamer.

Die Versuche und Simulationen zeigten, dass die Vorheizung der Vergasungsluft den Wirkungsgrad der Vergasung stark beeinflusst. Aus energetischer Sicht ist anzustreben, Wärme aus dem heißen Produktgas zurückzugewinnen, um eine möglichst hohe Vorheiztemperatur zu erreichen.

### Gas und Abwasser aufbereiten und reinigen

Um die Grenzwerte für die gasmotorische Nutzung einzuhalten, muss das Produktgas vor der Verbrennung im Motor gereinigt werden. Verbliebene Partikel werden mit Zyklon und Filter abgeschieden, abgesehen von Schwefel können sämtliche Verunreinigungen mittels Nasswäsche entfernt oder reduziert werden.

Bedingt durch die Luftvergasung enthält das Produktgas einen hohen Stickstoffanteil, anders als bei Vergasung mit reinem Sauerstoff oder Wasserdampf. Bei der Auswahl von Gasturbine oder -motor müssen die daraus resultierenden Verbrennungseigenschaften und geringen Heizwerte berücksichtigt werden.

Zur Reinigung des Abwassers eignen sich insbesondere die Nassoxidation und die anaerobe Behandlung. Wenn das noch nicht ausreicht, können in einer zweiten Stufe Adsorption und aerobe Behandlung folgen. Durch eine zweistufige biologische Behandlung (anaerob und aerob) kann laut Simulationen ein gutes Ergebnis erwartet werden.

### Erfolgsaussichten der Technologie

Die energetische Nutzung aufbereiteter Biomasse kann die  $\text{CO}_2$ -Emissionen der Strom- und Wärmebereitstellung reduzieren, verglichen mit Erdgas um über 80 %. Ohne Berücksichtigung möglicher Erlöse aus Wärmeverkauf ergeben sich Stromkosten von 12,6 bis 19,5 Cent pro Kilowattstunde, ausgehend von einem Preis von 30,20 Euro/MWh für Biokohle und abhängig von der Anlagengröße, schätzen die Forscher.

Sowohl die HTC als auch die Gaserzeugung funktionieren im Technikumsmaßstab. Dabei zeigte sich, dass die Erzeugung und Aufbereitung der Kohle der Hauptkostenfaktor der untersuchten Technologiekette ist. Das liegt insbesondere daran, dass die Technologie noch neu und nicht standardisiert ist. Um die HTC-Anlage sowie das Vergasungskraftwerk wirtschaftlich betreiben zu können, ist es erforderlich, diese weitgehend zu automatisieren, auch die Abwärme sollte genutzt werden. Aufbauend auf den Projektergebnissen evaluieren die Forscher der TU München und von Suncoal verschiedene Einsatzszenarien für die Technologiekombination mit dem Ziel, wirtschaftliche Anwendungsfälle zu identifizieren.



## Bioabfälle wirtschaftlich verwerten

Biomasse kann durch HTC für eine höherwertige stoffliche oder energetische Verwertung aufbereitet werden. In verschiedenen Forschungsvorhaben werden solche Anwendungen untersucht und erprobt. Das erzeugte Produkt lässt sich für unterschiedliche Zwecke einsetzen, möglich ist eine energetische Nutzung durch Mono- oder Mitverbrennung oder Vergasung. Biokohle kann ohne Anpassung der bestehenden Anlagentechnik als CO<sub>2</sub>-neutrales Substitut für Braunkohlenstaub in dezentralen Staubfeuerungen zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet werden. Es ist aber auch möglich, HTC-Produkte als langsam abbaubare Kohlenstoffverbindungen zur Bodenverbesserung einzusetzen. Ebenso denkbar ist es, sie als Kohlenstoffträger für industrielle und chemische Anwendungen zu nutzen.

Ein weiteres Einsatzfeld besteht darin, Klärschlamm mithilfe von HTC zu verwerten. Die Stadtwerke Halle und Leipzig erproben das Verfahren in der Praxis. In Lochau betreibt die Stadt Halle das Demonstrationsvorhaben "Integrierte Verwertungsanlage und Strategie für kommunale Biomasse – HTC Hallesche Wasser und Stadtwirtschaft". Die durch das BMWi-Förderprogramm „Energetische Biomassenutzung“ geförderte Anlage ist modular aufgebaut und läuft seit 2014 in kontinuierlichem Probebetrieb. Sie verarbeitet jährlich 2.500 Tonnen Inputmaterial zu ca. 1.000 Tonnen HTC-Kohle. Forscher kommen zum Ergebnis, dass sich hierdurch der Energieverbrauch für die Klärschlamm-trocknung um 78 % reduzieren lässt.

Einen anderen Weg zur Nutzung pflanzlicher Reststoffe gehen die Forscher im EU-geförderten Forschungsprojekt Sunliquid. Sie produzieren Zellulose-Ethanol aus landwirtschaftlichen Nebenprodukten wie Getreide- oder Maisstroh. In ihrer Demonstrationsanlage zur Herstellung von Biosprit setzen sie gezielt Rohstoffe ein, die nicht als Nahrungsmittel geeignet sind. Das neue Verfahren kann schwer abbaubare C5- und C6-Zucker aus diesen Pflanzen beinahe vollständig in Ethanol umsetzen. Eine vorkommerzielle Anlage zur Herstellung von Zellulose-Ethanol ist seit Juli 2012 bei der Firma Clariant in Straubing in Betrieb. Sie kann jährlich bis zu 4.500 Tonnen landwirtschaftliche Reststoffe in rund 1.000 Tonnen Zellulose-Ethanol umwandeln.

## Impressum

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

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Lena Panning  
Zimmerstraße 26-27  
10969 Berlin

**Förderkennzeichen**  
03KB074

**ISSN**  
0937-8367

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

**Autor**  
Gerhard Hirn

**Urheberrecht**  
Titelbild: SunCoal Industries  
Abb. 1: Deutsches Biomasseforschungszentrum  
DBFZ / Stadtwerke Halle (SWH)  
Abb. 2–4: Technische Universität München

Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation ist  
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Projektbeteiligte

- » **Gesamtprojektleitung, HTC-Anlage:** SunCoal Industries GmbH, Ludwigsfelde, Dr. Tobias Wittmann, wittmann@suncoal.com, www.suncoal.de
- » **Flugstromvergasung, Anlagenoptimierung:** Technische Universität München, Lehrstuhl für Energiesysteme, Garching, Prof. Dr. Hartmut Spliethoff, Sebastian Fendt, Ludwig Briesemeister, sekretariat.es.mw@tum.de, www.es.mw.tum.de

## Links und Literatur

- » BMWi-Förderprogramm Energetische Biomassenutzung: [www.energetische-biomassenutzung.de](http://www.energetische-biomassenutzung.de)
- » Deutsches Biomasseforschungszentrum DBFZ | <https://www.dbfz.de>
- » Bundesverband Hydrothermale Carbonisierung | [www.bv-htc.de](http://www.bv-htc.de)
- » Innovationsplattform hydrothermale Prozesse | [www.htp-inno.de/](http://www.htp-inno.de/)
- » ZAE Bayern | [www.zae-bayern.de/](http://www.zae-bayern.de/)
- » TerraNova Energy GmbH | [www.terranova-energy.com](http://www.terranova-energy.com)
- » Sunliquid-Projekt | <http://sunliquid-project-fp7.eu>
- » Projektbericht FLUHKE | [www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A873750837/](http://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT%3A873750837/)

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Energieverbrauch der Müllaufbereitung senken. BINE-Projektinfo 15/2016
- » Sauber heizen mit Holz. BINE-Projektinfo 06/2016
- » Energieträger Holz. basisEnergie Nr. 13
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info/Projektinfo\\_04\\_2017](http://www.bine.info/Projektinfo_04_2017). Dort finden Sie noch ergänzende Informationen.

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

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

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

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

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

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages