

Energieversorgung der Zukunft

Michael Beckmann und Antonio Hurtado

1.	Energiewirtschaft heute	226
2.	Rahmenbedingungen für eine künftige Energiewirtschaft	227
3.	Handlungsstrategien für die Energieversorgung der Zukunft	229
4.	Erforderliche politische Rahmenbedingungen	235
5.	Referenzen	236

Auf den Titelseiten der führenden Nachrichtenmagazine erobern Stichwörter wie *Klimawandel*, *Krise in der Geschichte der menschlichen Zivilisation und erneuerbare Energie* zunehmend die Schlagzeilen. Wir müssen oftmals erkennen, wie eine neue Lösung gleich mehrere neue Probleme schafft, für die kurze Zeit später gleich wieder eine Vielzahl von Lösungen parat ist.

Das Ganze ist zudem durch das Alles-oder-Nichts Prinzip gekennzeichnet, man kann auch sagen Schwarz-Weiss-Denken, – Abkehr von konventionellen Energieträgern, Zuwendung zu den erneuerbaren Energieträgern. Beispielsweise Fragen zur Versorgung mit Grundlastenergie, Fluktuationen vagabundierender Energien insbesondere von Solar- und Windenergie und die damit verbunden Netzprobleme werden schnell mit Lösungen wie z.B. Elektroauto und intelligente Ladevorgänge beantwortet. Eine Abschätzung u.a. des für Elektromobilität erforderlichen Kupferbedarfs macht schnell deutlich, dass aus dem Energieproblem ein Rohstoffproblem wird.

Die Entwicklung und Erprobung neuer Lösungen muss selbstverständlich weiter voran getrieben werden. Der Blick zurück zeigt, dass Ingenieure immer das Ziel der Effizienzsteigerung – Verbesserung des Wirkungsgrades, Senkung von Emissionen, Verbesserung der Wirtschaftlichkeit – als Ziel hatten. So soll es auch in Zukunft bleiben. Es müssen parallele Wege beschritten werden, in der Technikentwicklung bedeutet dies oftmals eine lange Zeit. Dementsprechend kommt die Internationale Energie-Agentur (IEA) im World Energy Outlook 2007 [2] zu einem differenzierten Bild, in dem u.a. die fossilen Energieträger bis 2030 ihre dominierende Stellung behalten, der Beitrag der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung weltweit bis 2030 auf etwa siebzehn Prozent ausgebaut sein wird und eine erweiterte Nutzung der Kernenergie befürwortet wird.

Der Grundsatz lautet weiterhin Diversifikation. Ebenso bleibt das Ziel der Effizienzsteigerung durch wissenschaftlich-technische Entwicklungen bestehen. In dem vorliegenden Beitrag werden, ausgehend von der derzeitigen Situation der

Energiewirtschaft und den gegebenen Rahmenbedingungen, Energieträger für eine sichere, wettbewerbsfähige und ökologisch unbedenkliche Energieversorgung der Zukunft diskutiert, und es wird abschließend auf notwendige politische Rahmenbedingungen eingegangen.

1. Energiewirtschaft heute

Die Energiewirtschaft muss in ihren Abhängigkeiten von dem Einsatz und der Verfügbarkeit der Primärenergieträger, dem Bedarf an Endenergie, gekoppelt mit der Entwicklung der Bevölkerung und der Wirtschaft insgesamt global betrachtet werden. Um Anforderungen an die Entwicklungen in der Energiewirtschaft ableiten zu können, sind bei der Charakterisierung des derzeitigen Standes zunächst folgende drei Fragestellungen zu betrachten:

- Welche Primärenergieträger werden eingesetzt?
- Wie hoch ist der Gesamtbedarf an Endenergie und an Primärenergieträgern?
- Wie ist der Energieeinsatz weltweit verteilt?

Darüber hinaus gibt es selbstverständlich eine Reihe weiterer wichtiger Fragen, wie z.B. nach der Reichweite, der Sicherheit bei der Förderung und der Umwandlung, der Effizienz, der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit, der politischen Rahmenbedingungen und der Akzeptanz, auf die jedoch später im Zusammenhang mit einzelnen Energieträgern einzugehen ist.

Bei der Betrachtung der gegenwärtig eingesetzten Primärenergieträger (Bild 1) zeigt sich die hohe Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, Kohle, Erdgas und Erdöl, die in den kommenden Jahrzehnten auch nicht sprunghaft abgebaut werden kann.

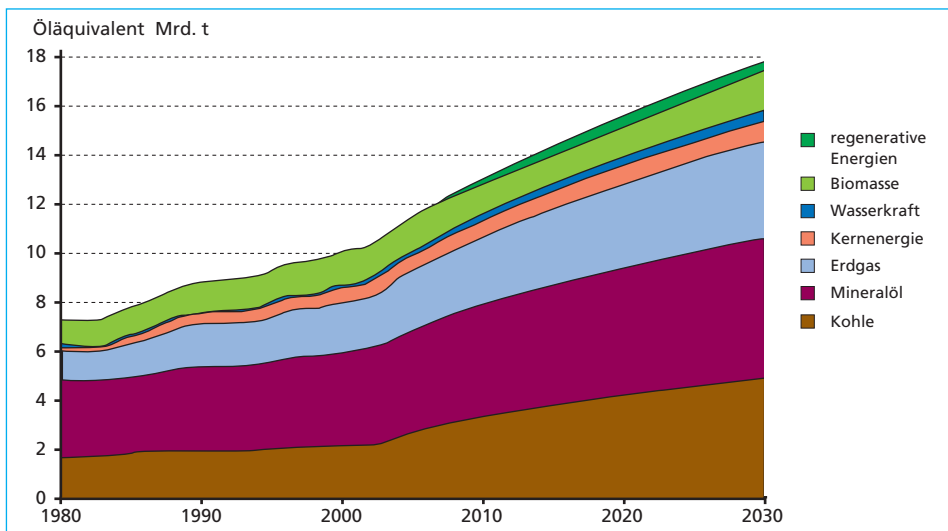


Bild 1: Entwicklung des weltweiten Primärenergieeinsatzes bis 2030

Quelle: International Energy Agency, World Energy Outlook 2007 – China and India Insights

Der Gesamtenergiebedarf weltweit an Primärenergieträgern beträgt derzeit etwa 385 EJ je Jahr. Das entspricht einem Bedarf von etwa 75 Giga Joule je Einwohner und Jahr weltweit – oder etwa 2,5 Tonnen Steinkohle je Einwohner und Jahr. Seit den sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts ist das Wachstum des Energiebedarfes vom Wachstum des Bruttoinlandsproduktes entkoppelt – so die Statistik. Inwieweit das durch Maßnahmen der Energieeffizienzsteigerung oder durch strukturelle Maßnahmen wie zunehmendes Outsourcing von Dienstleistungen aus den produzierenden Unternehmen u.dgl. bedingt ist, kann nicht genau beziffert werden. Ein deutlicher Zusammenhang ist jedoch zwischen dem Bevölkerungswachstum und dem Bedarf an Primärenergie zu erkennen.

Die Verteilung des Energieeinsatzes weltweit wird deutlich, wenn man die Daten der einzelnen Länder und Regionen untereinander vergleicht. Nordamerika und Europa mit etwa zwanzig Prozent der Weltbevölkerung beanspruchen über die Hälfte des Primärenergiebedarfes. Der Primärenergiebedarf je Einwohner und Jahr in Giga Joule beträgt in Nordamerika etwa 260, in Europa etwa 170, in Asien etwa 40 und in Afrika etwa 25 (im Vergleich Durchschnitt weltweit: 75).

Die gegenwärtige Situation der Energiewirtschaft ist zusammengefasst dadurch gekennzeichnet, dass:

- zur Deckung des Primärenergiebedarfes weltweit etwa achtzig Prozent fossile Primärenergieträger eingesetzt werden,
- der Primärenergiebedarf laufend mit der Bevölkerungszahl ansteigt,
- deutliche Unterschiede weltweit im Primärenergiebedarf je Einwohner und Jahr bestehen (Nordamerika und Europa etwa zwanzig Prozent der Bevölkerung und etwa fünfzig Prozent des Weltenergiebedarfes).

2. Rahmenbedingungen für eine künftige Energiewirtschaft

Zugang zu günstiger Energie ist mehr denn je ein wesentlicher Erfolgsfaktor für jede Volkswirtschaft. Weltweit wird eine weitere Zunahme der Bevölkerung von gegenwärtig etwa 6,9 Milliarden Menschen auf etwa 8,0 Milliarden im Jahr 2025 und etwa 9,2 Milliarden im Jahr 2050 erfolgen, womit ein entsprechender Anstieg im Energiebedarf verbunden ist. Regionen mit heute niedrigem Primärenergiebedarf je Einwohner und Jahr werden durch wirtschaftliche Expansion und steigenden Konsum darüber hinaus zum weiteren Anstieg des Energiebedarfes beitragen.

Die internationale Energieagentur prognostiziert daher bis zum Jahr 2030, d.h., in den kommenden zwanzig Jahren, einen Anstieg in der Nachfrage nach Primärenergie um etwa sechzig Prozent, der Strombedarf wird sich bis dahin gegenüber heute verdoppeln. Wesentliche Treiber für diese Entwicklung sind China, Indien, Brasilien sowie die Entwicklungsländer. Der Anteil einzelner Brennstoffe am weltweiten Primärenergiebedarf ist in Bild 1 dargestellt. In Europa wird von einem Wachstum des Primärenergie- und Strombedarfs zwischen 0,5 %

und 1,5 % ausgegangen. Die Bedeutung dieser Entwicklung kann am Beispiel des Brennstoffes Gas verdeutlicht werden: Während 2006 noch über die Hälfte des Erdgases innerhalb Europas gefördert wurde, wird sich dieser Anteil bis zum Jahr 2020 auf etwa 25 % verringern. Die restlichen 75 % müssen aus Ländern importiert werden, deren Verlässlichkeit und politische Stabilität nicht in allen Fällen gewährleistet ist.

Die Strategien für die Energieversorgung von morgen werden neben der Feststellung, dass es einen enormen Anstieg des Energiebedarfes geben wird, von weiteren Gesichtspunkten beeinflusst. Einige seien hier erwähnt:

- Zunächst liegt die Erkenntnis vor, dass, um eine sichere, stabile und preiswerte Energieversorgung gewährleisten zu können, ein schneller Ausstieg aus der fossilen Energietechnik nicht realistisch ist.
- Der Ausstoß an sogenannten Klimagasen muss unbedingt reduziert werden.
- Eine zunehmende Verknappung der Reserven von Erdöl und Erdgas wird eintreten. Diese bringt ansteigende Preise und immer höhere Risiken bei der Exploration (z.B. Ölkatastrophe durch die US-Bohrinsel *Deepwater Horizon* im Golf von Mexiko seit April 2010) mit sich.
- Erneuerbaren Energien werden in den kommenden zwanzig bis dreißig Jahren nur einen Teil zur Energieversorgung beitragen können; darüber hinaus verursachen sie erhebliche Fluktuationen in der Erzeugung.
- Infolge des noch bestehenden Ausstiegsbeschlusses für die Kernenergienutzung muss in Deutschland darüber hinaus auch die Substitution in der Stromerzeugung aus der Kernenergie betrachtet werden.

Insgesamt müssen technologische Verbesserungen, wie Wirkungsgradsteigerung, Emissionsreduzierung, Substitution von Energieträgern und Energieverteilung immer mit Akzeptanzfragen (Ideologie) betrachtet werden. Der Bau eines neuen effizienten Steinkohlekraftwerkes (Datteln, NRW) mit hohem Wirkungsgrad, d.h. mit spezifisch deutlich geringeren Kohlendioxidemissionen bezogen auf die Zielenergie – ein Schritt in die richtige Richtung für eine stabile, ökologische und preiswerte Energieversorgung – droht an ideologischen Fragen zu scheitern.

Nach dem Motto *Politisch gewünscht – technisch jedoch noch nicht ausgereift*, entwickelt sich unterstützt durch Subventionen eine Industrie von regenerativen Energieumwandlungsanlagen. Dass regenerative Energien hohen Fluktuationen unterliegen und heute bereits regional erhebliche Probleme der Netzstabilität hervorrufen, ist bekannt (z.B. [3]). Szenarien, bei denen die mit dem Ausstieg aus der Kernenergie zu ersetzende Energie (vorwiegend in Süddeutschland) durch erneuerbare Energieträger (z.B. Windenergie – off shore in Norddeutschland) gedeckt werden soll, stehen Akzeptanzfragen bei dem Bau von Versorgungsleitungen entgegen. Es könnten hier weitere Beispiele aufgezählt werden, die zeigen, dass es endlich an der Zeit ist, über eine parteienpolitisch unabhängige, wissenschaftlich fundierte Energiepolitik nachzudenken und diese auch zu gestalten.

3. Handlungsstrategien für die Energieversorgung der Zukunft

Welche Handlungsstrategien leiten sich nun für eine Energieversorgung der Zukunft ab? Langfristig erscheint es möglich, den Energiebedarf der Menschheit vollständig aus erneuerbaren Energien zu decken. Bis dahin ist es jedoch noch ein weiter Weg, der nicht nur mit einer sondern mit einer Vielzahl von Strategien beschrritten werden muss.

Eine nachhaltige Energieversorgung muss den gleichrangigen Zielen von **Wirtschafts-, Umwelt- und Sozialverträglichkeit** sowie **Ressourcenschonung** gerecht werden, und es wird darauf zu achten sein, dass sowohl regional als auch weltweit ein Gleichgewicht zwischen diesen Zielparametern hergestellt wird. Dies bedeutet sowohl die **Abkehr von Energieumwandlungsverfahren fossiler Energieträger in der bisherigen Form** als auch die intensivere Nutzung von **regenerativen Quellen**, zu denen die Sonnenenergie, die Erdwärme sowie, auf Grund von begrenzten Uranressourcen, die **brütende Kernspaltung** gehören. Weiter müssen Entwicklungen im Bereich der Kernfusion weiter voran getrieben werden. Kohlendioxidarme Techniken sind die Zukunft. Ein hohes Potenzial ist generell in der Steigerung von Wirkungsgraden, in der Senkung des spezifischen Energiebedarfes bei der Herstellung von Produkten oder in der Mobilität und bei der Beheizung von Gebäuden – zusammengefasst in der **Effizienzsteigerung** zu sehen.

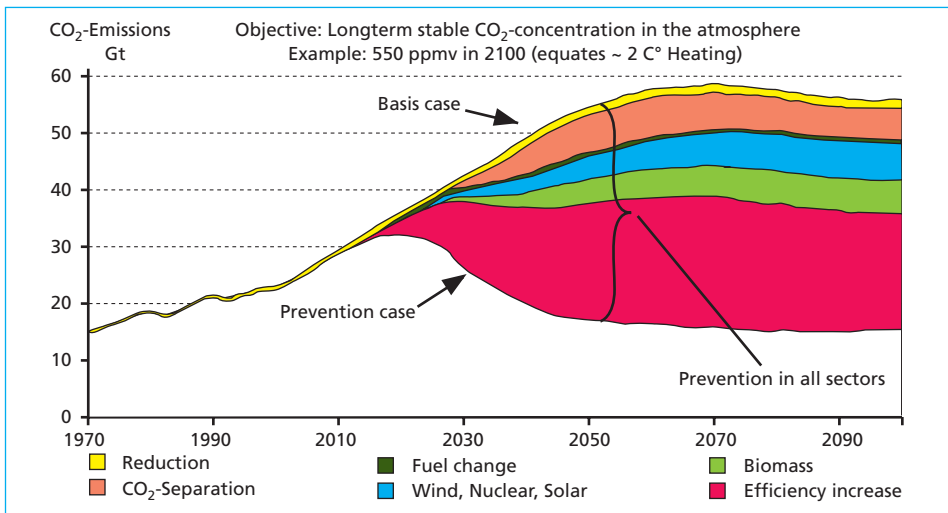


Bild 2: Maßnahmen zur Reduzierung von Kohlenstoffdioxidemissionen in der Energiewirtschaft

Quelle: IPCC Report, 2003

Während die Steigerung von Wirkungsgraden und die Senkung des spezifischen Energiebedarfes z.B. bei Kraftfahrzeugen oder bei der Beheizung von Wohngebäuden als Handlungsstrategien weithin bekannt und akzeptiert sind, werden

die Verfahren der Grundstoffindustrie oftmals als *Dinosaurier-Techniken* abgetan und vergessen. Dabei besteht gerade bei den Herstellungsverfahren der Grundstoffindustrie, wie das Beispiel der Stahlindustrie eindrucksvoll zeigt (Bild 3), ein hohes Potenzial zur **Effizienzsteigerung** durch verbesserte Produktionsabläufe (z.B. [5]) und durch **Substitution von Energieträgern** [7].

Wie bereits im Kapitel 2 und in Bild 1 dargestellt, werden die **fossilen Energieträger** ihre dominierende Stellung in den nächsten Jahrzehnten behalten. Der Energieträger **Kohle** wird zunehmend zur Deckung der weltweiten Energieversorgung und Strombedarfs eingesetzt. Insbesondere China und Indien werden in den nächsten Jahren auf den Brennstoff Kohle setzen. In China, wo etwa 80 % der Stromerzeugung durch die heimische Kohle gedeckt wird, bewirkt die Verbrennung von Kohle derzeit etwa 86 % der gesamten CO₂-Emissionen, 69 % sind es in Indien. Angesichts der drohenden Klimaerwärmung steht für die internationale Gemeinschaft die Reduktion der Kohlendioxidemissionen und somit die zeitnahe Entwicklung geeigneter Technologien im Fokus. Derzeit wird die Abtrennung und Speicherung von CO₂ (CCS-Technologie) als eine vielversprechende Möglichkeit bei der Kohleverstromung und anderen industriellen Prozessen gesehen. Bei diesem dreistufigen Verfahren wird das Kohlendioxid zunächst vom Abgas abgetrennt, verdichtet und zu einem Speicher transportiert. Zur Speicherung werden Salzformationen oder Gasspeicher untersucht.

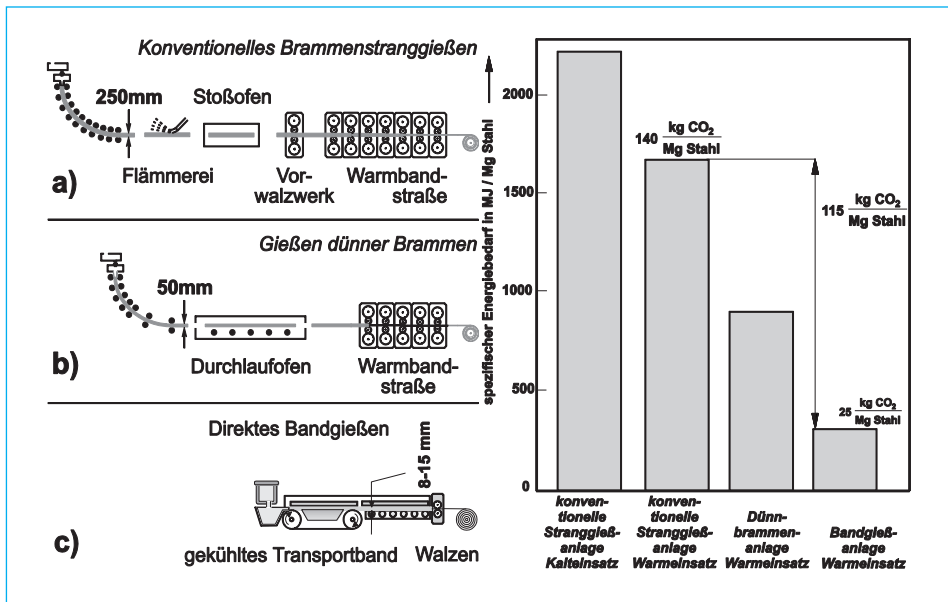


Bild 3: Einsparung von Produktionsstufen am Beispiel verschiedener Gießverfahren für Stahl

Quellen:

Scholz, R.; Stürmer, T.: Hochtemperaturprozesse beim Recycling von Rohstoffen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D.: Recycling und Rohstoffe, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
 Spitzer, K.-H.; Scholz, R.; Kroos, J.; Hower, K.H.; Nyström, R.; Burström, E.; Reichelt, W.; Dubke, M.: Entwicklungsstand beim DSC-Bandgießverfahren. In: stahl und eisen 121 (2001), Nr. 5, S. 73-80

Der Einsatz von CCS-Technologien wird derzeit verstärkt für die Kohlekraftwerke untersucht und erlaubt die Abtrennung von etwa 85 % der im Kraftwerk anfallenden CO_2 -Emissionen, dabei muss jedoch von einer Reduktion des Gesamtwirkungsgrads der Anlage von 8 % bis 12 % ausgegangen werden. Die Abtrennung des Kohlendioxid vom Abgas stellt den kostendominanten Prozess dar und kann vor der Verbrennung (pre-combustion capture), nach der Verbrennung (post-combustion capture) oder durch die Zugabe von reinem Sauerstoff beim Verbrennungsprozess bei Erzeugung eines reinen CO_2 -Abgasstroms (oxyfuel process) realisiert werden (Bild 4). Derzeit laufen vier CCS-Projekte, die jeweils etwa eine Million Tonnen CO_2 pro Jahr speichern sollen: Sleipner und Snohvit in Norwegen, Weyburn in Kanada und USA und In Salah in Algerien. Zwanzig weitere Großprojekte sind geplant.

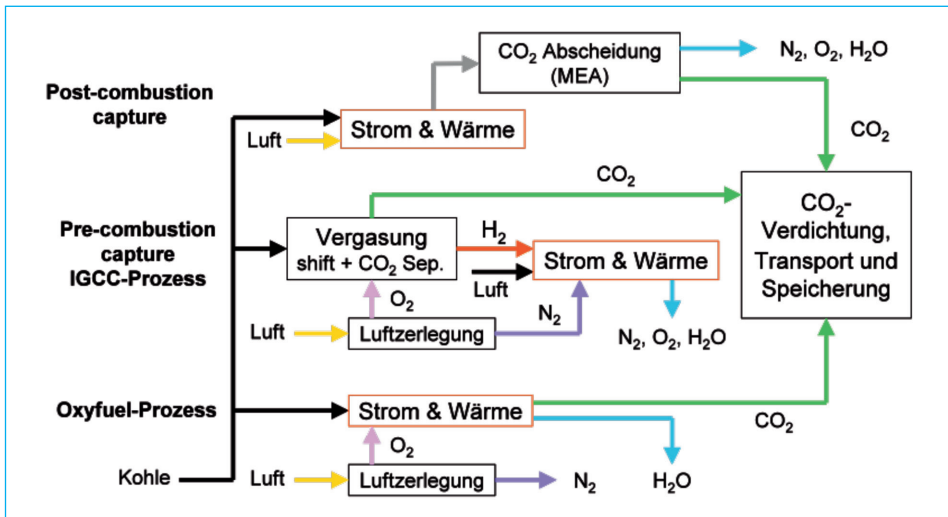


Bild 4: Techniken zur CO_2 -Abscheidung

Die baldige Umsetzung dieser Technologien erfordert in den nächsten Jahren großen Forschungs- und Entwicklungsaufwand zur Überwindung noch vorhandener Unsicherheiten. Da diese Maßnahmen zum Erreichen der anvisierten Klimaschutzziele unverzichtbar erscheinen, müssen auch politische Vorgaben zur monetären Bewertung sowie zur Implementierung eines globalen Handelssystems für CO_2 -Emissionen erfolgen. Es sind darüber hinaus weltweite Sicherheitsstandards und Risikoanalysen zur langfristigen Einlagerung von Kohlendioxid zu entwickeln. Schließlich wird künftig eine proaktive Kommunikationsstrategie erforderlich sein, die zur Erhöhung der Akzeptanz derartiger Systeme in der Bevölkerung beitragen muss. Hier können bereits vorhandene Erfahrungen aus der Kernenergienutzung herangezogen werden.

Für den Energieträger **Mineralöl** wird im World Energy Outlook 2007 [2] ein Bedarfsanstieg bis 2015 um etwa 37,5 Millionen Barrel pro Tag und somit ein Zuwachs um 45 Prozent gegenüber 2005 erwartet. Für ein Drittel dieser zusätzlichen Mengen existieren noch keine konkreten Vorgaben, wemgleich von einer

Erhöhung der Effizienz im Transportsektor sowie die Erschließung weiterer Produktionskapazitäten ausgegangen werden kann. Seit Jahren ist der Verbrauch an **Erdöl** gegenüber dem Auffinden neuer Lagerstätten größer. Das Verhältnis beträgt etwa 3 zu 1. Die überwiegende Mehrheit der Ölproduzierenden Staaten haben ihre Maximalförderung bereits überschritten (54 von 65), ab 2020 werden 80 % unserer heute verfügbaren Reserven erschöpft sein. Rund zwei Drittel der Weltreserven liegen in Mittelost und in Nordafrika und damit in der Hand von Staaten oder Staatsunternehmen. Unsicher ist, ob die angegebenen Reserven, insbesondere in den arabischen Staaten, überhaupt existieren. Weiter sind die Risiken bei der Exploration von Ölfeldern transparent zu diskutieren. Unfälle mit unübersehbaren Folgen, wie sie sich an der Bohrinself *Deepwater Horizon* im Golf von Mexiko im April 2010 ereignet haben, dürfen nicht als Preis in Kauf genommen werden. Im Zusammenhang mit einer Handlungsstrategie ist der Einsatz von Mineralöl zu hinterfragen. Unverzichtbar ist Mineralöl gegenwärtig für die Mobilität. Die Entwicklung von Alternativen (Elektroauto, Wasserstoff, LPG usw.) erfordert noch einen großen Zeitraum für die Technik und die zugehörige Infrastruktur.

Der Energieträger **Erdgas** gewinnt als wertvolle Ressource für den Wärmemarkt und für die chemische Industrie zunehmend an Bedeutung und leistet derzeit einen wichtigen Beitrag zur Energieversorgung. Auf Grund seiner günstigen Umwelteigenschaften sowie vorhandener Potenziale zur wirksamen Verknüpfung mit erneuerbaren Energien verfügt Erdgas über gute Voraussetzungen, auch zukünftig eine wichtige Rolle beim Übergang in eine nachhaltige Energieversorgung zu übernehmen. Wichtig wird dabei sein, die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Europa verfügt nur über begrenzte Vorkommen, hat jedoch Zugang zu siebzig Prozent des Gesamtpotenzials an konventionellem Erdgas. Dennoch muss man darauf achten, dass das Gas in seiner Bedeutung nicht überschätzt wird. In verschiedenen Szenarien sollen Gaskraftwerke bei einem Ausstieg aus der Kernenergie Kernkraftwerke ersetzen. Die Energie eines Kernkraftwerkes durch die eines Gaskraftwerkes zu ersetzen entspricht etwa dem Gasverbrauch einer Großstadt wie Hamburg. Hierdurch würde der Verbrauch enorm ansteigen und damit auch der Preis.

Die **Kernenergie** als nahezu CO₂-freie Energie verfügt über ein hohes Innovationspotenzial, und es werden derzeit Kernkraftwerke gebaut, welche die technologischen Entwicklungen und Erfahrungen aus dem Betrieb heutiger Leistungskernreaktoren (Generation II) der letzten Jahrzehnte nutzen und verbesserte wirtschaftliche Bedingungen und Sicherheitseigenschaften aufweisen (Generation III). Zu diesen Anlagenkonzepten gehören zum Beispiel der European Pressurized Reactor (EPR), der Siedewasserreaktor SWR 1000 sowie Hochtemperaturreaktoren, die derzeit in den USA und China auf der Basis jahrzehnterlanger Entwicklung in Deutschland errichtet werden.

Darüber hinaus verfolgt das Forschungs- und Entwicklungsprogramm *Generation IV* das Ziel, Vorgaben für künftige Kernenergiesysteme zu entwickeln, welche wettbewerbsfähige und zuverlässige Energieprodukte, also nicht ausschließlich Strom, bereitstellen können. Diese Entwicklungen umfassen das gesamte System

der Kernenergienutzung von der Urangewinnung bis zur Entsorgung einschließlich des nuklearen Brennstoffkreislaufes und sollen künftige Anforderungen an die Nachhaltigkeit, Sicherheit, gesellschaftliche Akzeptanz sowie Proliferationsresistenz erfüllen. Sechs Kernenergiesysteme gehören zum Programm *Generation IV* und werden im Rahmen weltweiter Aktivitäten untersucht. Hierzu gehören insbesondere der gasgekühlte schnelle Reaktor (GFR) und der gasgekühlte Höchsttemperaturreaktor (VHTR).

Der Very High Temperature Reactor (VHTR) für die Bereitstellung von Wasserstoff und Prozesswärme ist integraler Bestandteil des Generation IV-Programms. Angesichts von sich verteuernden Öl- und Gasimporten sowie des starken Anstiegs anthropogener Emissionen bei der Nutzung fossiler Energieträger wird der künftige Stellenwert dieser Technologien deutlich. Die weltweiten Thorium-Ressourcen sind etwa dreimal so groß wie die des Urans, und das Vorhandensein niedriger Kernleistungsdichten bei Hochtemperaturreaktoren unterstützt in besonderem Maße das Brüten von U-233. Die flexible Bereitstellung von Prozesswärme für die industrielle Bereitstellung von Sekundärenergieträgern, der Einsatz von Brennstoffen, die zur Schonung vorhandener Ressourcen beitragen sowie die Minimierung der Mengen und Toxizität von hochradioaktiven Abfallströmen, die für eine Langzeitsicherheit der Endlager von mehr als tausend Jahren keine besonderen Maßnahmen erforderlich machen, sind wesentliche Charakteristika von Kernreaktoren der Generation IV, welche ab 2030 einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung in Deutschland, EU- und weltweit liefern werden.

Es existiert bereits ein großer Markt für **Wasserstoff**, welcher hohe Wachstumsraten wegen des zusätzlichen Bedarfs in der Erdölveredlung aufweist. Neben zusätzlichem Wasserstoff benötigen Raffinerien auch erhebliche Mengen an Strom und Wärme, die durch Dampfreformierung bzw. durch die Verbrennung von Öl und Gas gewonnen werden. Allein in der deutschen Industrie werden heute 20 Milliarden m³ (i.N.) Wasserstoff pro Jahr erzeugt und genutzt [8]. Diese Produktion basiert zu 45 % auf Rohöl, zu 33 % auf Erdgas, zu 15 % auf Kohle und nur zu 7 % auf unterschiedlichen Elektrolyseverfahren. Hieraus wird deutlich, dass die heutige H₂-Produktion vor allem auf fossilen und nicht auf regenerative Energien oder auf Kernenergie basiert.

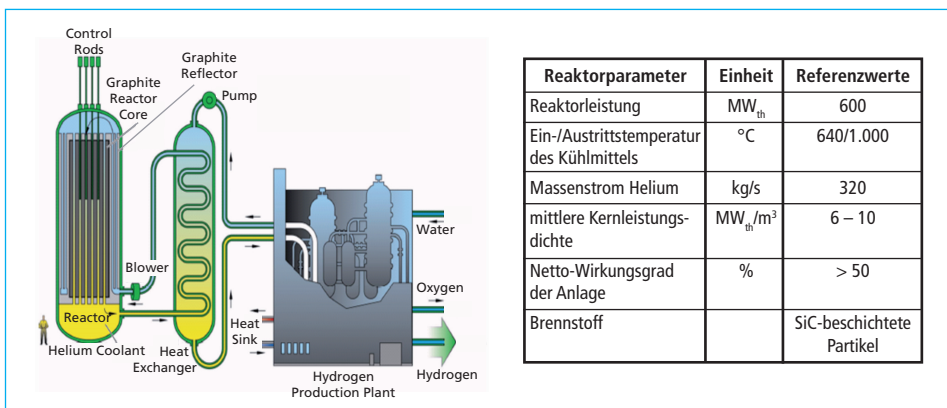


Bild 5: Prinzip und technische Daten des Very High Temperature Reactor (VHTR)

Insgesamt kann der Einsatz von nuklearer Prozesswärme oder aus regenerativen Energieträgern mit hohen Fluktuation (Wind, Solar) kurzfristig zur Substitution fossiler Energieträger und somit zur Reduktion von Kohlendioxid-Emissionen beitragen. Im Hinblick auf Sicherheitsaspekte bei der Erzeugung und Verbrennung von Wasserstoff kann insbesondere auf umfangreiche Erfahrungen der Reaktorsicherheitstechnik zurückgegriffen werden.

Wasserstoff als Sekundärenergieträger kann auf vielfältigen Pfaden hergestellt werden, seine Speicherung ist wesentlich einfacher und effektiver als die von elektrischer Energie und seine Nutzung CO₂-frei. Für künftige Anwendungen ist allen voran die Speicherung als große technische Herausforderung zu meistern, da die bisher erreichten Speicherdichten sehr niedrig sind im Vergleich zu flüssigen Kraftstoffen.

Der Ausbau **erneuerbarer Energien** wird weiter voran schreiten. Weltweit wird es dabei auch enorme Steigerungsraten bei der **Solar- und der Windenergie** geben. Das bedeutet natürlich entsprechende Entwicklungen zur Umwandlung selbst (z.B. Hybridkraftwerke), zur Speicherung (z.B. Wasserstoff) und zum Transport (Netze). In diesem Zusammenhang ist jedoch eine Reihe von Innovationen zu erwarten. Einen bedeutenden Beitrag zur Reduzierung von fossilem Kohlenstoffdioxid kann auch die Biomasse leisten. Bei der energetischen Nutzung von **Biomasse** wird häufig argumentiert, dass es egal ist, mit welchem Wirkungsgrad Biomasse in flüssigen Brennstoff (Ersatzbrennstoff für fossilen Brennstoff) umgewandelt wird, da Biomasse *unerschöpflich* nachwächst. Solange jedoch fossile Primärenergieträger wie Öl oder Steinkohle benötigt werden und man aus diesen mit einer höheren Umwandlungsrate flüssige Brennstoffe herstellen kann – im Vergleich zu Biomasse, Restmüll usw. –, ist es aus energetischer Sicht günstiger, Biomasse zu verbrennen, um elektrischen Strom zu erzeugen oder Wärme bereitzustellen, als diese zu flüssigem Brennstoff zu verarbeiten. Damit wird, wie in [9] gezeigt, CO₂ in entsprechendem Maße eingespart, weshalb (aus dieser Sicht) der Einsatz von Biomasse **nicht** CO₂ neutral ist. Die Forderung muss sein, die Biomasse so effektiv wie irgend möglich einzusetzen, um die fossilen CO₂-Emissionen soweit wie möglich zu senken. Dies heißt nun gerade nicht, die Entwicklung für die Erzeugung flüssiger Brennstoffe aus Biomasse einzustellen. Im Gegenteil, da die Umwandlung zu Biomasse noch nicht effektiv genug ist, muss noch mehr Forschungs- und Entwicklungstätigkeit erfolgen. Es muss das Ziel bei der Umwandlung von Biomasse in flüssigen Brennstoff sein, an die Höhe der Effizienz der Umwandlungsmöglichkeiten bei fossilen Brennstoffen heranzureichen. D.h. der Maßstab (*benchmark*), der sich aus der Bilanzierung ergibt, muss für die Biomasse der Entwicklungsstand bei fossilen Brennstoffen sein. Erst wenn dieser Maßstab (*benchmark*) erreicht ist, macht eine flächendeckende Industrieproduktion von flüssigem Brennstoff aus Biomasse Sinn, zumindest was das technische Wirtschaften mit Energie bei der Versorgung ganzer Regionen (Volkswirtschaft) betrifft¹. Wenn bei einem detaillierten Vergleich der fossil und regenerativ

¹ Sollte es nicht möglich sein, diesen Maßstab zu erreichen, weil grundsätzlich physikalische, chemische und thermodynamische Gründe dagegen sprechen, müsste der Vergleich an einer mit den vorgenannten Restriktionen begründeten maximal erreichbaren Entwicklungshöhe gemessen werden, um die Ausschöpfung von Potentialen darzulegen. Schließlich wird die Notwendigkeit der Nutzung von Biomasse zur Substitution von fossiler Energie nicht in Frage gestellt. Ziel muss sein, auch mit regenerativer Energie möglichst effizient umzugehen.

betriebenen Verfahrensketten letztere besser abschneiden sollten, so ist das kein Widerspruch zu den in [9] dargestellten Beispielen, sondern als Ergebnis der Hinweis, mit dem gewählten Ersatz der Biomasse *richtig* gehandelt zu haben.

Wie eingangs erwähnt erscheint es langfristig möglich, den Energiebedarf der Menschheit vollständig aus erneuerbaren Energien zu decken. Bis dahin ist es jedoch noch ein weiter Weg, auf dem auch Zukunftstechniken wie die Kernfusion weiterentwickelt werden müssen. Die Fortschritte der Kernfusionsforschung sind enorm (z.B. [10]). Für die Versorgung einer Familie mit elektrischer Energie würden jährlich zwei Liter Wasser und 250 Gramm Lithiumgestein benötigt. Die Fusionstechnik kann aufgrund der nahezu Unerschöpflichkeit der Ressourcen (gemessen an dem Verbrauch) als regenerative Energie bezeichnet werden.

Zusammengefasst ergeben sich u.a. folgende Handlungsstrategien, die alle eng mit den Stichworten Diversifikation, Innovation und Akzeptanz verbunden sind:

- Ein hohes Potenzial steckt in der Erhöhung der Energieeffizienz. Das betrifft Verbesserungen des Wirkungsgrades bei der Umwandlung, Senkung des spezifischen Bedarfs bei der Energieanwendung (Herstellung, Beheizung, Mobilität usw.) und die Substitution von Energieträgern.
- Fossile Brennstoffe werden als Energieträger in der nächsten Zukunft unverzichtbar sein. Dabei hat insbesondere die Kohle eine bedeutende Rolle, da die Reichweite und Verfügbarkeit deutlich höher ist als Öl und Gas. Hier gilt es, die CCS-Prozesse zu einer sicheren und leistungsfähigen Technologie zu entwickeln. Der fossile Energieträger Kohle verliert mit der CCS-Technik seinen strukturellen Nachteil.
- Vor dem Hintergrund der Schonung von knappen fossilen Ressourcen, insbesondere Erdöl und Erdgas, müssen weiter im Bereich der Gebäudetechnik Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, zur Nutzung regenerativer Energien (Solar, Biomasse, Erdwärme) und zur Kraft-Wärme-Kopplung ergriffen werden.
- CO₂-arme Techniken haben Zukunft, dazu zählt auch die Kernenergie. Eine zukunftsfähige Reaktortechnologie, die eine Kernschmelze ausschließt, die Bereitstellung von Prozesswärme ermöglicht und auch das Proliferationsproblem löst, ist mit der Hochtemperaturreaktortechnik gegeben. In Deutschland sollte eine Entscheidung über die Laufzeitverlängerung von Kernkraftwerken insbesondere vor dem Hintergrund der Versorgungssicherheit, der Wirtschaftlichkeit und der Erreichung vorhandener CO₂-Reduzierungsziele zeitnah und ideologiefrei erfolgen.
- Regenerative Energieträger sind, dort wo sie effektiv einsetzbar sind, weiter auszubauen. Dabei sind Nebenwirkungen zu bereits bestehenden Systemen sowie Fluktuationen und regionale Verfügbarkeit zu beachten.

4. Erforderliche politische Rahmenbedingungen

Wichtig für eine zielgerichtete Entwicklung und Umsetzung der Handlungsstrategien ist das Vorhandensein politischer Rahmenbedingungen. Dies betrifft

Gesetze und Verordnungen, z.B. im Hinblick auf Grenzwerte aber auch Steuern und Subventionen. In den letzten Jahren ist durch den Einfluss von parteipolitischen Zielen und Lobbyisten ein Wirrwarr an Stellschrauben durch Steuersätze und Subventionen entstanden.

Ein derzeit energiepolitisch heftig diskutiertes Problem sind die Fördermechanismen der **Kraft-Wärme-Kopplung** (KWK), da sie zum einen als eines der Hauptinstrumente der CO₂-Einsparung *erkannt* worden ist, zum anderen jedoch die nationalen Förderinstrumente mit dem bestehenden KWK-Gesetz 2010 auslaufen. Vorschläge auf der Basis *sauberer* thermodynamischer Bilanzen z.B. nach [11] existieren seit längerem, wurden jedoch nicht in die deutsche Zertifizierungspraxis übernommen.

Erhebliche Disproportionen entstehen durch die unterschiedliche Besteuerung von Primärenergieträgern (z.B. Ökosteuer) abhängig von ihrem Einsatz, den zusätzlich einwirkenden Förderinstrumente (z.B. Kraft-Wärme-Kopplung) und Steuern (z.B. Zertifikatehandel) sowie Subventionen (z.B. EEG). Damit wird das Gesetz *des einen Preises* [12] missachtet, was den Hauptgrund der ineffizienten Energiepolitik darstellt.

Wichtig ist der offene, ideologiefreie politische Diskurs. Steuer- und Förderpolitik in der Energiewirtschaft gehören auf den Prüfstein und sollten sich natur- und ingenieurwissenschaftlichen Bilanzen unterziehen. Ohne eine stabile und wirtschaftliche Energieversorgung aufs Spiel zu setzen können wir uns gegenwärtig den Ausstieg aus der Kernenergie ebenso wenig wie aus der fossilen Brennstoffwirtschaft leisten. Hierzu muss eine breite Akzeptanz entstehen, die selbstverständlich auch in der Öffentlichkeit und durch die Politik vertreten werden muss.

5. Referenzen

- [1] Hurtado, A.; Unger, J.: Brennstoffe der Zukunft. Kraftwerkstechnisches Kolloquium 2008, TU Dresden, Band 1
- [2] International Energy Agency, World Energy Outlook 2007 – China and India Insights
- [3] Kempmann, J.: Netzstabilität und Verfügbarkeit von Kraftwerken – Einfluss der Windenergie. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009
- [4] IPCC Report, 2003
- [5] Scholz, R.; Stürmer, T.: Hochtemperaturprozesse beim Recycling von Rohstoffen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D.: Recycling und Rohstoffe, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- [6] Spitzer, K.-H.; Scholz, R.; Kroos, J.; Hower, K.H.; Nyström, R.; Burström, E.; Reichelt, W.; Dubke, M.: Entwicklungsstand beim DSC-Bandgießverfahren. In: stahl und eisen 121 (2001), Nr. 5, S. 73-80
- [7] Beckmann, M.; Scholz, R.: Energetische Bewertung der Substitution von Brennstoffen durch Ersatzbrennstoffe bei Hochtemperaturprozessen zur Stoffbehandlung. Teil 1: ZKG International 52 (1999), Nr. 6, S. 287-303, Teil 2: ZKG International 52 (1999), Nr. 8, S. 411-419

- [8] Stolten, D.; Emonts, B.; Grube, T.: Von der Chance zur Notwendigkeit?, Wasserstoff und Brennstoffzellen in der Energiewirtschaft. BWK Bd. 60 (2008), Nr. ½
- [9] Beckmann, M.; Rostkowski, S.; Scholz, R.: Energieeffizienz der energetischen Biomassenutzung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 265-281
- [10] Hasinger, G.: Stand der Fusionstechnik. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010
- [11] Dittmann, A.; Nestke, C.: KWK-Förderung nach dem Vergleichsmarktprinzip. Euroheat & Power, 12/2000
- [12] Sinn, H. W.: Das grüne Paradoxon. Ullstein Buchverlag GmbH, Berlin, 2. Auflage, 2009

PÖYRY

Ingenieurleistungen aus einer Hand

Von der Idee bis zum Projekterfolg



Anlagenneubau



*Anlagenerüchtigung und
-optimierung*



Technisches Consulting

Solarthermische
Kraftwerke

Gas- und Dampf-
turbinkraftwerke

Meerwasser-
entsalzungsanlagen

Abfallverbrennungs-
anlagen

Biomassekraftwerke

Geothermiekraftwerke

Kontakt:

PÖYRY Energy GmbH
Borsteler Chaussee 51
D-22453 Hamburg

Tel.: +49 40 69200-0
Fax: +49 40 69200-190
E-Mail: energy.de@poyry.com



Competence. Service. Solutions.

www.energy.poyry.de