

# ***Braunkohle-Chemie – Vergangenheit statt Zukunft***

**Zur Kritik der Verwertung von Braunkohle zu  
Treib-/Brennstoffen und Chemieprodukten**

*Detlef Bimboes*

Berlin, den Dezember 2015

## **Inhalt**

<b>1. Zusammenfassung</b>	<b>S. 3</b>
<b>2. Einleitung</b>	<b>S. 6</b>
<b>3. Braunkohle zur Chemie- und Energieproduktion</b>	<b>S. 10</b>
<b>4. Das Verfahren der Kohlevergasung</b>	<b>S. 15</b>
<b>5. Das Greenwashing-Konzept zur chemischen und energetischen Verwertung von Braunkohle</b>	<b>S. 23</b>
<b>6. Verbaute Zukunft – ein Konzept zur Braunkohlenutzung für die Lausitz</b>	<b>S. 26</b>
<b>7. Chemieproduktion – Erdöl und Erdgas effizienter als Kohle</b>	<b>S. 30</b>
<b>8. Regionalentwicklung ohne Braunkohle</b>	<b>S. 35</b>
<b>9. Literatur</b>	<b>S. 37</b>
<b>10. Begriffe, Abkürzungen, Einheiten</b>	<b>S. 41</b>

## 1. Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund fortdauernder Auseinandersetzungen über die Zukunft der Braunkohle wachsen in den Förderregionen die Sorgen um Arbeitsplätze sowie um langfristige wirtschaftliche und soziale Entwicklungsmöglichkeiten. Deshalb wird politisch seit längerem – angestoßen insbesondere in Ostdeutschland und auch durch NRW - die stoffliche Nutzung d. h. die chemische Verwertung von Braunkohle gefordert. Statt sie zu verbrennen, sollen aus ihr wieder Brenn- und Treibstoffe und Chemikalien hergestellt werden – so wie es in der Vergangenheit schon einmal geschah. Die Diskussion dazu findet nicht zuletzt vor dem Hintergrund statt, dass in der Chemischen Industrie seit längerem ein Nachdenken über eine breitere Rohstoffbasis eingesetzt hat. Die soll künftig über Erdöl und Erdgas hinaus auch Kohle und Biomasse einschließen. Schwindende Erdölvorräte und der Boom bei Fracking-Gas in den USA und Kohle in China haben dies befördert. Rund um den Globus wächst das Interesse, aus unterschiedlichen Rohstoffen anhand bekannter Verfahren aus der Kohlechemie chemische Produkte zu gewinnen. Im Mittelpunkt stehen Vergasungsverfahren. China betreibt auf dieser Grundlage inzwischen große Anlagen zur Herstellung wichtiger Grundchemikalien.

Die Herstellung von Chemieprodukten aus Braunkohle ist eine Option, die mit Blick auf Klimaschutz und zukunftsfähige Beschäftigung eine Sackgasse darstellt. So lassen sich aufgrund der chemischen Zusammensetzung aus einer Tonne Braunkohle viel weniger Chemieprodukte – wie Kraft- und Brennstoffe oder Kunststoffe - herstellen, als aus einer Tonne Erdgas oder Erdöl. Deshalb ist der Ausstoß des Klimakillers CO<sub>2</sub> entsprechend größer, denn aus einer Tonne Braunkohle wird immer dieselbe Menge CO<sub>2</sub> gebildet, egal ob man sie verbrennt oder vergast und daraus Produkte herstellt.

Verbrennt man Braunkohle, dann wird sie sofort vollständig in CO<sub>2</sub> (und Asche) umgewandelt. Vergast man Braunkohle, wird zwar zunächst eine geringere Menge an CO<sub>2</sub> freigesetzt, der Rest entsteht aber später aus den hergestellten Produkten am Ende ihres Lebensweges. Das passiert bei Brenn- und Treibstoffen sofort, wenn sie verbrannt werden, bei Kunststoffen und anderen Chemikalien, wenn sie nicht mehr gebraucht und entsorgt werden, z. B. in einer Müllverbrennungsanlage.

Dieser Zusammenhang gilt auch dann, wenn Chemieprodukte aus Braunkohle mit erneuerbarem Wasserstoff hergestellt werden sollten, der mit Ökostrom erzeugt wird. Dazu werden bereits eingehende Fachdiskussionen geführt. Gegenüber dem konventionell

betriebenen Vergasungsverfahren lassen sich damit am Anlagenstandort die in die Luft entweichenden CO<sub>2</sub>-Mengen zu einem großen Teil verringern. Dadurch steigt die Produktausbeute entsprechend, d. h. es wird eine größere Produktmenge erzeugt, aus denen am Ende des Lebensweges wieder CO<sub>2</sub> entsteht. Insgesamt ändert sich aber nichts an der Gesamtmenge an CO<sub>2</sub>, denn es ist egal, ob am Anlagenstandort weniger CO<sub>2</sub> entsteht und dafür mehr aus den Produkten am Ende ihres Lebensweges. Die Gesamtmenge an CO<sub>2</sub> bleibt – bezogen auf die zur Vergasung eingesetzte Kohle – gleich groß. Deshalb kann man hier auch nicht von einer CO<sub>2</sub>-armen Kohlenutzung sprechen, die immer wieder ins Feld geführt wird.

Durch die Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff, der mit Ökostrom hergestellt wird, können somit die Kohlevorräte effizienter ausgebeutet und ggf. über längere Zeiträume genutzt werden. Allerdings wird die höhere Produktausbeute teuer erkaufte. Denn es müssen große Mengen an regenerativen Energien bereit gestellt werden, damit solch ein Teil des Kohlevorrats durch den Ökostromeinsatz nicht mehr zur Herstellung von Wasserstoff benötigt wird, sondern zu Produkt werden kann. Derart große Energiemengen dürften angesichts der dringend notwendigen Dekarbonisierung fossil geprägter Energie- und Wärmeerzeugung sowie Mobilität in den kommenden Jahrzehnten kaum zur Verfügung stehen. Zudem sollten sie auch nicht solchen Zwecken dienen, denn letztlich steht die effizientere Ausbeutung der Kohlevorräte einer raschen Dekarbonisierung im Wege. Damit werden für den dringend notwendigen solaren Umbau und Klimaschutz falsche Wegmarken gesetzt. Im Übrigen kommt auch eine CO<sub>2</sub>-Neutralität der hergestellten Produkte nicht in Frage, denn ihr chemisches Kohlenstoff-Gerüst besteht weiter aus dem der Braunkohle. Außerdem setzen sich die Wasserstoffanteile der Produkte aus einem Mix von fossilem und erneuerbarem Wasserstoff zusammen.

Im Ergebnis ist der Versuch, diesen Prozess als „nachhaltig“ zu vermarkten, nichts anderes als ein „**Greenwashing**“ der Braunkohle. Die Wahrheit ist vielmehr, dass das Verfahren erneuerbare Energie in großem Stil verschwendet und weiteren Klimaschutz untergräbt. Zudem hat die Gesellschaft - egal ob bei der stofflichen Verwertung der Braunkohle nun regenerative Energien als Helfer eingesetzt werden oder nicht - weiterhin mit jenen massiven Umweltproblemen zu kämpfen, die mit dem Abbau des fossilen Rohstoffs ebenfalls verbunden sind. So mit dem hohen Ressourcen- und Landschaftsverbrauch, den

Staubbelastungen oder mit der Verschmutzung von Flüssen und der Zerstörung von Grundwasserleitern.

Als **Fazit** bleibt: Unter dem Strich bleiben die Probleme auf Dauer gleich, egal ob nun Braunkohle stofflich oder energetisch genutzt wird. Die Vergasung von Braunkohle setzt den fossilen Entwicklungspfad fort, anstatt ihn zu beenden. Sie trägt weiter zur Verschärfung des Klimawandels bei und schafft vor allem solche Arbeitsplätze, die wegen der genannten Folgen sehr bald wieder gefährdet werden.

Ein lokaler Umbau der Braunkohleregionen muss in eine großräumige sozial-ökologische Regional- und Strukturpolitik eingebettet werden, die zukunftsfähige Arbeitsplätze schafft. Nur dann ist langfristig eine wirtschaftlich selbsttragende regionale Entwicklung und Verzahnung von Wirtschaftsbereichen möglich. An einem solchen Diskussions- und Entscheidungsprozess sollten alle in Frage kommenden Akteure aus Politik, Mittelstand, Handwerk, Wissenschaft und Bürgerinitiativen etc. mit ihrem großen Wissens- und Erfahrungsschatz beteiligt werden.

## 2. Einleitung

In den mit Braunkohlevorräten reich ausgestatteten Bundesländern NRW, Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt wachsen die Sorgen um Arbeitsplätze und langfristigen Erhalt regionaler und sozialer Entwicklungsmöglichkeiten. Hintergrund bilden fortdauernde Auseinandersetzungen darüber, was nach dem Ende der Verbrennung von Braunkohle kommen soll. Deshalb wird insbesondere seitens der ostdeutschen Bundesländer seit längerem wieder ihre stoffliche Nutzung (chemische Verwertung) gefordert. Befördert wird die Diskussion zudem durch wachsende Spannungen mit dem großen Erdöl- und Erdgaslieferanten Russland und den Zerfall der europäischen Friedensordnung. In diesem Zusammenhang und mit Blick auf ein langsam absehbares Ende der Erdölvorräte ist wieder der alte Gedanke autarker Energie- und Stoffversorgung aus heimischen Rohstoffquellen lebendig geworden.

Ein politisches Zeichen pro Braunkohle setzte der **Braunkohlegipfel der Länder Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt** am 27. Februar 2012. Mit dabei war der ehemalige EU-Energiekommissar Oettinger (Staatskanzlei Sachsen-Anhalt, 2012). Als Gründe wurden u. a. bezahlbare Versorgungssicherheit, Technologieentwicklung und Arbeitsplätze für morgen ins Feld geführt. Unterstützung hat dies jüngst auch durch Prof. Dr. Blum von der Universität Halle-Wittenberg gefunden, ehemals Präsident des Instituts für Wirtschaftsforschung Halle (IWH). Für ihn kann Braunkohle ein wichtiger Rohstoff für „unsere Kohlenstoffwirtschaft“ sein, „wir müssen ihn nicht zur Stromerzeugung verbrennen, sondern wir könnten eine leistungsfähige Chemieindustrie mit der Braunkohle als Rohstofflieferant aufbauen. Das könnte den ostdeutschen Braunkohleregionen eine ganz neue Perspektive geben“ (Blum, Ulrich, S. 2, 2015).

In **Ostdeutschland** befürworten SPD und CDU die chemische Verwertung von Braunkohle. Das gilt vorbehaltlos auch für die Gewerkschaft IG BCE. Bei Bündnis 90/Die Grünen stößt diese Form der Verwertung insgesamt auf Ablehnung. Bei der Partei DIE LINKE wird sie unter anderem von allen in der Bundestagsfraktion für die Bereiche Umwelt und Energie verantwortlichen Abgeordneten abgelehnt. Allerdings sehen einzelne FachpolitikerInnen in den Landtagsfraktionen Brandenburgs, Sachsen-Anhalts und Sachsen diesen Verwertungsweg als denkbare Zukunftsoption.

In **Westdeutschland** befürworten ebenfalls SPD und CDU die chemische Verwertung von Braunkohle. Das gilt ebenfalls für die Gewerkschaft IGBCE. Parlamentarische Unterstützung erfuhr dieser Nutzungspfad durch den im April diesen Jahres veröffentlichten Abschlussbericht der **Enquete-Kommission zur Zukunft der Chemischen Industrie in NRW** (Landtag NRW: Enquetekommission, S. 199 und 379 ff., 2015). Er wurde einmütig und ohne Kritik (ohne Sondervoten) von allen im Landtag vertretenen Parteien – SPD, Bündnis 90/Die Grünen, CDU und Piraten – gebilligt.

Seitens der **Bundesregierung** sind in der jüngsten Vergangenheit mit Schwerpunkt in Ostdeutschland viele Wissenschafts- und Forschungsprojekte zur chemischen Verwertung von Braunkohle angestoßen worden. In Ostdeutschland kann dabei an den großen Wissens- und Erfahrungsschatz aus der Braunkohlenforschung der DDR angeknüpft werden. Im Chemiedreieck zwischen Halle/Leipzig, Bitterfeld und Merseburg ist mit Fördermitteln des Bundesforschungsministeriums in den Jahren 2008/2009 eine **regionale Technologie- und Wirtschaftsplattform namens „ibi“** angeschoben worden. Die in Halle bzw. Leuna angesiedelte Plattform erhielt mit Blick auf die Entwicklung eines regionalen Wachstumskerns zwischen 2011 und 2014 weitere Fördermittel und wird nach deren Auslaufen inzwischen in bescheidenem Umfang weiter betrieben. „ibi“ ist die Kurzformel für „Innovative Braunkohlen Integration in Mitteldeutschland. Neue Strategien zur stofflichen Verwertung“ (ibi, 2015). Geschäftszweck der Plattform ist laut Selbstbeschreibung die Entwicklung neuer Technologien, anhand derer Grundchemikalien für die Chemische Industrie aus Braunkohle entlang der gesamten Wertschöpfungskette hergestellt werden können. Das Gesamtprojekt erlitt allerdings einen empfindlichen Rückschlag, weil sich die Linde AG im Jahre 2013 als Investor für den Bau einer Demonstrationsanlage zurückgezogen hatte. Ursache war der Verfall der Großhandelspreise für Erdgas, bedingt vor allem durch billiges Schiefergas aus den USA (Schroeter, Stefan, 2013).

In und von **Sachsen** aus wirbt und arbeitet die TU Bergakademie Freiberg/Sachsen am intensivsten dafür, Braunkohle stofflich zu verwerten. Parallel dazu ist in Freiberg das ehemalige Deutsche Brennstoffinstitut der DDR im Jahre 2011 als DBI-Bergakademie neu gegründet worden. Fachübergreifend soll hier die „kohlendioxidarme Nutzung der Braunkohle“ in der chemischen Industrie erforscht werden. Über das an der TU Bergakademie ansässige **Deutsche EnergieRohstoff-Zentrum** bestehen vielfältige Verbindungen und Arbeitsbeziehungen zur Siemens Fuel Gasification Technology GmbH.

Das Unternehmen übernahm im Jahre 2005 die Geschäftsanteile der Firma Sustec Holding AG an der Future Energy GmbH zu 100 Prozent. Die aufgekaufte Firma ging aus dem ehemaligen Gaskombinat Schwarze Pumpe der DDR hervor. Damit verschaffte sich Siemens Zugang zu Patenten, Technologien und Testanlagen für das in der DDR entwickelte Flugstromvergasungsverfahren (sog. GSP-Verfahren). Es wurde seinerzeit am Deutschen Brennstoffinstitut in Freiberg und im Gaskombinat Schwarze Pumpe entwickelt. Deshalb befindet sich das Siemens Gasification Test Center auch am Stammsitz des Unternehmens in Freiberg. Nach eigenen Angaben ist es eines „der umfassendsten Vergaser-Testanlagen der Welt“. Bis vor einigen Monaten war die Siemens AG stets daran interessiert, ihre Geschäfte mit Kohle-Vergasungsanlagen über China hinaus auszudehnen. Inzwischen will der Konzern diesen Geschäftsbereich verkaufen, weil er nicht mehr zu seinem Kerngeschäft gehöre. Dahinter dürften mehrere Aspekte stehen: eine zu starke Fokussierung auf den chinesischen Markt, beschränkte Absatzmöglichkeiten in anderen Weltregionen, hohe Entwicklungskosten und starke Konkurrenten im Bereich Kohlevergaser. Es bleibt abzuwarten, ob und wann sich ein Käufer findet.

In **Brandenburg** ist auf Initiative des Beratungsunternehmens Faktor-i<sup>3</sup> GmbH im August 2015 in Senftenberg/Lausitz das **Deutsche Kohlenstofftransformationszentrum (DKTZ)** gegründet worden (Faktor-i<sup>3</sup>, 2015). Das Unternehmen vertritt die Energieallianz Deutschland. Mitglieder sind u. a. die Siemens AG, SolarWorld AG, German Pellets GmbH, Viessmann Deutschland GmbH und die WSB Neue Energien Holding GmbH. Ziel des überregional angelegten DKTZ ist es „Technologien, die das CO<sub>2</sub> –Aufkommen vermindern und Technologien, die CO<sub>2</sub> stofflich nutzen, voran zu bringen und zu etablieren“ (DKTZ, 2015). Dafür sind „neue und integrierte Ansätze zur stofflichen und energetischen Nutzung der heimischen Ressource Braunkohle – eine kreislaufgeführte Kohlenstoffwirtschaft –“ zu entwickeln (Energierregion Lausitz GmbH, S.1, 2015). In den Blick genommen werden dafür über Kohle hinaus weitere Kohlenstoffträger wie Biomasse, Reststoffe, Abfälle und das bereits genannte Kohlendioxid. Das Konzept soll letztlich den flexiblen Einsatz aller kohlenstoffhaltigen Rohstoffe ermöglichen - ganz gleich ob fossiler oder regenerativer (erneuerbarer) Herkunft. „Langfristig wird ... ein Verzicht auf Kohle als Kohlenstoffquelle angestrebt“; die „zukünftig erforderlichen Kohlenstoffmengen für Chemie, Kraftstoffe und Speicher können aus Biomasse, Reststoffen sowie Abfällen gewonnen werden“ (DKTZ, 2015). Ein zentraler Baustein für die Nutzung dieser Rohstoffe ist die stofflich flexibel einsetzbare Vergasungstechnologie. Mit dem Vergasungsverfahren und daraus gewonnenem



Synthesegas sowie nachfolgenden Prozessstufen lassen sich Brenn-/Kraftstoffe und Chemieprodukte herstellen. In Verbindung mit regenerativ hergestelltem Wasserstoff aus Windkraft und Solarenergie ermöglicht das nach Angaben des DKTZ „eine bereits heute schon nahezu CO<sub>2</sub> - freie Kohlenstofftransformation hin zu künstlichem Erdgas und synthetischen Kraftstoffen“.

Als Kooperationspartner des DKTZ sind die Technische Universität BTU Cottbus-Senftenberg und das Dresdner Fraunhofer Institut für keramische Technologien und Systeme gewonnen worden. Unterstützt wird es zudem von der Energieregion Lausitz GmbH, einem Zusammenschluss von vier Landkreisen und der Stadt Cottbus, der wiederum Unterstützung findet seitens der Konzerne Vattenfall und BASF (Standort Schwarzheide).

Das Konzept des DKTZ macht deutlich, dass der stofflichen Nutzung von Braunkohle noch auf lange Sicht eine tragende Rolle zukommen soll, gerade auch in Verknüpfung mit erneuerbaren Energien und Wasserstoff. Wie das zu bewerten ist, darauf wird insbesondere in den nachfolgenden Kapiteln 5 und 6 näher eingegangen.

### 3. Braunkohle zur Chemie- und Energieproduktion

Aus Braunkohle lassen sich, wie bereits erwähnt, viele Chemieprodukte herstellen. Die grundlegenden chemischen und technischen Voraussetzungen dafür sind bereits vor vielen Jahrzehnten geschaffen worden. Braunkohle weist aufgrund von Herkunft und Entstehungsbedingungen einen hohen Anteil an fossilem Kohlenstoff, einen kleinen Anteil an fossilem Sauerstoff und einen geringen Anteil an fossilem Wasserstoff auf (s. Tab. 2). Diese sog. inhärent gegebene Zusammensetzung der Braunkohle würde – das zeigt eine chemische (stöchiometrische) Berechnung – nur die Herstellung kleiner Produktmengen wie beispielsweise von Methan möglich machen. Aufgrund dessen wurden chemisch-technische Verfahren entwickelt, die für genügend Sauerstoff und Wasserstoff sorgen, um in der Folge dann eine möglichst große Menge an gewünschten chemischen Produkten (Kohlenwasserstoffen) aus der Braunkohle gewinnen zu können. Damit gelang es, den Kohlenstoffanteil umfänglicher ausschöpfen bzw. verwerten zu können.

Von besonderer Bedeutung waren und sind hier die **Verfahren der Kohlevergasung und Kohlehydrierung (Bergius-Verfahren)**. Bei der Kohlehydrierung oder Kohleverflüssigung geht es hauptsächlich darum, Vergaser- und Dieselmotortreibstoffe zu gewinnen. Das Bergius-Verfahren beruht auf der direkten Anlagerung von Wasserstoff an fein gemahlene Kohle. Ein weiteres, das Fischer-Tropsch-Verfahren beruht auf der Kohlevergasung. Beide Verfahren können mit Braun- oder Steinkohle betrieben werden. Auf das Kohleverflüssigungsverfahren nach Bergius wird in diesem Zusammenhang nicht näher eingegangen, sondern allein auf die Kohlevergasung (s. Kap. 4). Das Verfahren findet immer mehr Aufmerksamkeit und wird auch in der Praxis bevorzugt eingesetzt. Ein wesentlicher Grund dafür ist, daß das Verfahren – wie bereits erwähnt - deutlich unabhängiger vom eingesetzten Rohstoff ist. Es ermöglicht nicht nur den Einsatz von Kohle, sondern auch von Erd- oder Fracking-Gas, Ölrückständen oder Biomasse (s. unten).

Ab den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts entwickelten sich beide Verfahren und praktischer Einsatz immer rascher. Große Bedeutung kam ihnen im Nazi-Deutschland zu. Bis zum Ende des II. Weltkrieges waren 21 Kohleverflüssigungsanlagen in Betrieb, davon 12 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von 4, 23 Millionen Tonnen pro Jahr nach dem Bergius-Verfahren und 9 Anlagen mit einer Gesamtkapazität von rd. 0,74 Millionen Tonnen pro Jahr nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren (Falkenhain, Monika et al., S. 536, 2005). Die Anlagen

dienten zur Versorgung des Militärs mit Treibstoffen für Eroberungs- und Vernichtungskriege.

**Tab. 1: Einige Daten und Fakten zu Braunkohle**

<p>Jährliche Braunkohlegewinnung in Deutschland</p>	<p><b>Insgesamt</b> im Jahre 2012: 185,4 Mio.t im Jahre 2012 (57,1 Mio. t SKE)</p> <p><b>Rheinisches Revier:</b> 101,7 Mio. t/a (31,3 Mio. t SKE)</p> <p><b>Mitteldeutsches Revier</b> (in etwa Raum Altenburg-Meuselwitz, Merseburg, Querfurt, Bitterfeld, Südraum Leipzig): 19,2 Mio. t/a (5,9 Mio. t SKE)</p> <p><b>Helmstedter Revier:</b> ca. 2 Mio. t/a (ca. 0,62 Mio. t SKE)</p> <p><b>Lausitz:</b> 62,4 Mio. t/a (19,2 Mio. t SKE)</p>
<p>Zusammensetzung Rohbraunkohle allgemein</p>	<p>Die Zusammensetzung von Rohbraunkohle schwankt je nach den Bildungsbedingungen in den Lagerstätten in weiten Grenzen:</p> <p>Wassergehalt 15 – 65 %</p> <p>Aschegehalt 1 – 60 %</p> <p>Gehalt an brennbarer Substanz: 20 – 80 %</p> <p>Heizwert <math>H_u</math>: 5000 – 25 000 kJ/kg</p>

Kohle wurde als Rohstoff für die Chemie- und Treibstoffproduktion nach dem II. Weltkrieg zunehmend von Erdöl und Erdgas abgelöst. Dafür sprachen nicht nur der damalig konkurrenzlos günstige Preis, sondern auch ihre der Kohle überlegenen stofflichen Eigenschaften. Deshalb waren weltweit gerade einmal im Jahre 2011 etwas mehr als 25 Vergasungsanlagen in Betrieb, allerdings bis heute keine davon in Deutschland. Rund 45 Millionen Tonnen Kohle pro Jahr wurden dafür verbraucht (Hartmann, Klaus, S. 47, 2011). Gegenüber derzeit knapp acht Milliarden Tonnen geförderter Kohle für die Energieerzeugung bewegt sich diese Menge noch in einer bescheidenen Größenordnung.

Unter entsprechenden ökonomischen Randbedingungen könnte sich das längerfristig ändern. So hat in der Chemischen Industrie seit längerem ein Nachdenken über eine breitere Rohstoffbasis eingesetzt. Die soll künftig über Erdöl und Erdgas (auch Fracking-Gas) hinaus auch Kohle und Biomasse einschließen. Darauf wird in Kapitel 7 näher eingegangen.

## **Braunkohlechemie - gravierende Probleme für Natur und Gesellschaft**

In Deutschland werden heute etwa 16 Mio. t Erdöl von der chemischen Industrie für die Herstellung vor allem von Olefinen (Ethylen und Propylen) in einer Menge von ca. 8,6 Mio. t/a eingesetzt. Ethylen und Propylen werden überwiegend zur Herstellung von Kunststoffen verwendet. Die Gesamtmenge wichtiger Grundchemikalien inklusive Olefinen umfasste in 2013 rd. 14,2 Mio. t/a. Daraus entstehen in Folgeprozessen große Mengen an organisch-chemischen Produkten.

Statt aus Erdöl können diese ca. 8,6 Mio. t Olefine auch aus ca. 71 Mio. t Rohbraunkohle hergestellt werden (Meyer, Bernd, Strategiepapier S. 2, 2011). Für die Gesamtmenge an Grundchemikalien von rd. 14,2 Mio. im Jahre 2013 würden überschlägig ca. 117 Mio. t, also knapp 120 Mio. t, Rohbraunkohle gebraucht. Das entspräche fast 65 Prozent der derzeitigen, bundesweiten Braunkohleförderung für die Energiegewinnung! Damit würden sich Landschaftsverbrauch, Grundwasserabsenkungen, Umweltschäden, Umsiedlungen und Maßnahmen zur Renaturierung der Tagebaue bis zur Erschöpfung der Braunkohlevorräte fortsetzen. Eine aktuelle Kurzstudie des Forum ökologische-soziale Marktwirtschaft (FÖS) für Greenpeace kommt zu dem Ergebnis, dass „allein im Jahr 2015 Braunkohlebergbau und –verstromung gesellschaftliche Kosten in Höhe von mindestens 15 Mrd. EUR verursacht“ haben und sich nicht im Strompreis widerspiegeln (Greenpeace, S. 2 ff, 2015). Der größte Kostenanteil entfällt auf Gesundheits- und Klimaschäden. Diese Kostenschätzung ist aber noch nicht einmal vollständig, da sich verschiedene Sachverhalte nur schwer quantifizieren lassen. Das betrifft beispielsweise die Sulfat- und Eisenbelastung von Gewässern oder dauerhafte Sümpfungen.

Insgesamt kann durch die chemische Verwertung heimischer Braunkohlevorräte in Deutschland nicht annähernd der riesige Verbrauch an fossilen Brenn- und Kraftstoffen sowie Chemikalien gedeckt werden. So betonte Prof. Dr. Meyer von der TU Bergakademie Freiberg im Interview mit dem Handelsblatt, daß sich „aus der gesamten (inländischen) Braunkohleförderung eines Jahres – das sind aktuell rund 170 Millionen Tonnen – theoretisch etwa 25 bis 30 Millionen Tonnen Erdöläquivalent gewinnen ließen. Das entspricht nicht einmal einem Drittel des jetzigen Verbrauchs“ (Handelsblatt, S. 2, 2014). Allerdings würden die Vorräte ausreichen, daraus auf lange Sicht Grundchemikalien herzustellen. Die Frage ist nur, zu welchen sozialökonomischen und ökologischen Kosten.

## **Hohe Investitionen für Chemieanlagen und Hinweise zu Produktkosten**

Für Bau und Betrieb großtechnischer Anlagen zur Kohlevergasung ist von hohen Kosten auszugehen. So ist für die Herstellung von Dieselkraftstoff anhand des Fischer-Tropsch-Verfahrens mit Investitionskosten von ca. drei bis vier Milliarden Euro zu rechnen. Investoren sind vor diesem Hintergrund „sehr zögerlich und fordern staatliche Unterstützung für den Bau derartiger Anlagen“ (Vallentin, Daniel, S. 19, 2009).

Eine weitere Veröffentlichung weist ebenfalls auf den hohen Investitionsbedarf hin, der, „um wirtschaftlich zu sein, dauerhaft Ölpreise von 60 – 80 \$/Barrel“ braucht (Senz, Christoph, S. 6, 2012). Im Jahr 2015 lag er dauerhaft deutlich unter dieser Marke (im November um die 40 \$/Barrel). Ein Hemmnis für den Bau solcher Anlagen sind steigende Kohlepreise, denn sie heben die Gewinnschwelle an. Insgesamt ist „für eine Produktionsanlage mit einer Kapazität von 50.000 Barrel pro Tag mit Investitionskosten in Höhe von etwa fünf Milliarden Dollar zu rechnen“. Das sind umgerechnet ca. 4,6 Milliarden Euro. Aus den Angaben des Beitrages lässt sich auch ungefähr angeben, wie viel Braunkohle täglich gebraucht wird, um mit dem Fischer-Tropsch-Verfahren 50.000 Barrel Öl zu erzeugen. Dazu wird laut Autor von „optimistischen 1,5 Barrel Öl pro Tonne Braunkohle“ ausgegangen. Danach sind für diese Menge an Barrel täglich rd. 33.330 Tonnen Braunkohle notwendig. Grob orientierend – weil vereinfacht - entsprechen 50.000 Barrel ungefähr 6.800 Tonnen Öl. Vereinfacht deshalb, weil für die Umrechnung Rohöl (1 Tonne = 7,35 Barrel) zugrunde gelegt wird und das Öl bzw. die Produkte des Fischer-Tropsch-Verfahrens sich nicht direkt mit Rohöl vergleichen lassen. Wichtige Bestandteile des mit dem Verfahren gewonnenen Öls sind Diesel und Benzin.

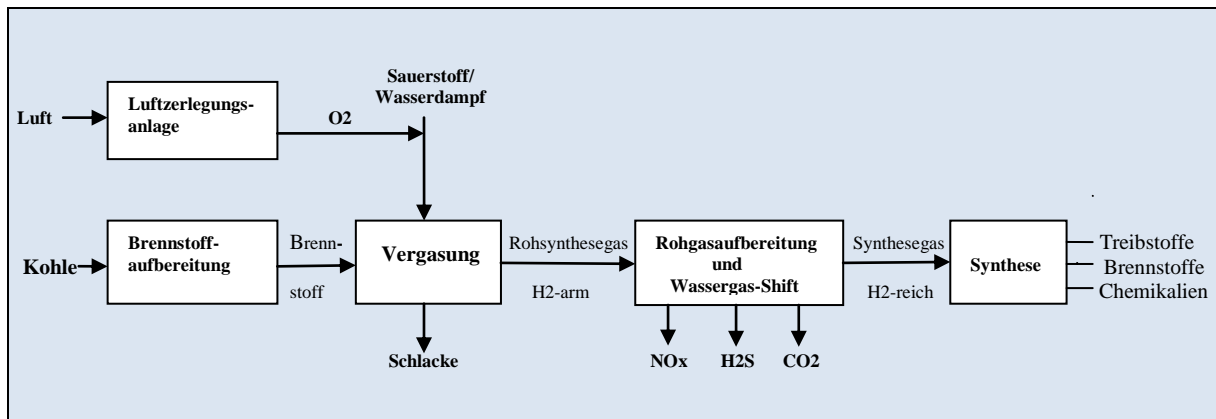
Inzwischen liegen Berechnungen vor, anhand derer ein Einstieg in die Braunkohlevergasung mit den Produkten Methan und Methanol bereits heute schon möglich wäre. Entsprechende Zahlen präsentierte das Beratungsunternehmen Faktor i<sup>3</sup> anlässlich eines Vortrages vor der Regionalen Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald am 16. März 2015 (Energieallianz Deutschland, Vortrag Folie 9 und 21, 2015). Danach sind die „SNG-Erzeugungskosten (d. h. für künstlich hergestelltes Methan, der Verf.) aus Braunkohle... für den heimischen Markt als Energieträger derzeit schon kostenneutral zum Erdgas“, und die „Methanol-Erzeugungskosten aus Braunkohle liegen unter dem europäischen Großhandelspreis (inkl. Elektrolyse)“. Damit durch den möglichen Einbezug solcher Erzeugungsanlagen in das Emissionshandelssystem die Geschäfte nicht gestört werden, wurde vorsorglich schon im Jahre 2011 gefordert, die

CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen der stofflichen Nutzung von Kohle bis 2050 „steuerlich gestuft freizustellen“ (Meyer, Bernd, Strategiepapier S. 4, 2011).

## 4. Das Verfahren der Kohlevergasung

Unter Kohlevergasung versteht man ein ganzes Bündel chemischer Reaktionen des Kohlenstoffs mit Luft, reinem Sauerstoff und/oder Wasser. Ziel der Kohlevergasung ist ein möglichst reines Gasgemisch von Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff. Es wird als Synthesegas bezeichnet. Dessen Zusammensetzung kann gezielt gesteuert werden und entscheidet über die Herstellung in Frage kommender Grundchemikalien (s. Abb. 4). Verschiedene industriell erprobte Vergasungstechnologien stehen zur Herstellung wichtiger Grundchemikalien aus Braunkohle zur Verfügung. Einen Überblick zum Verfahrensablauf und den wichtigsten Vergasungsreaktionen geben nachstehend Abb. 1 und 3.

**Abb. 1: Verfahrensablauf Kohlevergasung**

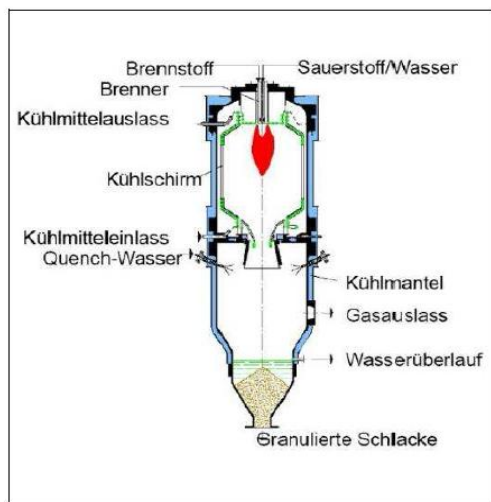


Im Folgenden soll nur etwas eingehender auf die **Flugstromvergaser-Technologie** eingegangen werden, weil sie seit geraumer Zeit viel Aufmerksamkeit erfährt und – wie ein Teil anderer Verfahren auch - den Einsatz aller Kohlen möglich macht. Seit 2008 werden u. a. von der Siemens AG solche Vergaser mit einer thermischen Leistung von 500 Megawatt (MWth) und inzwischen größeren Leistungsklassen gebaut und verkauft (Siemens, 2012).

Bei dem **Verfahren der Flugstromvergassung** reagiert getrocknete und staubfein gemahlene Braunkohle (als Beispiel s. Tab. 2) mit Sauerstoff und Wasser bei hohen Temperaturen. Dabei entsteht – wie bereits oben erwähnt - das hauptsächlich aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff bestehende Synthesegas. Zum Abkühlen und Waschen des Synthesegases werden große Mengen an Wasser gebraucht.

Danach durchläuft das Synthesegas mit der sog. **Wassergas-Shift-Reaktion** eine weitere, entscheidende Verfahrensstufe. Hier reagiert Wasser mit dem Synthesegas. Dabei entstehen Wasserstoff und große Mengen an klimaschädlichem Kohlendioxid, die in die Umwelt entweichen. Das Kohlendioxid ist das Ergebnis der Reaktion des letztlich aus dem Kohlenstoff der Braunkohle stammenden Kohlenmonoxids mit dem Sauerstoffanteil des Wassers. Damit löst sich sozusagen ein Teil des Kohlenstoffvorrats der Braunkohle ungenutzt als Treibhausgas in Luft auf.

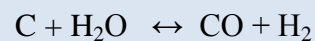
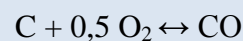
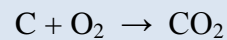
**Abb. 2: Aufbau eines Flugstromvergasers**



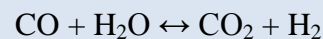
Quelle: Institut für Umweltanalyse Projekt GmbH, S 48, 2014

**Abb. 3: Die wichtigsten Vergasungsreaktionen im Überblick**

**Kohlevergasung**



**Wassergas-Shift-Reaktion**



Mit dem auf der Stufe der Wassergas-Shift-Reaktion gebildeten Wasserstoff wird die Zusammensetzung des Synthesegases je nach späterem Verwendungszweck so gesteuert, dass nachfolgende Herstellungsprozesse für viele Stoffe bedient werden können (s. Abb. 4). Schlussendlich aufbereitet, bildet das fertige Synthesegas den Ausgangspunkt zur Herstellung aller wichtigen Grundchemikalien, wie beispielsweise Methan, Ethylen, Propylen oder Methanol und einer darauf aufbauenden Stoffvielfalt, oder auch für Benzin und Diesel anhand des Fischer-Tropsch-Verfahrens.

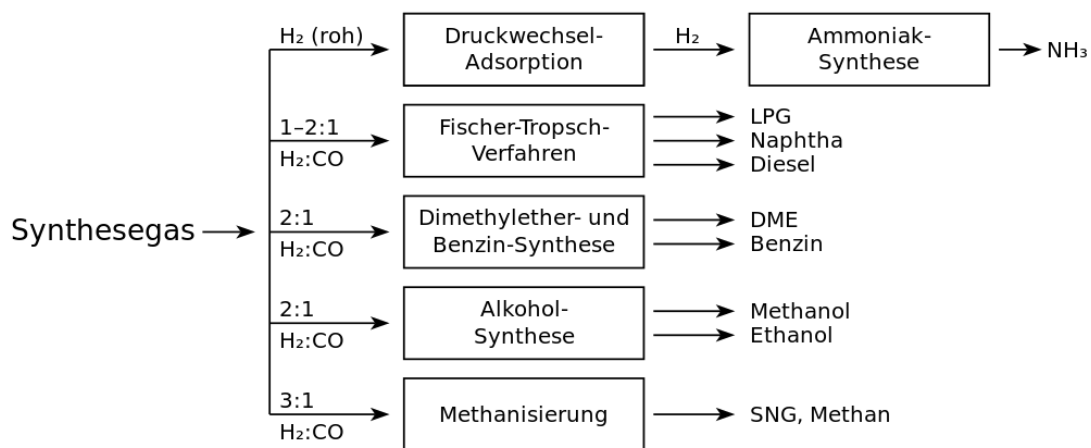


**Tab. 2: Zusammensetzung Mitteldeutsche Braunkohle  
(Trockenbraunkohle mit 10,5 Gewichtsprozent Wasser)**

Bestandteil	Einheit	Menge
C	Gew.-%	57.0
H	Gew.-%	4.5
N	Gew.-%	0.5
O	Gew.-%	15.5
S	Gew.-%	2.9
Feuchte	Gew.-%	10.5
Asche (trocken)	Gew.-%	9.1
Flüchtige Anteile	Gew.-%	48.1
Heizwert (Trockenbasis)	MJ/kg	22

Quelle: Stoye, Sven, Folie 9, 2009

**Abb. 4: Synthesegas zur Herstellung von Chemikalien und Brenn- und Treibstoffen**



Quelle:

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Syngas\\_Products.svg#/media/File:Syngas\\_Products.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Syngas_Products.svg#/media/File:Syngas_Products.svg)

In **Tab. 3** wird der Prozess der Flugstrom-Vergasung rechnerisch konkretisiert am Beispiel von künstlich hergestelltem Methan (SNG) und zwar anhand der Verwendung von Mitteldeutscher Trockenbraunkohle (s. Tab. 2). Die Ergebnisse geben nur einen kleinen Ausschnitt des Gesamtverbrauchs an Ressourcen und entstehenden Umweltbelastungen wider, worauf nachstehend in Kap. 4.1 näher eingegangen wird. Sie sollen nur zeigen, welche Mengen an Kohlendioxid dabei entstehen und welche Mengen an Wasser (nur für einen Teilprozess) verbraucht werden, um eine vergleichsweise geringe Menge an Methan herzustellen. Wichtig ist festzuhalten, dass im Gegensatz zur Verbrennung bei der Vergasung zunächst eine geringere Menge an CO<sub>2</sub> gebildet wird. Der Rest entsteht dann später aus den hergestellten Produkten am Ende ihres Lebensweges. Man braucht dazu in Tabelle 3 nur die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu addieren, die bei der Herstellung **und** Verbrennung des erzeugten Methans entstehen. Die Gesamtsumme entspricht der Menge an CO<sub>2</sub>, die entsteht, wenn man die eingesetzte Menge an Braunkohle an Ort und Stelle sofort verbrennen würde.

Als Fazit bleibt festzustellen, daß aus einer Tonne Braunkohle immer dieselbe Menge CO<sub>2</sub> gebildet wird, egal ob man sie sofort verbrennt oder ob man sie vergast und daraus Produkte herstellt, die das CO<sub>2</sub> später freisetzen. Letzteres etwa durch Verbrennung von Kraftstoffen in Motoren, oder im Falle von chemischen Produkten bei der Verrottung bzw. Entsorgung in Verbrennungsanlagen.

## Die Flugstromvergasung am Beispiel der Erzeugung von synthetischem Methangas (SNG)

**Tab. 3: Herstellung von Methan aus 1 Tonne Braunkohle – Wasserverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>1</sup>**

Stoff	Menge (kg)	Bemerkungen
Erzeugtes Methan (SNG)	261	Wird das erzeugte Methan verbrannt, dann entstehen daraus rd. 718 kg Kohlendioxid.
Verbrauchtes Wasser	476	Wasserverbrauch nur zur Herstellung von Wasserstoff für die Methanherzeugung.
CO <sub>2</sub> -Emissionen	1372	Ohne Einbeziehung weiterer CO <sub>2</sub> -Emissionen, insbes. zur Erzeugung von Strom für die Luftzerlegungsanlage. Sie dient für die Herstellung von Sauerstoff für den Vergasungsprozess.

1) Angaben näherungsweise für Mitteldeutsche Trockenbraunkohle mit 10,5 Gew. % Wasser (Zur Zusammensetzung siehe Tab. 2).

Für die Berechnungen ist verfügbare Literatur herangezogen worden. Die Ergebnisse verstehen sich als näherungsweise Angaben. In der Praxis hängen die Größenordnungen von gewählten Betriebsbedingungen, Optimierungsprozessen, vom eingesetzten (Braun)Kohletyp und verwendeten Katalysatoren ab. Deutlich wird anhand der Tabelle – und das ist strukturell entscheidend –, dass bei der Vergasung und Erzeugung von Produkten im Gegensatz zur Verbrennung zunächst eine geringere Menge an CO<sub>2</sub> gebildet wird und die andere Teilmenge an CO<sub>2</sub> erst bei der Verbrennung oder Entsorgung der erzeugten Produkte entsteht.

#### **4.1. Klima- und Umweltprobleme der Kohlevergasung**

Neben der herausragenden Klima-Problematik treten eine ganze Reihe weiterer Umweltprobleme auf, die hier nur kurz angerissen werden sollen.

##### **Entstehung und Freisetzung von Kohlendioxid**

Das Verfahren führt mit Blick auf die Substitution von Erdöl und Erdgas zu teilweise erheblich höheren klimaschädlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen. So weist der Abschlussbericht der Chemie-Enquetekommission des Landtags NRW darauf hin, dass „im Vergleich zu Erdöl als aktuellen Hauptrohstoff der chemischen Industrie die stoffliche Braunkohlenutzung allerdings mindestens zweimal höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen“ aufweist (Landtag NRW: Enquetekommission, S. 205, 2015). Wesentliche Ursachen dafür bilden die chemische Zusammensetzung des fossilen Energieträgers Kohle (in unserem Fall Braunkohle), Trocknung und Vermahlung der Braunkohle, der energieaufwendige Prozess der Luftzerlegung für die Bereitstellung von Sauerstoff für die Kohlevergasung und die Wassergas-Shift-Reaktion zur Verfahrenssteuerung und höheren Produktausbeute aus Kohle.

##### **Energiebedarf zur Aufbereitung von Braunkohle und Herstellung von Prozesssauerstoff**

Die Kohle muss vor dem Einbringen in den Vergaser getrocknet und staubfein gemahlen werden. Das verbessert den Wirkungsgrad (die Stoffausbeute) des Verfahrens, kostet aber viel Energie und bedingt den Anfall erheblicher Mengen an CO<sub>2</sub>. Hinweise zur möglichen Größenordnung für den Energiebedarf liefert die Literatur zur Aufbereitung von Braunkohle für Verbrennungszwecke. Er wird für einen trockenen und einblasfertigen Braunkohlenstaub mit 10 bis 15 kWh und mehr je Tonne Rohbraunkohle angegeben (Grothe, Hans (Hrsg.): S. 116, 1972). Des Weiteren besteht für die Flugstromvergasung ein hoher Sauerstoffbedarf. Er muss hochkonzentriert mittels einer externen Luftzerlegungsanlage erzeugt werden. Der Energieverbrauch zur Herstellung von Sauerstoff durch die Zerlegung von Luft ist hoch. Er beträgt 111,11 kWh pro Tonne Sauerstoff, soweit das gängige Niederdruckverfahren (Lindeverfahren) zum Einsatz kommt.

## **Wasserbedarf**

Die Flugstromvergasung ist mit einem großen Wasserbedarf zum Kühlen und Waschen (Reinigen) des Rohsynthesegases und zur Herstellung von Wasserstoff im Rahmen der Wassergas-Shift-Reaktion (s. Tab. 3) verbunden. In der Literatur wird für die Kohlevergasung ein Gesamtverbrauch an Wasser von 6 -12 Liter pro Kubikmeter erzeugten synthetischen Methans (SNG) angegeben (Yang, Chi-Jen und Jackson, Robert B., S. 852, 2013). Dabei dürfte die Menge vom jeweils eingesetzten Vergasungsverfahren und der Zusammensetzung der verwendeten Kohle abhängen.

Den für das gesamte Kohlevergasungsverfahren hohen Wasserbedarf belegen auch chinesische Wissenschaftler in einer Übersichtsarbeit zur jüngsten Entwicklung in China. So werden für das Fischer-Tropsch-Verfahren als Standardverbrauch 8 Tonnen Wasser pro Tonne gewonnenes Rohöl angegeben. Verbesserte technische Verfahren zur Wassereinsparung bei mehreren Projekten konnten diese Menge zwar auf 3 – 4 Tonnen Wasser pro Tonne gewonnenes Rohöl drücken, was aber immer noch einen hohen Verbrauch bedeutet (Xu, Jian et al, S. 129, 2015).

## **Luftreinhaltung, Abwasser- und Abfallentsorgung**

Bei der Flugstromvergasung entstehen große Mengen an gesundheits- und umweltgefährdenden **Abgasen** (darunter Schwefelwasserstoff und Kohlenoxidsulfid) und **Stäuben**, die aufwendige technische Maßnahmen zur Luftreinhaltung notwendig machen. Zudem bereitet bei Kohle das gefährliche **Quecksilber** große Probleme (Greenpeace, 2015). Hierfür fehlen bislang strenge Abgasgrenzwerte. Immissionschutzrechtlich strenge Grenzwerte fehlen bislang auch für Feinstäube. Besondere Sorgen bereiten toxikologisch bei den Feinstäuben ultrafeine Partikel in Größenordnungen unterhalb eines Durchmessers von 0,1 Mikrometer (entspricht 0,1 Millionstel Meter). Sie sind lungengängig und können damit in den Blutkreislauf gelangen und über diesen Weg ihre gesundheitsschädlichen Wirkungen im Körper entfalten. Vor diesem Hintergrund besteht für Feinstäube insgesamt das Problem, daß gemäß derzeitigem Kenntnisstand keine Grenzwerte angegeben werden können, anhand derer langfristige Gefahren für die menschliche Gesundheit sicher ausgeschlossen werden können. Gerade Feinstäube einschließlich ultrafeinen Partikeln werden beim Vergasungsprozess in großen Mengen gebildet. Hierfür fehlen hochwirksame Abgasreinigungstechniken. Die bislang zur Reinigung des Synthesegases eingesetzten Venturi-Wäscher reichen dafür nicht. Technische Maßnahmen zur Abscheidung stehen allerdings vor einem grundsätzlichen Problem: Je kleiner die Partikel sind, desto weniger

können sie abgeschieden werden. Sollten hierfür keine technischen Lösungen gefunden werden, dann wäre auch dies ein Grund, warum die Vergasungstechnologie nicht weiter verfolgt werden sollte.

Zudem fallen **Abfälle** in beträchtlichen Mengen als Schlacken an. Für die ebenfalls in großer Menge anfallenden **Abwässer** sind aufwendige Maßnahmen zur Abwasserreinigung notwendig.

### **Abwärme**

Durch die hohen Temperaturen bei der Vergasung von Braunkohle fallen große Mengen an Abwärme an, die bisher an die Umgebungsluft abgegeben und nicht genutzt werden. Es findet damit Energievernichtung in großem Stil statt. Bislang unterbleibt aber mit Blick auf Gewinneinbußen eine Nutzung der Abwärme. Als Begründung werden anhaltend niedrige Preise für fossile Energieträger genannt, die die hohen Kosten nicht rechtfertigen würden (Schroeter, Stefan, S. 2, 2012). Sollte keine Abwärmenutzung stattfinden, dann wäre dies ein weiterer Grund, gegen die Vergasungstechnologie Stellung zu beziehen.

## 5. Das Greenwashing-Konzept zur chemischen und energetischen Verwertung von Braunkohle

Im vorherigen Kapitel ist deutlich geworden, dass sich mit der Vergasung von Braunkohle nur relativ geringe Mengen an nutzbaren Stoffen gewinnen lassen. Zugleich entstehen große Mengen an Kohlendioxid im Verfahrensablauf. Es gibt Möglichkeiten, das zu ändern. Sie bestehen darin, das Vergasungsverfahren mit erneuerbaren Energien und Stoffen zu verknüpfen. Zugleich kann und wird damit geworben für mehr gesellschaftspolitische Akzeptanz zur weiteren Nutzung von Braunkohle.

Nach Angaben von Siemens wie auch der TU Bergakademie Freiberg ist es langfristig möglich, durch Integration von erneuerbaren Energien in den Gesamtprozess der Vergasung von Braunkohle den gesamten Ausstoß von Kohlendioxid bis 90 Prozent und mehr zu senken (Hannemann, Frank, S.11, 2015; Meyer, Bernd, Folie 6, 2015). Dabei wird die chemische/stoffliche Verwertung mit der energetischen Verwertung von Kohle, d. h. der Verbrennung, verglichen. Im Folgenden sollen diese Reduktionsmöglichkeiten anhand **von zwei Punkten** anlagen- und stoffbezogen einer **kritischen Betrachtung** unterzogen werden:

### 1. Prozessoptimierung und Gesamtmenge CO<sub>2</sub>

Im Rahmen des Gesamtverfahrens der konventionell betriebenen Braunkohlevergasung entstehen – wie bereits erwähnt - an mehreren Stellen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Neben der Trocknung von Braunkohle entstehen bedeutsame CO<sub>2</sub>-Mengen bei der externen Luftzerlegungsanlage und dann die weitaus größte Menge an CO<sub>2</sub> bei der Wassergas-Shift-Reaktion. Hier wird ein Großteil des Kohlenstoffvorrats der Braunkohle dazu verbraucht, Wasserstoff herzustellen für nachfolgende Synthesen von Brenn-/Treibstoffen oder Grundstoffen für die chemische Industrie. Während sich also ein Großteil des Kohlenstoffvorrats als CO<sub>2</sub> am Anlagenstandort - nachdem er sozusagen seine Pflicht und Schuldigkeit getan hat - in Luft auflöst, wird nur ein kleinerer Teil in tatsächlich nutzbare Stoffe umgewandelt. Im Vergleich zur Verbrennung entsteht – folgt man den Angaben von Prof. Dr. Meyer am Beispiel von Methanol - unter optimierten Bedingungen des Verfahrens am Anlagenstandort nur ungefähr die Hälfte an CO<sub>2</sub>. Dabei wird allerdings außer Acht gelassen, dass aus den gewonnenen nutzbaren Stoffen andernorts zeitverzögert wieder CO<sub>2</sub> entsteht, egal ob sie am Ende ihres Lebensweges nun verrotten oder verbrannt werden. Ein

Beispiel sind Brenn- und Treibstoffe wie Methanol (das zugleich – wie erwähnt - ein stofflich wichtiger Ausgangsstoff zur Herstellung vieler Chemikalien ist), bei deren Verbrennung CO<sub>2</sub> entsteht. Insgesamt bleibt die Gesamtmenge an freigesetztem CO<sub>2</sub> – sieht man von den CO<sub>2</sub>-Emissionen der Luftzerlegung ab - gleich, sie wird nur auf verschiedene Entstehungsorte verteilt.

## **2. Verknüpfung mit erneuerbaren Energien**

Verknüpft man nun die Braunkohlevergasung mit erneuerbaren Energien, dann lassen sich am Anlagenstandort die CO<sub>2</sub>-Emissionen noch einmal kräftig senken. Dafür gibt es zwei wichtige Stellschrauben. Das ist zum einen die erwähnte externe Luftzerlegungsanlage, die mit fossil erzeugtem Strom betrieben wird und Sauerstoff aus der erneuerbaren Ressource Luft für den Prozessschritt der Kohlevergasung liefert. Zum anderen ist es die ebenfalls bereits erwähnte Wassergas-Shift-Reaktion mit ihren großen CO<sub>2</sub>-Mengen. Abhilfe für das CO<sub>2</sub> ist auf verschiedene Weise möglich. Zum einen lässt sich die Luftzerlegungsanlage mit Öko-Strom betreiben und damit erneuerbaren Sauerstoff gewinnen. Zum anderen ist der Einsatz einer Wasserelektrolyseanlage möglich, die ebenfalls mit erneuerbarem Strom betrieben wird. Dabei entsteht aus der erneuerbaren Ressource Wasser erneuerbarer Sauerstoff und Wasserstoff. Der gebildete Sauerstoff kann dann die Luftzerlegungsanlage überflüssig machen. Der gebildete Wasserstoff ersetzt die Herstellung von Wasserstoff im Rahmen der Wassergas-Shift-Reaktion. Der hierfür ansonsten als CO<sub>2</sub> in Luft aufgelöste Kohlenstoffvorrat der Braunkohle steht nun für die Herstellung von zusätzlichen kohlenstoffhaltigen Produkten zur Verfügung. Dadurch erhöht sich nach Angaben von Prof. Dr. Meyer beispielsweise die Produktausbeute von Methanol fast um das Doppelte. Mit erneuerbarem Wasserstoff wird der Kohlenstoffvorrat der Braunkohle also besser ausgeschöpft und damit die Stoffausbeute erhöht. Gleichzeitig können die Kohlevorräte effizienter ausgebeutet und ggf. über längere Zeiträume genutzt werden.

Verfahrensbedingt entsteht am Anlagenstandort aufgrund der Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff nur noch wenig CO<sub>2</sub>, der größte Teil entsteht andernorts und zeitverzögert aus den gewonnenen, nutzbaren Stoffen am Ende ihres Lebensweges. Insgesamt ist deshalb die Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen – selbst wenn man die Luftzerlegungsanlage mit Ökostrom betreibt – nicht derart hoch, dass man, wie behauptet wird, von einer CO<sub>2</sub>-armen Kohlenutzung sprechen kann.



Allerdings wird dieser Verfahrensweg teuer erkaufte. Denn die dafür notwendige, regenerativ erzeugte Energie bekommt niemand geschenkt. Die Versorgung großtechnischer Vergasungsanlagen mit Strom sowie notwendigem Bedarf an Sauerstoff für den Vergasungsprozess und Wasserstoff zum Ersatz der Wassergas-Shift-Stufe erfordern sehr große Energiemengen. Ihre Herstellung ist auch mit Kosten, Ressourcennutzung sowie einem Umwelt- und Landschaftsverbrauch verbunden. Außerdem behindern solche energieintensiven Verfahren die dringend notwendige Dekarbonisierung von Energie- und Wärmeerzeugung sowie Mobilität in den kommenden Jahrzehnten und ziehen sie ggf. zeitlich nur in die Länge. Ohnehin dürften die dafür notwendigen Energiemengen in den nächsten Jahrzehnten kaum zur Verfügung stehen. Zudem sollten sie auch nicht solchen Zwecken dienen. Letztlich bedeutet das Konzept die weitere Nutzung fossiler Rohstoffe auf effizienterer Grundlage unter Verschwendung erneuerbarer Energien und Stoffe. Zugleich befestigt es alle übrigen Probleme, die mit der Nutzung von Braunkohle einhergehen. Insgesamt kann man deshalb mit Fug und Recht von einem **Greenwashing** der Braunkohle sprechen.

Im Übrigen ändert sich durch den Austausch von fossil gegen erneuerbar erzeugten Strom auf der stofflichen Ebene, d. h. Zusammensetzung der Kohlenwasserstoffe auf Ebene der Moleküle, nichts. Das Herstellungsverfahren nutzt – ob nun konventionell oder mit erneuerbaren Energien betrieben – wie bisher erneuerbare Ressourcen (Wasser und ggf. Luft für den Sauerstoffbedarf) für die Bereitstellung der notwendigen Stoffe Wasserstoff und Sauerstoff. Deshalb liefert das Vergasungsverfahren samt Synthesestufe weiter Kohlenstoffverbindungen, deren Kohlenstoffgerüst aus fossilem Kohlenstoff besteht und deren Wasserstoff- und Sauerstoffanteile einen Mix aus fossiler und erneuerbarer Herkunft bilden. Solche Hybrid-Stoffe können nicht als CO<sub>2</sub>-neutral eingestuft werden. Von daher spricht auch niemand von einer CO<sub>2</sub>-Neutralität der erzeugten Produkte.

## **6. Verbaute Zukunft – ein Konzept zur Braunkohlenutzung für die Lausitz**

Angesichts lange schon anhaltender Auseinandersetzungen um Abbau und Verbrennung von Braunkohle ist in der Lausitz am 16. März 2015 ein weitreichender Vorschlag für ein Konzept zur chemischen und energetischen Verwertung von Braunkohle unterbreitet worden (Energieallianz Deutschland, 2015). Die Möglichkeit dafür bot ein Vortrag des eingangs bereits erwähnten Beratungs- und Planungsunternehmens Faktor-i<sup>3</sup> vor der regionalen Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald. Inhaltlich folgt das Konzept einer Ausarbeitung der Siemens AG. Fachlich besteht ein Grundkonsens mit der TU Bergakademie Freiberg/Sachsen. Das Konzept lässt sich auch auf andere Braunkohleregionen übertragen.

### **Konzeptgrundlagen und Folgen für den CO<sub>2</sub>-Ausstoß**

Im Mittelpunkt des Konzepts zur stofflichen Verwertung von Braunkohle steht die vorstehend bereits näher vorgestellte Flugstromvergaser-Technologie der Siemens AG (Energieallianz Deutschland, Vortrag Folie 8, 2015). Insgesamt handelt es sich um eine „flexible und umweltverträgliche“ Braunkohlenutzung auf lange Sicht für die Lausitz. Danach nimmt die ausschließliche Förderung von Braunkohle zur Energieerzeugung immer mehr ab und läuft bis ungefähr 2050 aus. Ab ca. 2021 wird Braunkohle zunehmend stofflich in Chemieanlagen verwertet. Ergänzend öffnen sich neue Geschäftsmöglichkeiten durch Ausbau und Nutzung erneuerbarer Energien mit entsprechenden Anlagen. Langfristig sollen – und das ist entscheidend - für die Energie- und Stoffproduktion fossile und erneuerbare Stoffe wie Wasserstoff und Sauerstoff zu einem integrierten („intermodalen“) Gesamtsystem miteinander verflochten werden. Die Vorteile des Konzepts liegen, so das Beratungsunternehmen, in „hoher Flexibilität durch SNG- und Stromproduktion (Spitzenlast, Mittellast, Grundlast), Energiespeicherung und Wärmebereitstellung sowie die Möglichkeit der Rohstoffproduktion“. Künstlich hergestelltes Methan (SNG) kann sowohl in das Erdgasnetz eingespeist als auch in einem GUD-Kraftwerk verbrannt werden zur Bereitstellung von Strom und Wärme. Die Chemieproduktion erstreckt sich sukzessive und auf lange Sicht von SNG über Methanol, Ammoniak und Wasserstoff bis hin zu Olefinen (Alkenen). Erneuerbare Energie wird zunehmend zur Herstellung von Wasserstoff und Sauerstoff eingesetzt, die beide verschiedenen Verwendungszwecken zugeführt werden können. Das geschieht anhand von in großem Stil betriebenen Anlagen zur Wasserelektrolyse und soll „großtechnisch zur Netzentlastung und Senkung von Netzausbaukosten“ beitragen.

Für die Wasserelektrolyse kann Überschussstrom verwendet werden. Soweit aber erneuerbarer Wasserstoff und Sauerstoff für den Prozess der Kohlevergasung eingesetzt werden und sowohl Luftzerlegung als auch Wassergas-Shift-Reaktion ersetzen sollen, dann ist das mit Überschussstrom nicht mehr zu machen. Das gilt umso mehr, soweit darüber hinaus längerfristig die Vergasungsanlage für Beheizungszwecke etc. mit erneuerbarem Strom versorgt werden soll. Große Vergasungsanlagen bzw. Anlagenparks sind auf kontinuierlichen Regelbetrieb ausgelegt und bedürfen entsprechender Versorgung mit Energie und Stoffen.

Dem Konzept zufolge sinken in der Lausitz die freigesetzten CO<sub>2</sub>-Mengen von heute (2015) ungefähr 46 Millionen Tonnen auf ungefähr 8 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahre 2055. Diese Absenkung wird vor allem erreichbar sein über einen nach und nach verringerten Braunkohleabbau zur Stromerzeugung und weniger Braunkohle für die stoffliche Verwertung. Hinzu kommen dürfte längerfristig auch der Ersatz von Luftzerlegung und Wassergas-Shift-Reaktion mittels Sauerstoff und Wasserstoff für den Vergasungsprozess, die beide dann aus der mit Öko-Strom betriebenen Wasserelektrolyse stammen. Gerade durch letzteres wird (s. dazu Kap. 5 Pkt 2) die Stoffausbeute im Rahmen der Kohlevergasung erhöht, weil damit erheblichen Anteile des Kohlenstoffvorrats der Braunkohle in Produkte umgewandelt werden können und nicht als CO<sub>2</sub> am Anlagenstandort in die Atmosphäre entweichen. Die Produkte setzen dann aber an anderer Stelle bei Verbrennung und Entsorgung wieder CO<sub>2</sub> frei.

### **Hoher Stromverbrauch für großtechnische Wasserelektrolyse**

Im Zusammenhang mit dem großtechnischen Einsatz der Wasserelektrolyse ist darauf hinzuweisen, dass der energetische Wirkungsgrad der Elektrolyse von Wasser bei ca. 70% liegt und sie zudem viel erneuerbaren Strom verbraucht. Näherungsweise werden – ausgenommen die Hochtemperatur-Elektrolyse – 50 kWh Strom gebraucht, um aus neun Litern Wasser ein Kilogramm Wasserstoff zu gewinnen. Ein Kilogramm Wasserstoff enthält 33,3 kWh an chemisch gebundener Energie. Die restliche Energie geht fast ganz in Wärme über und ist möglichst umfassend zu nutzen. Außerdem benötigt die Wasser-Elektrolyse deionisiertes (vollentsalztes) Wasser, für dessen Herstellung ebenfalls - wenn auch deutlich weniger - Energie notwendig ist (Bimboes, Detlef, S. 12, 2014). Insgesamt wird für die Wasser-Elektrolyse viel erneuerbare Energie verschwendet für fossile Vergasungszwecke. Sie sollte sinnvollerem Zwecken vorbehalten bleiben.

## **Rosige Aussichten als Einstiegsdroge für die Kohlechemie**

Folgt man den konzeptionellen Überlegungen der Fa. Faktor-i<sup>3</sup> und von Siemens, dann können dem Konzept nach mit den hergestellten Stoffen Chemie- und Treibstoffmarkt, Erdgas-/Strom- und Wärmenetze versorgt werden. Zudem rechnet sich der Umbau in Richtung auf die chemische Verwertung von Braunkohle in der Lausitz bereits heute schon wirtschaftlich zu Teilen. Die Wertschöpfung steigt beträchtlich bis 2050 und die Anzahl der Arbeitsplätze bleibt nahezu gleich. Besondere Bedeutung wird anhand wirtschaftlicher Abschätzungen der Schaffung einer strategischen Methanreserve durch regionale Methangasproduktion (s. Kap. 3) beigemessen.

Doch die rosigen Aussichten könnten auf längere Sicht wieder trüberen weichen. Denn wenn erst einmal ein Einstieg in die Braunkohlechemie gefunden ist, dann dürften längerfristig – soweit die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen gegeben und Absatzmärkte für die Produkte gefunden sind – Vergasung und stoffliche Verwertung von Braunkohle erst richtig an Fahrt aufnehmen. Dann werden die Braunkohlevorräte so umfassend und profitabel wie möglich genutzt. Damit bleiben - ob Braunkohle nun energetisch oder stofflich genutzt wird - nicht nur die Umweltprobleme, sondern auch der Ressourcen- und Landschaftsverbrauch auf Dauer gleich. Das trägt weiter zur Verschärfung des Klimawandels bei und schafft regional Arbeitsplätze, die deshalb und der weiteren genannten Probleme wegen sehr bald wieder gefährdet sein werden.

## **Standort Jänschwalde – Methangasproduktion und Ressourcenverbrauch**

Dem Konzept zufolge sollen am Standort Jänschwalde 16 965 GWh Methan (SNG) hergestellt werden. Die auf den ersten Blick verheißungsvoll große Gasmenge schrumpft – rechnet man sie um – auf 1,70 Milliarden Kubikmeter und damit näherungsweise auf bescheidene zwei Prozent am Gesamtverbrauch für Erdgas auf dem deutschen Gasmarkt. Dieser lag nach Angaben des Bundeswirtschaftsministeriums im Jahre 2014 bei rund 85 Milliarden Kubikmeter Erdgas. Demgegenüber müssen für diese bescheidene Gasmenge große Mengen an Rohbraunkohle abgebaggert werden. Angaben des Beratungsunternehmens zufolge lassen sich aus einer Tonne Rohbraunkohle 1,52 MWh Gas gewinnen. Legt man für „Gas“ Methan (SNG) zugrunde, dann müssten bezogen auf eine Gesamtmenge von 16 965 GWh Methan dafür rund 11 Millionen Tonnen Rohbraunkohle abgebaggert werden. Zusätzlich wären große Mengen an Grundwasser ungenutzt in Gewässer einzuleiten.

Der Gesamtwasserbedarf für den Vergasungsprozess bewegt sich - legt man erwähnte chinesische Angaben zugrunde - in einem Bereich zwischen 10 bis 20 Millionen Tonnen. Das ist – legt man einen aktuellen Tagesverbrauch von 121 Liter Trinkwasser pro Person zugrunde – ein Trinkwasserverbrauch, mit dem täglich zwischen rund 83 Millionen bis 165 Millionen Personen versorgt werden können. Damit ragt der Verbrauch in Bereiche hinein, die weit über dem Tagesverbrauch der gesamten Bevölkerung Deutschlands liegen.

Groß sind auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen am Anlagenstandort, soweit noch nicht Luftzerlegung und Wassergas-Shift-Reaktion durch erneuerbaren Sauerstoff und Wasserstoff ersetzt sind.

Im Übrigen sind, verwendet man aus Braunkohle hergestelltes Methan als Kraftstoff für Autos, so sind die Treibhausgasemissionen immer noch doppelt so hoch, als von Fahrzeugen, die mit Benzin betrieben werden (Yang, Chi-Jen and Jackson, Robert B., S. 852, 2013).

## 7. Chemieproduktion – Erdöl und Erdgas effizienter als Kohle

**Erdöl** setzt sich aus einem Gemisch von vielen verschiedenen kurz - bis langkettigen und ringförmigen Kohlenwasserstoffen zusammen (näheres dazu siehe Kap. Begriffe).

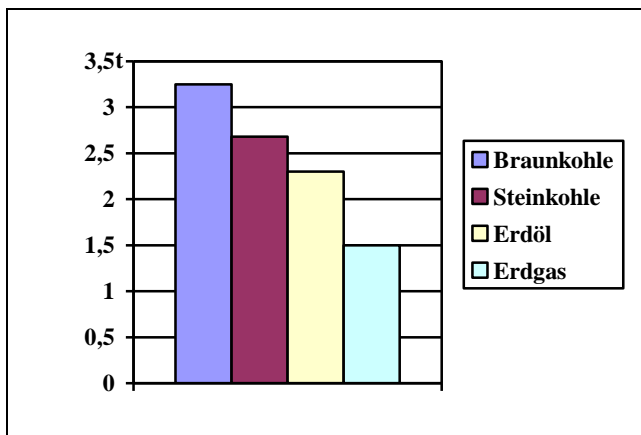
Gegenüber Kohle besitzt **Erdöl zwei Vorteile:**

1. Zum einen besteht ein günstiges Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis. So beträgt bei der Kohle das molare Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenstoff etwa 1:1, bei Erdöl etwa 2:1 und bei Erdgas 4:1 (Haenel, S. 2, 2008). Weil bei Kohle weniger Wasserstoff am Verbrennungsvorgang teilnehmen kann, entsteht übrigens auch prozentual mehr CO<sub>2</sub> als bei Öl oder Gas. Der Wasserstoff reagiert mit Sauerstoff zu Wasserdampf.
2. Zum anderen besitzt Erdöl bereits vorgebildete Kohlenstoffgerüste (sozusagen bereits von der Natur vorgefertigte Rohlinge, Näheres dazu siehe unter Begriff Erdöl) für gewünschte, chemische Produkte. Überdies fehlen dem Erdöl die Huminstoffe, die für Kohle charakteristisch sind und für dessen chemische Verwertung so viel mehr an Energie aufgewendet werden muss. All das zusammen macht Erdöl zu einem hervorragenden Rohstoff für die Organische Chemie. Dadurch werden Veredlungswege, d. h. aufwendige Herstellungswege für gewünschte Produkte, erheblich abgekürzt. In Westdeutschland wurde deshalb beispielsweise schon früh die Kohleverflüssigung zur Herstellung von synthetischem Benzin aufgegeben. In der DDR wurde sie aufgrund der schwierigeren Rohstoffsituation erst Anfang der 1970er Jahre endgültig aufgegeben.

Vom derzeitigen globalen Erdölverbrauch von ca. 4 Milliarden Tonnen/Jahr – umgerechnet ungefähr 3,4 Milliarden Tonnen Kohlenstoff – wird das meiste für Kraft- und Brennstoffe verbraucht. Die Chemische Industrie benötigt davon lediglich ungefähr 0,3 Milliarden Tonnen Erdöl/Jahr. Erdöl sollte deshalb nicht länger im bisherigen Umfang für die Herstellung von Kraft- und Brennstoffen verschwendet werden. Es sollte noch so lange dem Chemiesektor zur Verfügung stehen, bis wichtige Stoffe auch ohne fossiles Erdöl mit möglichst geringem Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-neutral hergestellt werden können. Es ist längst überfällig, den gesamten Verkehrsbereich durchgreifend energiesparsamer zu gestalten. Inzwischen gehen allein über 60 Prozent des täglich weltweit verbrauchten Erdöls auf das Konto des globalen Personen- und Gütertransports. Insgesamt dienen weniger Verbrauch an fossilen Energieträgern und ein Ausbau erneuerbarer Energien nicht nur dem Klimaschutz, sondern sorgen auch für weniger Spannungen auf dem Globus und dienen damit dem Frieden.

## Synthesegas aus Erdgas vorteilhafter als aus Kohle

**Erdgas** hat als Brennstoff von allen fossilen Energieträgern die geringsten spezifischen Emissionen an CO<sub>2</sub> (s. Abb. 5). Dieser Vorteil gewinnt noch an Gewicht, wenn man sich die Bilanz aller Emissionen entlang der gesamten Vorkette (Förderung, Aufbereitung und Transport) anschaut. Erdgas bildet deshalb die geeignetste Brücke in das Solarzeitalter. Es spielt auch im Bereich der Chemieproduktion schon lange eine wichtige Rolle. So lässt sich Synthesegas sehr viel billiger aus Erdgas als aus Kohle herstellen. Dabei entsteht je nach Prozessführung auch eine Menge an CO<sub>2</sub>. Allerdings muss das Methan - der Hauptbestandteil von Erdgas – dafür nicht erst mit viel energetischem und technischem Aufwand aus Kohle erzeugt werden. Haupteinsatzgebiete sind die Herstellung von Wasserstoff für den Bedarf von Raffinerien und zur Produktion von Ammoniak für Düngemittel sowie von Methanol. Das Methanol ist ein vielfältig nutzbarer Stoff und – wie bereits erwähnt – Ausgangsstoff zur Herstellung vieler wichtiger Chemikalien, darunter Ethylen und Propylen.



**Abb. 5: CO<sub>2</sub>-Emissionen fossiler Brennstoffe pro verbrannter Tonne SKE** (Quelle Bund, 2015)

Ungefähr im Jahre 2013 ist es einem Konzernverbund um die BASF herum samt beteiligten Wissenschaftseinrichtungen (Linde, ThyssenKrupp und HTE, der TU Dortmund sowie dem VDEh Betriebsforschungs-Institut Düsseldorf) gelungen, bei der Herstellung von Synthesegas aus Erdgas die Bildung von CO<sub>2</sub> um 50 Prozent zu verringern (CHEManager-online.com, 2013). Das ist ein bemerkenswerter Erfolg und auch deshalb interessant, weil die Chemische

Industrie schon seit längerem im Zusammenhang mit dem anrückenden Rohstoffwandel das Methan ins Visier für effiziente Stoffumwandlungsprozesse genommen hat.

### **Chemische Industrie setzt weltweit auf breitere Rohstoffbasis**

In der Chemischen Industrie wird seit längerem über eine breitere Rohstoffbasis nachgedacht. Bislang beruht die Herstellung von Grundchemikalien im Wesentlichen auf Erdöl. Dessen Vorräte neigen sich (s. Kap. 7) absehbar dem Ende zu. Deshalb ist nicht nur Erdgas, sondern sind inzwischen auch Fracking-Gas, Kohle und Biomasse ins Visier der Chemiewirtschaft geraten. Dazu dürften künftig auch Methanhydrate aus der Tiefsee gehören. Den Schlüssel zur Gewinnung von Stoffen aus diesen Rohstoffen bildet Synthesegas, denn wie eingangs dargelegt, lassen sich daraus alle wichtigen Grundchemikalien und eine darauf aufbauende Stoffvielfalt herstellen. Deshalb wächst seit einigen Jahren rund um den Globus das Interesse an Vergasungsverfahren mit unterschiedlichen Rohstoffen (Geipel-Kern, Anke, 2011).

In den **USA** profitieren vom Boom der Förderung von Fracking-Gas (Hauptbestandteil ist Methan) und dem damit einhergehenden Verfall der Erdgaspreise die Hersteller von Grundchemikalien und die Düngemittelindustrie (Geipel-Kern, Anke; Back, Matthias, 2014). Inzwischen mehren sich kritische Stimmen, wonach die Fördermengen bereits 2020 ihren Höhepunkt erreichen und danach abnehmen (Inman, Mason, 2015). Das Fracking-Gas in den USA wird zumeist in Tiefen von etwa 2000 Metern gewonnen und erreicht eine CO<sub>2</sub>-Qualität wie Steinkohle, wenn man die gesamte Vorkette (Förderung incl. Bohrung mit Dieselmotorkraftstoff, Aufbereitung und Transport) in die Bilanz einbezieht (Öko-Institut und IINAS, Tab. 13, 2012). Das Methan aus dem Fracking-Gas wird zur Herstellung von Wasserstoff für Ammoniak verwendet und aus dem Nebenbestandteil – dem Ethan - wird Ethylen hergestellt. Ethylen wird überwiegend zur Herstellung des Kunststoffes Polyethylen gebraucht. Die Herstellung von Ethylen aus Ethan anstatt aus der Leichtbenzinfraction des Erdöls (Naphtha) ist insgesamt (Rohstoff, Anlageninvestitionen und Betrieb) viel kostengünstiger. Die USA sind hier deshalb im Vorteil, weil dort schon lange in großer Zahl Produktionsanlagen (Cracker) auf Basis von Erdgas statt mit Naphtha betrieben werden. Für Ethylen zeichnen sich inzwischen Überkapazitäten auf den Märkten ab, die Prognosen zufolge besonders europäische Hersteller treffen und zum Abbau von Produktionskapazitäten führen dürften. Neben den USA stellen der Mittlere Osten und China große Mengen dieses Grundstoffes her.



**China** treibt massiv die stoffliche Nutzung von Kohle anhand von Vergasung und Verflüssigung voran (Geipel-Kern, Anke, 2014). Eine entscheidende Ursache ist dafür stark wachsender Bedarf an Kunststoffen auf der Basis von Polyethylen und Polypropylen. Insbesondere für Propylen als Ausgangsstoff für Polypropylen bestehen weltweit seit einer ganzen Reihe von Jahren schon zu geringe Produktionskapazitäten, die auf den Märkten zu Knappheiten führen und für höhere Preise sorgen. Deshalb setzt China hier zur Herstellung auf Kohle, um unabhängiger von Importen zu werden. Zugleich konzentriert sich das Land auch auf die Herstellung weiterer Stoffe aus Kohle, darunter Treibstoffe und Methanol. Aus Methanol kann in großtechnischem Maßstab Propylen gewonnen werden. Ein dafür geeignetes Verfahren wurde ursprünglich von der Fa. Lurgi zur Vergasung von Erdgas und nicht von Kohle entwickelt. Fa. Lurgi ist vor einigen Jahren von dem französischen Konzern Air Liquide E & C Solutions übernommen worden und lief dort bis 2014 noch unter eigenem Namen. Der Konzern Air Liquide hat inzwischen diesbezüglich Anlagen nach China verkauft und gilt weltweit als Marktführer. Neben bislang noch Siemens stellen weitere Firmen wie ThyssenKrupp Uhde oder Shell Kohlevergaser her und bieten sie auf dem Markt an.

### **Breitere Rohstoffbasis vertieft Ressourcenraubbau**

Die Herstellung chemischer Produkte auf erweiterter fossiler Grundlage – aber auch auf Basis von Biomasse – treibt den hemmungslosen Raubbau von Ressourcen im Interesse des Profits voran. Er untergräbt nicht nur den Klimaschutz, sondern verschärft zugleich die Umweltprobleme. Beides wird, wenn sich nichts ändert, wie bisher schon in der langen Geschichte der Ressourcennutzung nach dem alten Motto bezahlt: Privatisierung der Gewinne und Sozialisierung der Verluste (s. Kap. 3). Ein möglicher Einsatz von Biomasse in großem Maßstab für die Chemieproduktion entzieht nicht nur wertvolle Agrarflächen für eine wachsende Weltbevölkerung, sondern ist auch mit dem Einsatz großer Mengen an chemisch hergestellten Stickstoffdüngemitteln und vielfach Pestiziden verbunden. Ohne eine radikale, absolute Absenkung von fossilen Stoff- und Energieverbräuchen und einen gleichzeitig breiten Übergang zu erneuerbaren Energien und Stoffen wird es keine tragfähigen Wege in die Zukunft geben. Zukunftsfähig ist ein solcher Entwicklungspfad aber auch nur dann, wenn er von einem sparsamen Verbrauch an Ressourcen begleitet ist. Er verträgt sich nicht mit profitgetriebenem Wirtschaftswachstum, wo Erfolge bei der Einsparung von Ressourcen bald wieder durch den vermehrten Absatz der produzierten Güter auf den Märkten aufgezehrt („rebound-Effekt“) werden.

## **Chemie ohne fossile Rohstoffe**

Die hergestellte Gesamtmenge an wichtigen Grundchemikalien inklusive Olefinen umfasste – wie bereits eingangs dargelegt - in Deutschland im Jahre 2013 rd. 14,2 Mio. t/a. Alternativ kann diese Gesamtmenge theoretisch auch aus rd. 46 Mio. t Kohlendioxid hergestellt werden. Das ist deutlich weniger als die Braunkohlekraftwerke Jänschwalde, Schwarze Pumpe und Boxberg jährlich an Kohlendioxid ausstoßen. Zusammen kommen sie auf rd. 56 Mio. Tonnen/Jahr. Erste Möglichkeiten für eine Chemie ohne Kohle, Erdöl und Erdgas unter Nutzung von CO<sub>2</sub> zeichnen sich mit Power-to-Gas und Power-to-Liquid ab. Weitere Entwicklungen deuten sich an. Für einen breiten Durchbruch werden allerdings erst in fernerer Zukunft die notwendigen, weiteren technischen, wirtschaftlichen und energetischen Voraussetzungen heranreifen müssen.

## **8. Regionalentwicklung ohne Braunkohle**

Ein lokaler Umbau der Braunkohleregionen ist nur sinnvoll, wenn er in eine großräumige sozial-ökologische Regional- und Strukturpolitik mit zukunftsfähigen Arbeitsplätzen eingebettet wird. Nur dann ist langfristig eine wirtschaftlich selbsttragende regionale Entwicklung und Verzahnung von Wirtschaftsbereichen möglich. Mit Blick auf den Schutz des Klimas und künftig sichere Arbeitsplätze kommt nicht nur dem Ausbau erneuerbarer Energien Bedeutung zu, sondern vor allem dem Thema Energieeinsparung zur raschen Absenkung von Treibhausgasen. Hier liegen große, bislang vernachlässigte Potentiale brach für den Einsatz und die Entwicklung energieeffizienterer Technologien.

### **Regionale Handlungsschwerpunkte**

Handlungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Energiewirtschaft, Wärme und Verkehr und durchdringen damit alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft. Zahlreiche Möglichkeiten bestehen, den Verbrauch von Energie und Treibstoffen und damit den Ausstoß von Treibhausgasen massiv zu senken. Stichworte sind u. a. von Power-to-Heat, eine vermehrte Nutzung von Umgebungswärme (bodennahe Geothermie), sinnvolle Gebäudedämmung, energiesparende Heizungsanlagentechnik und Abwärmenutzung oder die Verwendung weniger Energie verbrauchender Motoren, Pumpen, Ventilatoren etc. Zusätzliche Potentiale ergeben sich durch eine effizientere Bewirtschaftung von eingesetzten Materialien. Im Rahmen eines notwendigen Ausbaus des ÖPNV ist der zunächst vorrangige Einsatz batteriebetriebener Busse in Ballungsräumen zugleich ein wirksamer Beitrag, gesundheitsgefährdende Fein- und Feinststäube zu vermeiden.

Darüber hinaus lässt sich auch in den Bereichen Abfall und Abwasser sowie Landwirtschaft, Forsten und Landnutzung ein ganzes Bündel von Maßnahmen zur wirksamen Minderung von Treibhausgasen erschließen. Statt Braunkohle mit einem Aufwand von vielen Milliarden zu neuen Kunststoffen und anderen Chemikalien zu verarbeiten, sollte man das Geld lieber in bessere Recycling-Technologien stecken, die verhindern, dass Anlagen für neue Kunststoffe und andere Chemikalien gebaut werden müssen. Das ist der beste Weg, um möglichst rasch das bestehende System des Downcycling (minderwertigen Verwertungswegen) auszutrocknen.

Das Power-to-Gas-Verfahren sollte anhand von Demonstrationsanlagen erprobt und verbessert werden. Anlagen sollten bevorzugt an Standorten betrieben werden, wo CO<sub>2</sub> prozessbedingt zwangsläufig anfällt und nicht vermieden, sondern nur vermindert werden kann. Beispiele dafür sind Zementanlagen, Kalkbrennereien, Ziegeleien, Hüttenwerke oder Vergärungsanlagen wie Kläranlagen, Biogasanlagen und Brauereien.

Für die Braunkohlereviere in NRW und der Lausitz sollte auch über das Projekt eines großen Pumpspeicherwerks in Form eines Ringwallspeichers nachgedacht werden, das viele Jahre Arbeit für die im Braunkohleabbau Beschäftigten schaffen würde (Popp, Matthias, 2014). Solche Ringwallspeicher können in Gebieten angelegt werden, die für klassische Pumpspeicherwerke nicht in Frage kommen. Mit Schaufelradbaggern wird ein Unterbecken ausgehoben und mit dem Aushub ein Oberbecken geschaffen, das innen abgedichtet wird. Die so entstandene Anlage kann dann wie ein Pumpspeicherwerk mit Wind- und Solarenergie betrieben werden. Sie kann in verschiedenen Größenordnungen realisiert werden.

### **Diskussions- und Entscheidungsprozesse demokratisch vor Ort gestalten**

Vor diesem Hintergrund wird vorgeschlagen, dass seitens der Landespolitik in den betroffenen Bundesländern ein Diskussions- und Entscheidungsprozess in Gang gesetzt und finanziert wird, an dem alle in Frage kommenden Akteure aus Politik, Mittelstand, Handwerk, Wissenschaft und Bürgerinitiativen etc. mit ihrem großen Wissens- und Erfahrungsschatz beteiligt werden. In der Lausitz wird man sich dann auch kritisch mit dem Vorschlag von fünfzehn Bürgermeistern und Amtsdirektoren auseinandersetzen müssen, wonach u. a. eine länderübergreifende „Sonderwirtschaftszone Lausitz“ gefordert wird, in der „beispielhaft genannt“ auch eine „Kraftstofferzeugung auf Basis der Braunkohle“ stattfinden könnte (Junker, Achim et al, Thesenpapier, S. 3, 2015).

Zu solch einem demokratischen Diskussionsprozess gehört auch die Finanzierung – sofern es die Akteure vor Ort für erforderlich halten – von **Gutachten für eine Regionalentwicklung ohne Braunkohle** und in deren Mittelpunkt Arbeit, Umwelt und Soziales stehen. Sie sollten – gerade auch mit Blick auf Interessensverflechtungen - an politisch unabhängige wissenschaftliche Institute vergeben werden. So hat beispielsweise das IÖW bereits solche Arbeiten – wenn auch noch nicht für alle Bereiche erneuerbarer Energien und der Regionalpolitik - im Auftrag von Greenpeace für die Lausitz durchgeführt (Greenpeace, 2015).

## 9. Literatur

Bimboes, Detlef: Signale postfossiler Moderne, Berlin 2014;

Blum, Ulrich im Interview „Es gab den Aufbau Ost, aber kein zweites Wirtschaftswunder“, in: Berliner Zeitung Nr. 265, Sonderbeilage Wirtschaft 5.1, S. 2 vom 13.11.2015;

BUND-NRW: Braunkohle und Klima, [http://www.bund-nrw.de/themen\\_und\\_projekte/braunkohle/braunkohle\\_und\\_umwelt/braunkohle\\_und\\_klima/](http://www.bund-nrw.de/themen_und_projekte/braunkohle/braunkohle_und_umwelt/braunkohle_und_klima/);  
Abruf: 11.05.15;

CHEManager-online.com: Umweltschonende Herstellung von Synthesegas aus Kohlendioxid und Wasserstoff, <http://www.chemanager-online.com/themen/energie-umwelt/umweltschonende-herstellung-von-synthesegas-aus-kohlendioxid-und-wasserstoff/>;  
Abruf: 26.04.2015;

DKTZ – Deutsches Kohlenstofftransformationszentrum:  
<http://www.kohlenstoffzentrum.de/index.php>; Abruf: 26.11.2015;

Energieallianz Deutschland: Vortrag Regionale Planungsgemeinschaft Lausitz-Spreewald, Luckau, den 16.03.2015), in: [http://www.region-lausitz-spreewald.de/visioncontent/mediendatenbank/2015-03-16\\_vortrag\\_ead-faktor\\_i3.pdf](http://www.region-lausitz-spreewald.de/visioncontent/mediendatenbank/2015-03-16_vortrag_ead-faktor_i3.pdf); Abruf: 02.05.2015;

Energieregion Lausitz GmbH: Energieregion konzentriert Forschung zum Kohlenstoff, Pressemitteilung S.1 vom 17.08.2015;

Faktor-i<sup>3</sup> GmbH I Energiekonzepte und Beratung: Eröffnung des DKTZ (Deutsches Kohlenstofftransformationszentrum), in: <http://www.faktor-i3.de/index.php/aktuelles2/53-dktz>; Abruf: 26.11.2015;

Falkenhain, Monika; Falkenhain, Gerd: Kraftstoffe aus Kohle – ein Weg aus der Abhängigkeit?, in: bergbau Nr. 12, S. 536 – 537, 2005;

Geipel-Kern, Anke: Die Rückkehr der Dinosaurier – Synthesegas feiert ein Comeback, Beitrag vom 07.03.2011; in:  
[http://www.process.vogel.de/anlagenbau\\_engineering/articles/304432/](http://www.process.vogel.de/anlagenbau_engineering/articles/304432/); Abruf: 19.10.2015;

Geipel-Kern; Back, Matthias: Verursacht der Schiefergas-Boom in den USA eine Ethylenkrise in Europa? , Beitrag vom 23.09.2014, in:  
[http://www.process.vogel.de/anlagenbau\\_engineering/articles/460408/](http://www.process.vogel.de/anlagenbau_engineering/articles/460408/); Abruf: 19.10.2015;

Geipel-Kern, Anke: Wer profitiert vom Kohleboom in China?, Beitrag vom 21.11.2014, in:  
[http://www.process.vogel.de/anlagenbau\\_engineering/articles/467668/](http://www.process.vogel.de/anlagenbau_engineering/articles/467668/); Abruf: 19.10.2015;

Greenpeace: Quecksilber: Die unterschätzte Gefahr – Gesundheitliche Folgen des giftigen Schwermetalls; Sachstandsanalyse aus toxikologischer Sicht, Hamburg, Mai 2015;

Greenpeace: Vattenfalls Chance – Eine Zukunft für die Lausitz ohne Braunkohle, Hamburg , April 2015, in:

<http://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/vattenfalls-chance-roadmap-150424.pdf>; Abruf: 26.08.2015;

Greenpeace: Gesellschaftliche Kosten der Braunkohle, S. 2, Hamburg, November 2015;

Grothe, Hans (Hrsg.): Lueger Lexikon der Technik, Bd 44, Bergbau 1, S. 116, Rowohlt Taschenbuchverlag, Reinbek 1972;

Haenel, Prof. Dr. Matthias W.: Beim Thema Kohle sollten wir die Forschung reaktivieren, nicht die Vorurteile kultivieren, Interview vom 24.08.2008, <http://www.braunkohle-forum.de/69-0-Prof--Dr--Matthias-W--Haenel.html>; Abruf: 05.07.2015;

Handelsblatt: Wissenschaftler mahnt zu kühlem Kopf, Interview mit Prof. Dr. Bernd Meyer (TU Bergakademie Freiberg/Sachsen) am 17.03.2014, in:

<http://www.handelsblatt.com/politik/international/bernd-meyer-zur-krim-krise-wissenschaftler-mahnt-zu-kuehlem-kopf/9626332.html> ; Abruf: 24.09.2015;

Hannemann, Frank: Siemens Fuel Gasification Technology – Stoffliche Nutzung der Braunkohle, Vortrag am 11. März 2015 auf dem Symposium „CO<sub>2</sub>-arme stoffliche Nutzung von Braunkohle – eine Perspektive mit Zukunft“, TUB Freiberg/Sachsen 2015;

Hartmann, Klaus: Risiken und Chancen der Renaissance „vergessener“ Technologien (am Beispiel fossiler Kohlenstoffträger), in: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin Nr. 112, S. 43 – 50, 2011;

ibi: Innovative Braunkohlen Integration in Mitteldeutschland, <http://ibi-wachstumskern.de/tl/index.php/startseite.html>; Abruf: 08.05.2015;

ibi Fachsymposium, TP 6 Braunkohlevergasung und Folgeprodukte, S. 18, 21.10. 2011,

Leuna, [http://ibi-wachstumskern.de/tl/tl\\_files/PDF/symposium-2011/ibi%2026\\_10\\_11%20final%20rev3.pdf](http://ibi-wachstumskern.de/tl/tl_files/PDF/symposium-2011/ibi%2026_10_11%20final%20rev3.pdf) ; Abruf: 22.10.2015;

Inman, Mason: Fracking: Fragliche Schätze, Spektrum der Wissenschaften vom 20.01.2015, [http://www.spektrum.de/news/fracking-gibt-es-genug-schiefergas/1328459?\\_druck=1](http://www.spektrum.de/news/fracking-gibt-es-genug-schiefergas/1328459?_druck=1); Abruf: 30.10.2015;

Institut für Umweltanalyse Projekt GmbH: Gutachterliche Untersuchung zu Fragen der technischen und wirtschaftlichen Alternativen zur CO-Pipeline – Abschlussbericht, S. 48, Bielefeld, Januar 2014;

Junker, Achim et al.: Offener Brief „Strukturwandel in der Lausitz“ vom 13.10.2015, Anlage Thesenpapier S. 3, in: <http://www.weisswasser.de/aktuelles/offener-brief-strukturwandel-der-lausitz>; Abruf: 20.10.2015;

Landtag NRW: Enquetekommission zur Zukunft der Chemischen Industrie in Nordrhein-Westfalen im Hinblick auf Nachhaltige Rohstoffbasen, Produkte und Produktionsverfahren, Abschlussbericht, Düsseldorf, April 2015;

Meyer, Bernd (TU Bergakademie Freiberg): Strategiepapier – CO<sub>2</sub>-freie stofflich-energetische Kohlenutzung – die CO<sub>2</sub>-freie Alternative zur Kohleverbrennung für das Nacherdöl-Zeitalter, Freiberg Januar 2011, in: Anlage zu Antworten zum Fragenkatalog zur Anhörung von Sachverständigen durch die Enquetekommission II „Rohstoffsituation – Schwerpunkt Rohstoffeffizienz und Rohstoffsubstitution“ am 20. September 2013 im Landtag des Landes NRW,

<http://www.landtag.nrw.de/portal/WWW/dokumentenarchiv/Dokument?Id=MMST16%2F1062110>; Abruf: 22.05. 2015;

Meyer, Bernd (TU Bergakademie Freiberg): Forschungs- und Entwicklungsbedarf für eine CO<sub>2</sub> arme Kohlechemie, Vortrag auf Symposium: CO<sub>2</sub> – arme stoffliche Nutzung von Braunkohle – eine Perspektive mit Zukunft! , 11. März 2015, Freiberg;

Öko-Institut und IINAS: Energie- und Klimabilanz von Erdgas aus unkonventionellen Lagerstätten im Vergleich zu anderen Energiequellen – Endbericht zum Gutachten, Darmstadt, Mai 2012;

Popp, Matthias: Ringwallspeicher und geotechnische Speichersysteme, Vortrag am 15. November 2014 auf Konferenz zur Speicherung erneuerbarer Energien in den nördlichen Bundesländern; Veranstalter: Ökologische Plattform bei der Partei DIE LINKE, MAFZ Erlebnispark Paaren; in: <http://www.poppware.de/Veranstaltungen/Matthias%20Popp%20-%20Ringwallspeicher%20und%20geotechnische%20Speichersysteme%20-%20Oekologische%20Plattform%20-%20Brandenburg%20Glien%20-%202015.11.2014.pdf>; Abruf: 23.08.15;

Schroeter, Stefan: Synthesegas aus Kohle: Treibhausgase sinnvoll nutzen, Beitrag vom 08.06. 2012, in: <http://www.ingenieur.de/Branchen/Rohstoffindustrie/Synthesegas-Kohle-Treibhausgase-sinnvoll-nutzen>; Abruf: 26.11.2012;

Schroeter, Stefan: Ein Baukasten für die stoffliche Nutzung von Braunkohle, Beitrag vom 09.07.2013, in: <http://www.ingenieur.de/Themen/Rohstoffe/Ein-Baukasten-fuer-stoffliche-Nutzung-Braunkohle>; Abruf: 08.05.2015;

Senz, Christoph: Unkonventionelles Öl – die Lösung für Peak Oil? Teil 4: Kohleverflüssigung (CtL), Beitrag vom 28.06.2012, in: <http://www.peak-oil.com/2012/06/unkonventionelles-ol-die-losung-fur-peak-oil-teil-4-kohleverflussigung-ctl/>; Abruf: 08.11.2015;

- Siemens AG: Siemens Flugstromvergaser, in: <http://www.energy.siemens.com/hq/de/fossile-stromerzeugung/flugstromvergaser/>; Abruf: 02.05.2015;
- Siemens AG: Siemens Fuel Gasification Technology, Erlangen 2012;
- Staatskanzlei Sachsen-Anhalt: Braunkohlegipfel in Leuna beschließt gemeinsame Erklärung: Braunkohle für nachhaltige Energie- und Grundstoffversorgung unverzichtbar, Pressemitteilung Nr. 081/2012 vom 27.02.2012;
- Stoye, Sven (Siemens AG): Das SFG Vergasungsverfahren als Basistechnologie der Stoffverwertung und IGCC Lösung mit CO<sub>2</sub> Abscheidung, Folie 9, Vortrag Fachsymposium am 26.02.- 27.02.2009 in Freiberg/Sachsen;
- Vallentin, Daniel: Kohleverflüssigung – Chancen und Grenzen, in: Praxis der Naturwissenschaften – Chemie in der Schule, Heft 1/58, 2009; Nachdruck beim Gesamtverband Steinkohle e. V. unter: <http://www.gvst.de/site/bildungsmedien/Kohleheft.pdf>; Abruf: 08.11.2015;
- Xu, Jian; Yang, Yong; Li, Yong-Wang: Recent development in converting coal to clean fuels in China, in: Fuel 152, S. 122 – 130, 2015;
- Yang, Chi-Jen; Jackson, Robert B.: China's synthetic natural gas revolution, Commentary in: Nature Climate Change, Vol. 3, S. 852 – 854, Oktober 2013, in: <http://people.duke.edu/~cy42/sng.pdf>; Abruf: 15.08.2015;



## 10. Begriffe, Abkürzungen, Einheiten

### Begriffe

#### Braunkohle

Braunkohle ist über viele Jahrtausende aus der Biomasse von abgestorbenen Pflanzen entstanden, meist aus Holz. Dessen hochvernetztes Gerüstsubstantz - das Lignin (es gibt der Pflanze notwendige Stabilität) - widerstand über die Zeit dem chemischen und bakteriellen Abbau durch Bakterien am besten. Man geht deshalb ganz allgemein davon aus, dass die organische Substanz von Kohle ganz überwiegend aus Lignin entstanden ist. Durch fortschreitende Inkohlungsprozesse (stoffliche Umbildungsprozesse unter fast vollständigem Sauerstoffabschluss) wurden die Ligninstrukturen durch geochemische Reaktionen über lange Zeiträume weiter verändert zu ebenfalls hochvernetzten und hochmolekularen sog. Huminstoffen. Letztlich setzt sich Braunkohle aus einem Bitumenanteil (vor allem Harze und Wachse) sowie aus Huminstoffen zusammen. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, warum die Kohlevergasung mit viel Energie (hohe Temperaturen) und mit viel Sauerstoff durchgeführt werden muss. Nur auf diesem Wege lassen sich die hochmolekularen Inhaltsstoffe der Braunkohle in kleine Bausteine (Kohlenstoffmonoxid) zerlegen, aus denen dann mit Wasserstoff unter entsprechenden Bedingungen gewünschte chemische Stoffe hergestellt werden können.

#### Erdöl

Erdöl ist meist maritimen Ursprungs, entstanden aus abgestorbenen Kleinstlebewesen wie Plankton, die sich im Meer absenkten, von Sedimentschichten überlagert und in Gesteine eingebunden wurden. Unter Luftabschluss und unter Mithilfe von anaeroben Bakterien wurde dann aus dieser Biomasse eine Fülle von Stoffen gebildet. Erdöl setzt sich deshalb aus einem Gemisch vieler verschiedener kurz - bis langkettiger und ringförmiger Kohlenwasserstoffe zusammen. Sie besitzen ein günstiges Kohlenstoff-Wasserstoff-Verhältnis und stellen bereits vorgebildete Kohlenstoffgerüste (sozusagen bereits von der Natur vorgefertigte Rohlinge) für gewünschte, chemische Produkte dar. Beides macht Erdöl zu einem hervorragenden Rohstoff für die Organische Chemie. Zudem fehlen dem Erdöl die Huminstoffe, die für Kohle charakteristisch sind und für dessen chemische Verwertung so viel mehr an Energie aufgewendet werden muss. Der Grund liegt darin, dass die oben genannten Kleinstlebewesen kein Stützgerüst aus Lignin brauchen.

#### Fracking

„Fracking“ ist eine Abkürzung für den englischen Begriff „hydraulic fracturing“, zu Deutsch das Aufbrechen von Gestein mittels eingepresster Flüssigkeiten. Das Fracking-Verfahren dient insbesondere zur Gewinnung von Kohlenwasserstoffen wie Öl und Gas aus sog. unkonventionellen Lagerstätten. Mit Blick auf die unkonventionelle Erdgasförderung unterscheidet man Shale Gas (Schiefergas in dichten Tongesteinen), Kohleflözgas bzw.

Grubengas (Coalbed Methane) und Tightgas (Erdgas in dichten Sand- oder Kalksteinformationen). Die Zusammensetzung des Fracking-Gases variiert je nach Lagerstätte. Hauptbestandteil ist Methan, bedeutsame Nebenbestandteile sind Ethan und Propan.

### **Methan**

Methan ( $\text{CH}_4$ ) ist ein energiereicher Kohlenwasserstoff (Primärenergieträger). Es dient vorwiegend zur Energiegewinnung und ist Ausgangsprodukt für wichtige technische Synthesen in der chemischen Industrie. Methan ist der Hauptbestandteil von Erdgas (zwischen 85 - 98 %). Biogas besteht überwiegend aus Methan (etwa 60 %) und Kohlenstoffdioxid (etwa 35 %). Methan ist ein wesentlich stärkeres Treibhausgas als Kohlendioxid.

### **Steinkohleeinheit (SKE)**

Fossile Energieträger kann man am besten vergleichen, wenn man eine gemeinsame Bezugsgröße wählt. Als Maßeinheit hierfür dient die Steinkohleeinheit. 1 kg SKE entspricht der Energiemenge, die beim Verbrennen von 1 kg Steinkohle frei wird (BUND, 2015).

### **Wasserstoff**

Wasserstoff (H) ist das chemische Element mit der geringsten Atommasse. Er ist Bestandteil des Wassers ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und beinahe aller organischen Verbindungen. Wasserstoff muss aus seinen Verbindungen mit viel Energie herausgelöst werden und liefert daher maximal so viel Energie, wie vorher für seine Erzeugung aufgewendet wurde, was aber in der Realität allerdings nur ein Teil davon ist. Wasserstoff ist somit keine Energiequelle, sondern ein Energiespeicher (sog. Sekundärenergie), den man speichern und transportieren kann.

## Abkürzungen

a	Jahr
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CH <sub>4</sub>	Methan
Gew.-%	Gewichtsprozent
H <sub>2</sub>	Wasserstoff
H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
Nm <sup>3</sup>	Normkubikmeter
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
SKE	Steinkohleeinheiten

## Einheiten

Barrel	Fass Erdöl	(1 Fass = 159 Liter)
GJ	Gigajoule	(10 <sup>9</sup> Milliarden Joule)
Gt	Gigatonne	(10 <sup>9</sup> Tonnen)
GW	Gigawatt	(1 GW = 10 <sup>9</sup> Watt)
GWh	Gigawattstunde	(1 GWh = 3,6 TJ)
g	Gramm	(1g = 1000 Milligramm)
kg	Kilogramm	(1kg = 1000 g)
kJ	Kilojoule	(1 kJ = 10 <sup>3</sup> Joule)
kW	Kilowatt	(1kW = 10 <sup>3</sup> Watt)
kWh	Kilowattstunde	(1 kWh = 3,6 MJ)
MJ	Megajoule	(10 <sup>6</sup> Millionen Joule)
MW	Megawatt	(1MW = 10 <sup>6</sup> Watt)
MWh	Megawattstunde	(1 MWh = 3,6 GJ)
PJ	Petajoule	(10 <sup>15</sup> Billionen Joule)
t	Tonne	(10 <sup>3</sup> kg)
TJ	Terajoule	(10 <sup>12</sup> Billionen Joule)
TWh	Terawattstunde	(1 TWh = 3,6 PJ)
W	Watt	(1 W = 1 Joule pro Sekunde)
Wh	Wattstunde	(1 Wh = 3,6 kJ)

Bearbeitungsschluss: 30.12.2015

**Verfasser:** Dr. Detlef Bimboes, Mitglied der Ökologischen Plattform bei der Partei DIE LINKE