

Chancen heutiger Energiekonzepte im Jahr 2030
WS 06/07
(Grundlagen wissenschaftliches Arbeiten)

Simon Kamaryt, Max Schmidt, Jan ..., Sinan Teske

31. Januar 2007

Inhaltsverzeichnis

Abstract

In dieser Abhandlung soll dem Leser ein Überblick über die Entwicklung des globalen Energiebedarfs im bis Mitte des 21. Jahrhunderts verschafft und ihm die Möglichkeit gegeben werden einen Vergleich zur aktuellen Situation nachzuvollziehen. Dabei sollen ihm die Ziele und allgemeinen Anforderungen an die Energieversorgung anhand von 4 Beispielen verdeutlicht und der zukünftige Einsatz dieser Konzepte in der globalen Energieversorgung beurteilt werden.

1 Einleitung

- Abschmelzen von Gletschern und Polareis, die längeren Sommer und das vordringen von Insekten und Pflanzen in Richtung der Pole Zeichen für die von Menschen verursachte Erderwärmung?

- Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung hat den bisherigen Trend bis 2050 hochgerechnet: Allein in Deutschland würden die volkswirtschaftlichen Schäden des Klimawandels sich dann auf 137 Milliarden belaufen. Als Gegenmittel müssten die Treibhausgasemissionen drastisch - um 60 bis 80 Prozent bis 2100 - gesenkt werden, so die Klimaexperten des Intergovernmental Panel of Climate Change. Die im Kyoto-Protokoll bis 2012 vereinbarten fünf Prozent weltweit sind da nur ein bescheidener Anfang.

[http : //www.ipp.mpg.de/ippcms/ep/ausgaben/ep200404/editorial.html](http://www.ipp.mpg.de/ippcms/ep/ausgaben/ep200404/editorial.html)

- Klimaforschungspolitik Kyotoprotokoll

[http : //www.ipp.mpg.de/ippcms/ep/ausgaben/ep200404/0404_kyoto.html](http://www.ipp.mpg.de/ippcms/ep/ausgaben/ep200404/0404_kyoto.html)

2 Einblick in die Entwicklungsprognosen

Zur Sicherung der künftigen Energieversorgung sind kontinuierliche Forschung und Entwicklung sowie frühzeitige Weichenstellungen und Investitionen erforderlich. Deshalb sind nationale und internationale Behörden und Organisationen, wie auch Unternehmen der Energiewirtschaft daran interessiert mit Hilfe von Prognosen und Szenarien mögliche und wahrscheinliche Entwicklungen der Energiemärkte zu analysieren. Eine Reihe von Institutionen erarbeiten eigenständige Studien zur Entwicklung der Weltenergiemärkte in den kommenden Jahrzehnten. In diesem Bericht wird überwiegend auf die jüngste Studie, der International Energy Agency (IEA), dem World Energy Outlook (WEO) vom 7. November 2006 Bezug genommen. Zur Darstellung anschaulicher Vergleiche oder bestimmter Aussagen wird zudem der World Energy Technology Outlook - H2 (WETO-H2) der Europäischen Kommission herangezogen. Die Informationen über den WEO und WETO-H2 wurden dem Energie-Fachmagazin BWK entnommen und Die Ergebnisse und Aussagen wurden nur stichprobenartig überprüft.

Der Analyse des WEO liegen zwei Szenarien zu Grunde basierend auf bestimmten Annahmen über die politische Rahmensetzung, volkswirtschaftliche Bedingungen, Bevölkerungswachstum, Energiepreise und Technologien. Das Referenzszenario (RS) berücksichtigt alle zum 7. November 2006 in Kraft gewesenen politischen Regelwerke und Maßnahmen, jedoch nicht künftig mögliche politische Initiativen. Dazu wird ein World Alternative Policy Scenario (APS) präsentiert, welcher auf verstärkte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz sowie auf den Ausbau der regenerativen Energien und der Kernenergie setzt. Dieser APS soll als Leitziel für die Regierungen verstanden werden, um den im RS drohenden Ergebnissen entgegenzuwirken.

2.1 Grundannahmen der Studie

Im folgenden Absatz werden die Grundannahmen der Studie erläutert. Das Wachstum der Weltbevölkerung bis 2030 mit jährlichen Wachstumsraten von 1 Prozent und danach mit 0,5 Prozent. Die hätte ein Anwachsen der Weltbevölkerung von derzeit 6,5 Mrd. auf etwa 8 Mrd. Menschen im Jahr 2030 und auf knapp 9 Mrd. Menschen im Jahr 2050. Die Entwicklung der weltweiten Wirtschaftsleistung wird mit 3-4 Prozent Jahresdurchschnitt abgeschätzt und anschließend mit 2-3 Prozent bis 2050. Dies hätte eine Vervierfachung der gegenwärtigen Weltwirtschaftsleistung zur Folge. Der Weltmarktpreis für Öl wird mit 55 US-\$/Barrel (in 2005er US-\$) angenommen, was einem nominalen Preis von 97 US-\$entspricht.

2.2 Ergebnisse

2.3 Bewertung der Ergebnisse

Es ist zu beachten, dass die Herausgeber dieser Arbeiten politische Zwecke verfolgen. Wie zu Beginn beschrieben soll den Regierungen der Mitgliedsstaaten und wenn möglich auch anderer Staaten ein Leitfaden zur nachhaltigen Energieversorgung gegeben werden und die Ergebnisse verdeutlicht werden. Jedoch ist wie bei jeder Überzeugungsarbeit ein gewisses Maß Übertreibung bzw. Untertreibung, um eine bestimmte Ansicht zu verteidigen nicht ausgeschlossen. Deshalb könnte unter Umständen die Entwicklung der Weltenergieversorgung etwas kritischer dargestellt sein, als sie sich entwickeln wird. Die unterschiedlichen Mitgliedsstaaten und die Aussagen verschiedener Studien lassen aber auf eine objektive Einschätzung der erläuterten Prognosen hoffen.

2.4 zu lösende Probleme

- Entwicklungsländer (alle Staaten) müssen mitmachen - China vs USA

3 Formulierung der Kriterien

Auf Grund der sich zuspitzenden Rohstoffknappheit und der

4 Prozessauswahl

4.1 Wandlung von Wellenenergie

4.1.1 technische Realisation

Die Nutzung von Wasser für Energieumwandlungsanlagen besitzt seit jeher einen hohen Stellenwert in der menschlichen Geschichte. Bereits 1200 v. Chr. wurden die ersten Wasserschöpfräder erfunden[?] und zur Wandlung von kinetischer Strömungsenergie in mechanische Energie genutzt. Dies ermöglichte u.a. die Anhebung von Wasser auf ein höheres Potential sowie eine Bewässerung der Felder mit deutlichem Ersparnis an Muskelkraft. Heute wandeln Pumpspeicherwerke bei örtlich großen Höhendifferenzen die potenzielle Energie des angesammelten Wassers aus einem vorgelagerten Stausee in elektrische Energie um. Dabei wird die potenzielle Energie des Wassers durch den Höhenunterschied in kinetische Energie gewandelt und anschließend in einer Turbine entspannt. Obwohl das größte Kraftwerk der Welt ein Pumpspeicherkraftwerk in Paraguay ist, und den Strombedarf von ganz Paraguay sowie dreißig Prozent des brasilianischen Strombedarfs deckt[?], ist die Nutzung von Strömungen auf dem Festland stark limitiert. Die Gewinnung von elektrischer Energie in großer Menge bleibt auf wenige Standorte beschränkt, weswegen diese Art der Energiewandlung hier nicht betrachtet wird.

Unter Wandlung von Wellenenergie werden hier drei verschiedene Verfahren beurteilt. Dazu zählen die Nutzung eines Rampensystems oder einer Pneumatikkammer sowie die Energiewandlung durch Hydraulikzylinder.

Das Rampensystem nutzt das Prinzip eines Wellenkonzentrators. Dazu werden zwei v-förmig angeordnete Barrieren zur Mitte hin konzentriert. Die Wellen werden so verstärkt und fließen nach Überwinden der Rampe durch eine Turbine, welche durch Verbindung zu einem Generator die zugeführte Energie speichert. Das Wasser gelangt anschließend zurück ins Meer. Die Anlage kann flexibel eingesetzt werden, da sie ein schwimmendes Offshore-Kraftwerk ist. Die folgende Abbildung zeigt das Funktionsprinzip des Projekts *Wave Dragon*.

Das weltweit erste Wellenkraftwerk funktioniert nach dem OWC-Prinzip (*oscillating water column*). Dazu wird jede Welle durch Betonröhren in eine Pneumatikkammer geleitet, wobei weitere Betonröhren auf einer anderen Seite in einer so genannten Wells-Turbine enden. Durch die Ein- und Ausleitung der Wellen zirkuliert die in der Kammer enthaltene Luft und treibt so eine Turbine an. Diese kennzeichnet sich durch ein symmetrisches Flügelprofil, welches senkrecht zum Luftstrom angeordnet ist, und ist somit unabhängig von der Strömungsrichtung.

Eine weitere Möglichkeit zur Nutzung der Wellenenergie besteht in der Reihenschaltung von Modulen auf der Wasseroberfläche, welche durch bewegliche Gelenke miteinander verbunden sind. In diesen Gelenken befinden sich Hydraulikzylinder, welche durch die Relativbewegung der Module zueinander die enthaltene Hydraulikflüssigkeit in einen Ausgleichsbehälter leiten. Durch Zwischenschalten einer Turbine mit einem Generatoranschluss kann die Wellenenergie so gespeichert werden. Das System schwimmt etwa 50 – 60 m über dem Meeresboden und wird durch drei Sicherheitsleinen befestigt[?].

4.1.2 Bewertung

4.2 Kernfusion

4.2.1 Allgemein

Die nachfolgenden Erläuterungen und (Quellenverweise)

Die Kernfusion benennt das Verschmelzen von Atomkernen, z.B. von Wasserstoffatomen. Bei dieser Verschmelzung werden enorme Mengen an Energie frei, welche die Protonen und Neutronen zusammenhielt. Es ist aber schwierig die positiv geladenen Atomkerne so nah aneinander zu bringen, dass eine Verschmelzung möglich wäre. Dazu wird eine hohe Aktivierungsenergie benötigt. Dieser Prozess ist in der Natur nur bei Sternen zu beobachten. Diese besitzen durch ihre enorme Masse starke Gravitationskräfte und auf Grund dessen eine hohe Dichte. Folglich reicht eine Temperatur von ca. 10 - 15 Millionen °C aus, um eine Fusion in einem Stern am laufen zu halten.

4.2.2 technische Realisierung

Die zuvor beschriebenen thermodynamischen Bedingungen, die innerhalb eines Sternes herrschen, sind unmöglich ohne weitere technischen Maßnahmen in dieser Form auf der Erde zu realisieren. Bei diesen Temperaturen liegen die Stoffe im Zustand eines Plasmas vor. Jeder Kontakt mit der Umwelt würde zu einem sehr hohen Wärmeverlust führen und das Plasma kollabieren lassen. Um das Plasma vor dem Kontakt mit der Wand des Reaktors zu schützen werden die elektrischen Eigenschaften des Plasmas genutzt. Das heiße Plasma wird durch viele supraleitende Elektromagneten in eine Torusform gezwungen. Dieser Bautyp des Reaktors wird Tokamak genannt. Zusätzlich muss ein Längsstrom in das Plasma induziert werden, der zum einen zum Plasmaeinschluss beiträgt, zum anderen wird dieser auch als ohmsche Startheizung verwendet, da am Anfang der ohmsche Widerstand des Plasmas noch ausreichend groß ist. Bei etwa 15 Millionen °C besitzt das Plasma kaum noch Widerstand, weshalb die Heizfunktion des induzierten Stroms nicht mehr besteht.

(!!!Bild Tokamak!!!)

Die verschiedenen elektrischen Felder und der in das Plasma induzierte Strom, welcher ebenfalls ein elektromagnetisches Feld erzeugt, bewirken eine starke Verdrehung der magnetischen Feldlinien im Plasma. Eine solches Verdrillen der magnetischen Feldlinien sorgt für die Verringerung schwacher Randzonen im magnetischen Feld, durch die das Plasma sonst entweichen könnte, was eine empfindliche Abkühlung und ein Kollabieren des Plasmas zur Folge hätte. Des Weiteren sorgt diese ungeordnete Struktur der magnetischen Feldlinien für ungeordnete Teilchenbewegungen, um die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstoßes zwischen zwei Atomkernen zu erhöhen. Dass heißt es wird verhindert, dass die geladenen Teilchen sich in geordnete Bahnen einreihen.

(!!!Bild elektrisches Feld!!!)

Dem Plasma wird bis zur Zündung durch eine Startheizung für einige Sekunden eine Leistung

von 50 bis 100 MW zugeführt. Eine *Mikrowellenheizung*, eine *Neutralteilcheninjektion* und die zuvor angesprochene *ohmsche Heizung* realisieren das Aufheizen des Plasmas.

(!!! Plasmaheizverfahren beim Tokamak !!!)

Da man dem Plasma nur durch die Elektromagneten einen Druck aufprägen kann und dieser relativ gering ist, müssen in einem Fusionsreaktor höhere Temperaturen als sie in der Sonne realisiert werden. Zudem sind der geringe Druck und die geringe Dichte des Plasmas eine Maßnahme zur sicheren Prozessführung. Die Temperaturen im Plasma eines Fusionskraftwerkes betragen bis zu 150 Millionen Grad Celsius. Bei solchen Temperaturen besitzen die Atomkerne eine sehr hohe kinetische Energie, die Geschwindigkeit der Atomkerne im Plasma beträgt 1000 km / s [?], wodurch die Kraft der elektrischen Abstoßung der Kerne voneinander überwunden wird und die Kerne fusionieren. Dabei entsteht ein Helium-Kern, außerdem wird ein Neutron frei sowie große Mengen an Energie. Die freiwerdende Energie und Neutronen werden in der Reaktorwand umgewandelt.

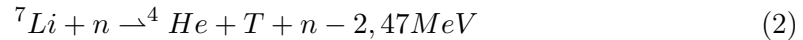
Das **Blanket**, wie die spezielle innere Auskleidung des Plasmagefäßes bezeichnet wird, erfüllt folgende drei wesentliche Funktionen:

1. Umwandlung der Neutronenenergie aus der Fusionsreaktion



in nutzbare Wärme.

2. Erbrüten des Brennstoffs Tritium durch die Kernreaktionen



und



Da die erste Reaktion aufgrund ihrer Energieschwelle wenig Beitrag leistet, wird der natürliche Anteil des ${}^6\text{Li}$ von 7,5 je nach Konzept auf 30 bis 90 Prozent angereichert.

3. Abschirmung des Vakuumgefäßes und der supraleitenden Magnete gegen Neutronen und Gamma-Strahlung, um Strahlenschäden zu minimieren. Die Hauptlast trägt jedoch eine direkt hinter dem Blanket angebrachte Abschirmung, in der die Neutronen weiter moderiert und eingefangen werden.

!!! Blanket Bild !!!

Das Blanket wird durch einen Heliumkreislauf gekühlt, da Helium den Vorteil bietet chemisch und neutronisch inert zu sein, zudem können höhere Temperaturen erreicht werden. Das Helium tritt bei einer Temperatur von ca. 300°C in die Blanketstruktur ein und bei ca. 500°C wieder aus. An den Heliumkreislauf ist ein konventioneller Dampf-Wasser-Kreislauf angeschlossen. Zusätzlich gibt es noch einen Helium-Spülkreislauf, der das im Brutmaterial

und Beryllium (Lithium-Titanoxid) erzeugte Tritium aus dem Blanket abtransportiert. Vom Spühlkreislauf wird das Tritium in das Extraktionssystem eingespeist, um es als Brennstoff mit Deuterium vermischt in das Plasma wieder einzuspeisen.

4.2.3 Brennstoff und Brennstoffkreislauf

Unter irdischen Bedingungen verschmelzen am leichtesten die beiden Wasserstoffisotope Deuterium und Tritium. Der Atomkern des Deuteriums besitzt ein zusätzliches Neutron und ist in unserer natürlichen Umgebung reichlich vorhanden. In einem Liter gewöhnlichen Wassers existieren ca. 35 mg Deuterium. Fusioniert mit Tritium entspricht es der Energiefreisetzung von 340 Litern Benzin. [?] Das Isotop Tritium besitzt zwei zusätzliche Neutronen verglichen zum elementaren Wasserstoffatom dem leichtesten Wasserstoffisotop, welches in der Fusions-technologie auch **Protium** genannt wird. Diese Bezeichnung verhindert eine Verwechslung, da der Begriff Wasserstoff häufig für seine Isotopengemische verwendet wird. Tritium besitzt eine Halbwertszeit von 12,3 Jahren und ist deshalb in der Natur praktisch nicht zu finden, kann aber im Reaktor aus Lithium gewonnen werden. Dabei zerfällt ein Lithiumatom durch Beschuss mit einem Neutron in ein Helium- und ein Tritiumatom. Die Wandlung von Lithium in Helium und Tritium innerhalb des Fusionsreaktors wird Brüten genannt und wird wie oben beschrieben im Blanket realisiert. Lithium ist in der Erdkruste und in den Weltmeeren nahezu unbegrenzt zu finden. Die Vorkommen an Deuterium und Lithium würden bei heutigem Energieverbrauch mehrere tausend Jahre die Energieversorgung sichern. (!!! QUELLE !!!) Die Prinzipien des Brennstoffkreislaufs eines Fusionsreaktors sind in Abb. !!!!! dargestellt. Der innere Brennstoffkreislauf (gelb) umfasst die Einspeisung des gasförmigen oder als gefrorenes Pellet injizierten Brennstoffgemisches, das Vakuumsystem aus Kryopumpen und mechanische Pumpen zum Abpumpen des Heliums aus der Deuterium-Tritium-Reaktion und des überschüssigen Brennstoffgemisches sowie die Tritumanlage mit den Systemen zur Gasreinigung, Isotopentrennung, Speicherung, Einspeisung und Analytik. Im äußeren Brennstoffkreislauf (blau) wird das Tritium, das im Blanket aus Lithium erbrütet wurde, durch das Helium-Spülgas extrahiert anschließend abgetrennt und in den inneren Brennstoffkreislauf eingespeist.

Etwa 20 Gramm Tritium und 13 Gramm Deuterium pro Stunde wird ein 1000 MW-Kraftwerk verbrauchen. Ein Gramm Brennstoff könnte in einem Kraftwerk 90 000 Kilowattstunden Energie erzeugen - die Verbrennungswärme von 11 Tonnen Kohle. [?]

4.2.4 Sicherheits- und Umwelteigenschaften der Fusion

Aussagen über Sicherheit und zu erwartende Umwelteinflüsse eines späteren Fusionskraftwerkes werden durch Kraftwerksentwürfe wie z.B. dem internationalen Experimentalreaktor ITER und durch schon bestehende Fusionsanlagen möglich. ITER soll eine Fusionsleistung von 500 MW haben und entspricht insofern schon einem Leistungsreaktor. Auf Grundlage dieser Projekte kann man folgende Aussagen treffen.

Keine der verwendeten Brennstoffe, weder die Edukte Deuterium und Lithium, noch das Reaktionsprodukt Helium sind radioaktiv. Im Zusammenhang mit dem im Kraftwerk erzeugten radioaktiven Tritium und den aktivierten plasmanahen Bauteilen, wie z.B. dem Blanket sind entsprechende Sicherheitsüberlegungen nötig. Die Intensität dieser Aktivierung hängt sehr

stark von dem Aktivierungspotential der verwendeten Materialien zusammen. Tritium ist als der energetisch schwächste bekannte Beta-Strahler mit einer maximalen Energie 18,6 Kilo-elektronenvolt bekannt. Die größtmögliche Reichweite der Strahlung in atmosphärischer Luft beträgt 6 mm und ist zu schwach um menschliche Haut zu durchdringen.

Die Menge an natürlichem Tritium, welches durch die Höhenstrahlung entsteht, wird auf 7 kg geschätzt. Die EU ordnet Tritium als niedrig radiotoxisch. Im Ökosystem verdünnt sich Tritium schnell und kann Landstriche nicht für längere Zeit kontaminieren. In einem Fusionskraftwerk ist ein Unfall mit katastrophalen Folgen unmöglich. Die Brennstoffmenge in der Plasmakammer ist mit etwa einem Gramm sehr gering und reicht für eine Brenndauer von ca. einer Minute. Die Leistungsdichte im Plasma und im Blanket beträgt etwa drei bis zwanzig Watt pro Kubikzentimeter, dies entspricht in etwa der Leistungsdichte einer normalen Glühbirne. Zudem sind Kettenreaktionen oder ähmliche Leistungssteigerungen, die zu einem Durchgehen der Reaktion führen könnten, nicht möglich, denn jede Änderung der Betriebsbedingungen erzeugen Plasma instabilitäten, welche den Brennvorgang sehr schnell zum Erlöschen bringen. Die Nachwärme bei einem Ausfall der Kühlsysteme reicht nicht zum Schmelzen ganzer Bauteile. Folglich kann ein Fusionskraftwerk so konstruiert werden, dass keine Energiequellen existieren, die die Sicherheitshülle von innen zerstören könnten.

-ultrahochvakuum um austreten von Tritium zu minimieren. Verunreinigungen zu verringern.

-

4.2.5 Kosten

4.3 Biomasse als Ersatz von fossilen Rohstoffen

4.1 Kohle ist einer der wichtigsten fossilen Energieträger mit einer Förderungsrate von 4.629.000 tausend Tonnen/Jahr weltweit. Der Anteil von Kohle an der Stromerzeugung ist mit ca. 39 Prozent weltweit relativ groß. In Europa liegt er bei ca. 38 Prozent. Laut IEA wird der Bedarf bis 2030 auf bis zu 79 Prozent weltweit ansteigen.

Auch die Industrie hat heute, zum Beispiel für die Produktion von Stahl, einen hohen Bedarf an hochqualitativem Kohlenstoff, welcher momentan noch mit einem Anteil von 16 Prozent der weltweiten Förderung von Kohle gedeckt wird. Da die erwiesenen Kohlenreserven bei gleichbleibenden Förderungsraten für ca. 200 Jahre reichen werden nimmt Kohle als Energieträger und Kohlenstofflieferant gegenüber Erdöl eine wichtige Rolle ein.

Die hinter der Inkohlung stehenden chemischen und physikalischen Wandlungsprozesse, also die Umwandlung von Biomasse in Kohlenstoff, sind auch heute noch nicht vollständig geklärt. Das Ergebnis ist ein komplexes Gemisch aus teils hochpolymeren Stoffen. Im Verlaufe längerer Zeiträume, unter Luftabschluss und hohem Sedimentdruck, kommt es in Folge von Huminsäurebildung zur Polymerisation und zur Senkung des pH-Wertes und aus lignozellulöser Biomasse, wie Pflanzenresten, entsteht zunächst Torf. Die mikrobiologischen und chemischen Prozesse, die zur Inkohlung führen, bezeichnet man gemeinhin als Ver torfung. Im weiteren Gefolge bilden sich dann Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit und eventuell Grafit mit Kohlenstoffanteilen von je 70 Prozent - 100 Prozent. Während dieses Inkohlungsprozesses

werden die Moleküle völlig umgebaut, so dass die molekularen Ausgangsstrukturen verloren gehen. Es verflüchtigen sich die Anteile von Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff, so dass der Kohlenstoffgehalt zum Schluss auf nahezu 100 Prozent(Grafit) ansteigen kann.

4.4 Verfahren zum Ersatz von Kohle als Kohlenstofflieferant

4.4.1 Hydrothermale Karbonisierung

Es ist nun Markus Antonietti, Direktor am Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam, gelungen den Inkohlungsprozess im Labor nachzuvollziehen und somit Kohlenstoff aus Biomasse, im Versuch waren dies Gartenabfälle wie Eichenlaub, Tannennadeln, Holzstückchen und Pinienzapfen, zu gewinnen. In einem Druckkessel werden Biomasse, Wasser und Zitronensäure($C_6H_8O_7$) als Katalysator unter luftabschluß und hohem Druck auf ca. 180 Grad Celsius erhitzt und 12 Stunden lang gekocht. Nach dem Abkühlen findet man einen schwarzen Schlamm, welcher aus feinstverteilten Kohlenstoffpartikeln und Wasser besteht. Da es sich hierbei um eine exotherme Reaktion handelt wird sogar noch Wärme frei welche genutzt werden kann. Mittlerweile ist es möglich den Inkohlungsprozess so einzustellen, dass alle Vorstufen von Kohle also auch Mutterboden, Torf, und andere, erzeugt werden können. Der Reifegrad dieses Verfahrens ist wohl schon sehr hoch ein zu schätzen. Eine Umsetzung im industriellen Maßstab scheint sehr bald möglich zu sein.

Ein Vorteil der selbst gemachten Kohle ist dass sie den Kohlendioxid-Haushalt nicht weiter belastet, da nur soviel CO_2 freigesetzt wird wie die Pflanzen, welche zur Gewinnung genutzt wurden, vorher aus der Luft aufgenommen haben. Sie lässt sich aus jeder Art von Biomasse erzeugen, also z.B.: aus Stroh, Holzabfällen, Gartenabfällen. Das jetzt gefundene Verfahren kann also dazu dienen Kohle zur Energiegewinnung und Synthese von Polymeren zu erzeugen ohne das weiter die Kohlevorkommen in der Erde ausgebeutet werden müssen. Der Kohlenstoffschlamm kann auch in einer neuartigen Brennstoffzelle, welche sich momentan auch im Max-Planck-Institut für Kolloid- und Grenzflächenforschung in Potsdam in der Erprobungsphase befindet, direkt in Strom umgewandelt werden.

Die folgende Abbildung [1] zeigt eine Übersicht über die Möglichkeiten die in der Nutzung von Biomasse stecken.

4.4.2 Umwandlung von Kohlenstoff in Kraftstoffe und Energie

Da Kohlenstoff nur die Grundlage beziehungsweise den Rohstoff für eine Vielzahl an Anwendungen darstellt, sind dadurch weitere Verfahren nötig um die gewünschten Produkte zu erzeugen. Aus einigen dieser Verfahren, zum Beispiel dem Bergius-Pier-Verfahren oder dem Fischer-Tropsch-Verfahren, erhält man flüssige Endprodukte. Dies sind so genannte CtL, also Coal to Liquide-Verfahren, bei welchen Benzin, Diesel, Heizöl und Aromaten für die chem. Industrie erzeugt werden. Beim Bergius-Pier-Verfahren wird Kohle (C) mit Wasserstoff (H_2) in einer exothermen Reaktion in Kohlenwasserstoffe umgewandelt. Beim Fischer-Tropsch-Verfahren wird die Kohle erst mit Wasserdampf und Luft in ein Synthesegas umgesetzt wird. Als weiteres Endprodukt erhält man hierbei noch Wasser. Die CtL sind in Ländern ohne

eigene Ölproduktion interessante Alternativen zur Kraftstoffgewinnung. Allein schon aus politischen Aspekten ist eine Unabhängigkeit von Öl als Energielieferant zweckmäßig. Südafrika deckt heute, bedingt durch die Ölembargos während der Apartheid, immer noch einen Großteil seines petrochemischen Kraftstoffbedarfs mit Hilfe des Fischer-Tropsch-Verfahrens. Aktuelle Anlagen erreichen einen Umsatz von 4 Kilogramm Holz zu 1 Liter Kraftstoff. Es ist für 2009 eine Anlage mit einer Produktion von 200.000 Tonnen pro Jahr geplant. Es sind verschiedenste Kraftstoffe möglich wobei Diesel den Schwerpunkt bildet.

Eine weitere Möglichkeit zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffen sind die BtL, so genannte Biomass to Liquide-Verfahren. Bei diesen wird Biomasse durch einen Vergasungsprozess zu kohlenstoffhaltigen Verbindungen umgesetzt und kann dann wie bei den CtL in Kraftstoffe und Produkte für die chemische Industrie weiterverarbeitet werden. Schätzungen zufolge soll sich auf einem Hektar Ackerland soviel Biomasse anbauen lassen, dass daraus jährlich ca. 4000 Liter BtL-Kraftstoff hergestellt werden können. Mit Hilfe bestehender Anlagen lassen sich jährlich 50000 Tonnen Bioabfälle in 25000 Tonnen Kohlenstoff umsetzen.

Bei dem in der folgenden Abbildung [2] gezeigten Biomassevergasungsverfahren wird aus Holzabfällen und anderer Biomasse ein Synthesegas und daraus später Biokraftstoff und elektrische Energie erzeugt. Das dargestellte Verfahren zeigt den von der deutschen Choren Industries GmbH seit 2003 in einer Pilotanlage verwendeten Prozess zur Gewinnung von Biodiesel welcher unter den Handelsnamen Biotrol, SunFuel und SunDiesel auf dem Markt ist und unter anderem von DaimlerChrysler und Volkswagen vertrieben wird.

Die Pyrolyse ist ein BtL-Verfahren zur Gewinnung von kurzkettigen Kohlenwasserstoffen wie z.B. Ethen und Propen aus nachwachsenden Rohstoffen, durch Vergasung von Holz. Das Holz wird dabei unter Sauerstoffabschluss auf 700°C - 800°C erhitzt und somit eine Lösung der bestehenden chemischen Verbindungen im Holz bewirkt. Die Hauptbestandteile des Holzgases sind Kohlenstoffdioxid, Kohlenstoffmonooxid, Methan, Ethen, Wasserstoff und Wasserdampf, welche sich in nachgelagerten Prozessen weiter nutzen lassen. Es ist auch möglich entsprechend konzipierte Fahrzeuge mit Holzgas zu betreiben.

4.4.3 Fazit/Bewertung

- Energieträger: Kohle ist und bleibt auch weiterhin ein wichtiger Energieträger welcher uns, wie oben im Text bereits erwähnt, noch länger zur Verfügung stehen wird als Öl, bei welchem man mit einem Förderungsende in 50 - 100 Jahren rechnet. In Ländern mit großen Kohlenreserven wie zum Beispiel China, Kanada und Australien ist davon auszugehen, dass es auch bei steigendem Bedarf nicht zu Engpässen in der Energieversorgung durch Kohle kommen wird. Durch einen weltweiten Handel mit Kohle wird auch der steigende Bedarf anderer Länder gedeckt werden können.

- Standortfaktor und politische Unabhängigkeit: Wie beim Erdöl spielt der Standort bei der Kohle eine wichtige Rolle da sonst wieder eine Abhängigkeit zu Kohle fördernden Ländern entsteht. Diese Abhängigkeit lässt sich nur durch eine verstärkte Nutzung von Biomasse als Energieträger und regenerative Energiegewinnung verringern. Die Abhängigkeit von den Öl produzierenden Staaten der OPEC und anderen welche durch Absprache großen Einfluss auf den Ölpreis an den internationalen Märkten haben.

-gesicherte Energieversorgung: Es hat sich gezeigt, dass mit Kohlenstoff angereicherte Erde in Nährstoff ärmeren Regionen ertragreicher ist und Pflanzen mit höheren Energiegehalten wachsen, da der Kohlenstoff zu einer besseren Bindung der Nährstoffe an das Erdreich führt und diese nicht mehr so schnell durch Niederschläge herausgewaschen werden können. Laut WEO2004 wird der Anteil von Biokraftstoffen

-Reifefaktor und Eingliederung in bestehende Infrastruktur: Die in diesem Bericht beschriebenen Verfahren sind über das Laborstadium hinaus und zum Teil schon seit Jahren in industriellem Maßstab in Gebrauch. Die Kohleverflüssigung mit Hilfe des Ihre Effizienz lässt sich zum Beispiel wie bei der oben dargestellten Herstellung von Biotrol durch eine Kombination von Kraftstoffsynthese und Stromerzeugung beziehungsweise Fernwärme steigern.

- Wirtschaftlichkeit: Der Einsatz von aus Biomasse gewonnenen Kraftstoffen rechnet sich heute ab einem Rohölpreis von 60 US-Dollar/Barrel; einer Marke die dieses Jahr bereits überschritten wurde. Beim Fischer-Tropsch-Verfahren liegen die Preise bei 8-10 US-Dollar/GigaJoule bei einem Kohlepreis von 1 US-Dollar/GigaJoule.

- Emissionen und Sicherheit: Durch die Verwendung alternativer Energiegewinnungsverfahren wie Biomasseverkohlung, -vergasung, Geothermie und anderen ist es allerdings möglich die Abhängigkeiten von Kohle und Erdgas fördernden Staaten zu minimieren. Nachteil bei der Nutzung von Kohle als Energieträger ist allerdings der Ausstoß von CO₂ in die Atmosphäre. Die in diesem Kapitel beschriebenen Verfahren zeichnen sich allerdings, im Gegensatz zu geförderter Kohle, durch ihre CO₂-Neutralität aus. Dies bedeutet dass nur soviel CO₂ in die Atmosphäre gelangt wie vorher von den Pflanzen, welche zur Energiegewinnung genutzt werden, aus ihr entnommen wurde.

Quellen: - Focus 2/06 (Magazin der Max-Planck-Gesellschaft) - Wikipedia (06/07) - ERNEUERBARE ENERGIEN 9/2005 - www.choren.com - World Energy Outlook 2004

4.5 regenerative Energien

Literatur

- [1] www.wikipedia.de
03.12.2006
- [2] Dr.Daniel Lübbert, *Das Meer als Eneriequelle*
Info-Brief der wissenschaftlichen Dienste des deutschen Bundestages
- [3] www.wavedragon.net
07.12.2006
- [4] www.oceanpd.com
03.12.2006
- [5] <http://www.ipp.mpg.de/ippcms/de/pr/fusion21>
Stand: 12.01.2007 Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

- [6] CD-Rom „*Fusion, an Energy Option for the Future*“ EFDA - European Fusion Development Agreement
http://www.iter.org/fusioncd/fusion_en.swf
Stand: 29.09.2005