

## **Erneuerbare Energien – Entwicklungen und Perspektiven –**

Michael Beckmann und Christoph Pieper

1.	Zielstellungen für die künftige Energiewirtschaft.....	4
2.	Strategien .....	7
3.	Entwicklungspotentiale erneuerbarer Energieträger .....	7
3.1.	Windenergie .....	8
3.2.	Photovoltaik und Solarthermie .....	9
3.2.1.	Photovoltaik.....	9
3.2.2.	Solarthermie .....	12
3.3.	Biomasse .....	12
4.	Netze und Speicher .....	15
4.1.	Netze .....	15
4.2.	Speicher .....	16
5.	Zusammenfassung .....	18
6.	Referenzen .....	19

Der Weg in ein Zeitalter der Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energieträger ist richtig und unumkehrbar. Dieser Weg ist allerdings mit erheblichen Veränderungen der Struktur der Energiebereitstellung und Nutzung verbunden. Dafür sind heute bereits technische Lösungen verfügbar, die in ihrer Effizienz weiter entwickelt werden und im Umfang ausgebaut werden müssen. Darüber hinaus wird der Weg in ein regeneratives Energiezeitalter mit vielen Innovationen verbunden sein. Es wird jedoch auf absehbare Zeit keine Lösung geben, die ohne Beeinträchtigungen der Umwelt eine stabile Energieversorgung sicher stellt. Der Umbau erfordert Zeit und schließt viele Teilaufgaben ein. Diese müssen offen diskutiert werden – auch hinsichtlich der Auswirkungen auf die Umwelt, d.h., Natur und Bevölkerung – und sie müssen konsensfähig gemacht werden, überparteilich und über einen längeren Zeitraum hinaus als es Legislaturperioden oder Wahltermine zulassen.

Deutschland verfügt heute über eine zuverlässige und wettbewerbsfähige Energieversorgung, die in ihrer Entwicklung selbstverständlich ökologische Zielstellungen wie Effizienzsteigerung, Schadstoffminderung und Ressourcenschonung in hohem

Maße in allen Bereichen der Energieumwandlung und Energieanwendung einschließt. Dabei beträgt der Anteil der Erneuerbaren Energien jedoch derzeit nur etwa 9 % am Primärenergiebedarf. Mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien sind große Herausforderungen verbunden: Aufbau einer Infrastruktur für die Errichtung großer Offshore-Windparks, sichere Netze, Speicher, die intelligente Steuerung des Verbraucherverhaltens, Nutzungskonzepte für Biomasse und die Finanzierung, die Genehmigung sowie die Sicherheit von Anlagen und Netzen sind nur einige Stichpunkte. Der Weg muss begleitet und abgesichert werden, d.h., die derzeit dominierenden Technologien auf Basis fossiler Energieträger müssen parallel weiter entwickelt werden, um als Backup-Technologien die Versorgungssicherheit zu gewährleisten; Wirkungsgradsteigerung, Lastwechsel-flexibilität und Carbon Capture and Storage sind bereits erfolgreich begonnene Richtungen, die im Hinblick auf die Minderung der Treibhausgasemissionen auch bis 2050 eine ganz wesentliche Rolle spielen und darüber hinaus der deutschen Wirtschaft zukunftsorientierte Exportchancen bieten. Ganz wesentlich werden Anforderungen an die Effizienzsteigerungen auf der Anwenderseite bleiben. Anders als bisher heißt das aber nicht nur Optimierung und Weiterentwicklung bestehender Technologien sondern darüber hinaus auch eine stärkere Vernetzung im Hinblick auf Erzeuger- und Verbraucherverhalten.

## 1. Zielstellungen für die künftige Energiewirtschaft

Bei einem Vergleich von Vorhersagen und den tatsächlich realisierten Ergebnissen des Ausbaus der Erneuerbaren Energien in Deutschland der vergangenen zwanzig Jahre ergeben sich erhebliche Unterschiede (Bild 1).

Blieben anfangs (im Jahr 1995, 2000) die Ist-Zustände unter den prognostizierten Werten, so hat das sicher mit Anfangsschwierigkeiten der Herausbildung einer neuen Branche gegen eine Reihe von etablierten Strukturen zu tun. Zunächst waren es überwiegend Klein- und mittelständische Unternehmen, die mit zahlreichen Einzellösungen insbesondere in den Bereichen Wind-, Solar- und Biomasseenergie in den Wettbewerb eintraten. Inzwischen sind aus den ehemals Kleinunternehmen weltweit agierende Großunternehmen geworden (Beispiel SolarWorld) und es sind zusätzlich traditionelle Großunternehmen wie Siemens – aber auch die Energieversorger, Stadtwerke gleichermaßen wie E.ON, EnBW, RWE, Vattenfall usw. – in den Markt eingetreten. Eine Reihe von Gesetzgebungen – darunter das *EEG* – haben den Ausbau flankiert. Bereits 2005 lagen die erreichten Anteile der Erneuerbaren Energien am Primärenergiebedarf in Deutschland deutlich oberhalb der prognostizierten Werte. Dieser Trend hat sich im Jahr 2010 fortgesetzt. Ohne eine grundsätzliche Veränderung der Struktur der Energieversorgung und der Nutzung auf der Anwenderseite wird der Anteil der Erneuerbaren Energien jedoch in absehbarer Zeit einer Sättigung entgegen laufen. Diese Veränderung bedarf einer abgestimmten und, wie eingangs erwähnt, einer akzeptierten Langzeitstrategie. Bevor auf einige Eckpunkte dieser Strategie näher eingegangen wird, sei kurz noch ein Blick auf die verschiedenen Energieformen in der Anwendung geworfen (Endenergiebedarf (EEB)). Schließlich gilt es, einen bestimmten Bedarf zu decken.

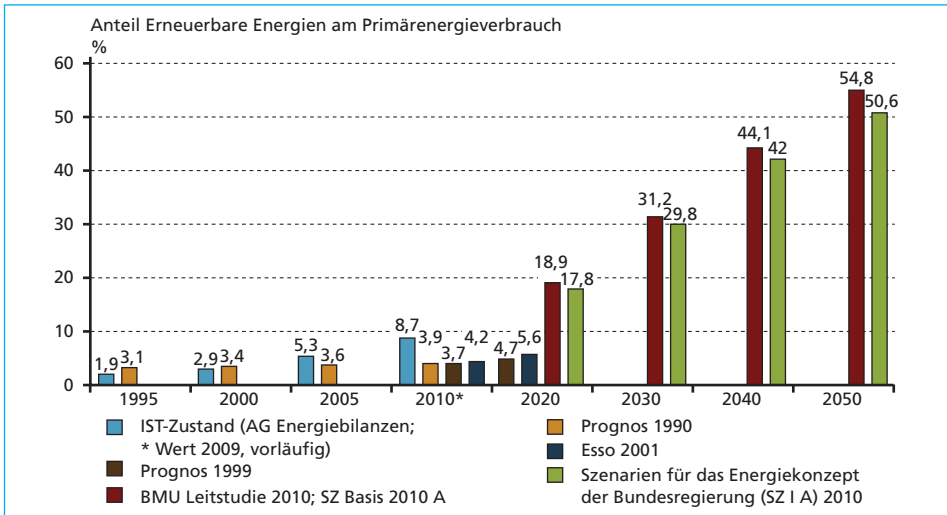


Bild 1: Stand und Prognosen zur Entwicklung Erneuerbarer Energien in Deutschland

Quellen:

Energiebilanzen e.V.: online <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=139>, abgerufen am 03.04.2011

Prognos AG (Hrsg.): Energieprognose bis 2010: die energiewirtschaftliche Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2010. Stuttgart, 1990

Schiffer, W.: Praxiswissen aktuell – Energiemarkt Deutschland. Köln, 2002

Nitsch, J.; Pregger, T.; Scholz, Y. et al.: *Leitstudie 2010* – Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Dezember 2010, online: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010_bf.pdf), abgerufen am: 03.04.2011, FKZ: 03MAP146

Schlesinger, M.; Lindenberger, D.; Lutz, C. et al.: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung Projekt Nr. 12/10 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin, Basel/Köln/Osnabrück, 2010, [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energieszenarien\\_2010.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energieszenarien_2010.pdf), abgerufen am 03.04.2011

Die Tabelle 1 zeigt den Bedarf an Endenergie (etwa 65 % des Primärenergiebedarfes) für die wesentlichen Verbrauchergruppen: Industrie, Verkehr, Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) für das Jahr 2006. Zu erkennen sind zunächst folgende stichpunktartig aufgeführte Aspekte:

- Der Anteil elektrischer Energie (Strom) beträgt etwa 21 % des EEB.
- Die Verbrauchergruppen Industrie, Verkehr, Haushalte sind zu annähernd gleichen Anteilen am EEB beteiligt – allerdings mit deutlichen Unterschieden bei den Energiearten.
- Industrieprozesse benötigen für Prozesswärme fossile Energieträger und elektrische Energie und darüber hinaus für Antriebe usw. elektrische Energie.
- Für die Mobilität (Verkehr) wird der größte Anteil an Kraftstoffen beansprucht.
- Haushalte und GHD weisen einen hohen Bedarf an Erdöl und Erdgas überwiegend für die Wärmenutzung auf.

Tabelle 1: Endenergiebedarf der Verbraucher Industrie, Verkehr, Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD) an verschiedenen Energiearten für das Jahr 2009 in Deutschland

Endenergieverbrauch 2009 in Deutschland	PJ	%	Kohle	Kraftstoff (Öl)	Gas	Strom	Fernwärme	EE	sonstige
Industrie	2.264	26,0	3,42	1,31	9,00	8,71	1,47	1,23	0,84
Verkehr	2.541	29,2	0,00	27,09	0,06	0,66	0,00	1,35	0,00
Haushalte	2.497	28,7	0,44	6,46	11,62	5,75	1,81	2,58	0,00
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	1.411	16,2	0,14	3,59	4,72	5,55	1,93	0,26	0,00

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Zahlen und Fakten Energiedaten – Nationale und Internationale Entwicklung. Online: <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/Energiedaten/gesamtausgabe.html>; abgerufen am: 03.04.2011

Bei der Betrachtung des Anteils Erneuerbarer Energien am Primärenergiebedarf sind nicht nur elektrischer Strom sondern auch die Energiearten Prozesswärme, Raumwärme, Kraftstoff bzw. Mobilität in den jeweiligen Verbrauchergruppen zu betrachten.

Betrachtet man die einzelnen Verbrauchgruppen getrennt, so sind spezifisch Einsparungspotenziale sichtbar. Zunächst müssen diese durch Effizienzmaßnahmen – wie z.B. durch verbesserte Produktionsabläufe (z.B. [7, 8]) und durch Substitution von Energieträgern (z.B. [9]) realisiert werden. Zu beachten ist bei der Substitution von Energieträgern bei Herstellungsprozessen allerdings u.a. das jeweilige Prozesstemperaturniveau und die Produktqualität.

Ein sehr hohes Einsparungspotenzial erkennt man im Bereich Haushalt und GHD in der Nutzung von Erdöl und Erdgas hauptsächlich zur Wärmeerzeugung. Hier stellt sich die Frage, ob dieses Einsparungspotenzial allein durch Verbesserung der Gebäudesubstanz (Dämmung, sogenannte Niedrig- oder Nullenergiehäuser) oder nicht vielmehr auch durch geändertes Verbraucherverhalten und strukturelle Veränderungen der Energiebereitstellung (Fernwärme, dezentrale Wärmeerzeugung durch Solarthermie, Wärmepumpen, Nutzung von elektrischer Energie zur Warmwasserheizung bei Überkapazitäten, Speicher usw.) erreicht werden kann. Bevor über viele Umwandlungsstufen aus Biomasse Kraftstoffe für die Mobilität genutzt wird, sollte man über deren Nutzung zur viel einfacheren Wärmeerzeugung und damit der viel effizienteren Substitution von fossilen Energieträgern nachdenken. Das dann selbstverständlich wieder Maßnahmen zur Reduzierung von Schadstoffen wie Feinstaub oder Stickoxiden nötig werden, ist eine Aufgabenstellung, die lösbar ist. Dieses Beispiel zeigt, dass der Weg in das Zeitalter Erneuerbarer Energieträger nicht einfach über den Austausch von fossilen Kraftwerken durch Wind- und Solarkraftwerke führt, sondern dass die Verbraucherseite in die Strategieentwicklung mit einbezogen werden muss und dass neben elektrischer Energie ein ganz erheblicher Bedarf an Raum- und Prozesswärme sowie Energie für die Mobilität benötigt werden.

## 2. Strategien

Welche Strategie oder welche Maßnahmen führen in das Zeitalter der Erneuerbaren Energie? Darüber gibt es in vielen Punkten zunächst grundsätzlich eine große Übereinstimmung in der Politik und der Fachwelt, unklar sind die jeweiligen Anteile und die Zeiträume, in denen die Umsetzung erfolgen kann.

Wie würde man in einem Unternehmen bei der Umstellung auf ein neues Produkt oder in einem Forschungsvorhaben vorgehen? Es gäbe einen Plan mit detaillierten Arbeitsaufgaben, der sich an der Zielstellung des Projektes orientiert. Zugehörig muss ein Zeitplan mit Meilensteinen vorliegen. Im Laufe des Projektes werden die Zielstellungen mit dem Arbeits- und Zeitplan kontrolliert – man spricht dabei auch vom Monitoring.

Derzeit besteht die Aufgabe, einen Plan mit detaillierten Aufgabenstellungen zu erarbeiten und konsensfähig für die nächsten Dekaden zu vereinbaren. Dieser muss gewährleisten, dass auch aktuelle Änderungen aufgrund neuer Erkenntnisse einfließen können.

Eckpunkte in diesem Plan sind sicher – und das sind die vorher genannten Punkte über die zunächst allgemein (weitgehend) Konsens besteht:

- Effizienzsteigerung in allen Bereichen der Energieanwendung (Industrie, Haushalte, Verkehr, GHD),
- Ausbau der Netzstruktur (Elektrische Netze, Gas- und Fernwärmenetze),
- Entwicklung und Ausbau von Speichern (Wasser, Druckluft, Gas, Wärme, elektrische Energie),
- Ausbau Windenergie (Offshore, Repowering),
- Flexibilisierung des Kraftwerksparkes (Gaskraftwerke, Kohlekraftwerke in Verbindung mit CCS),
- Nutzung von Biomasse aus ökologischem Anbau,
- Kreislauf- und Ressourcenwirtschaft.

Über die Folgen des Umbaus muss offen debattiert werden, denn ohne die Akzeptanz scheitern die Projekte für Netztrassen ebenso wie für neue Kohlekraftwerke, die als Backup auch künftig für einen langen Zeitraum noch benötigt werden. Schließlich muss auch die Bereitschaft (Akzeptanz) gegeben sein, die Kosten für diesen Umbau zu tragen.

## 3. Entwicklungspotentiale erneuerbarer Energieträger

Welche Potenziale bestehen bei den einzelnen Erneuerbaren Energieträgern im Einzelnen? Dazu gibt es eine Vielzahl von Untersuchungen, die hier im Folgenden kurz zusammengefasst dargestellt werden. Dabei liegt der Fokus auf den Entwicklungen und Möglichkeiten in Deutschland. Standortbedingt werden deshalb die Konzepte der Geothermie und der Gezeitenkraftwerke nicht näher betrachtet. Die geografischen Bedingungen sind für diese Energieerzeugungsformen in Deutschland sehr rar (vgl. [10]).

### 3.1. Windenergie

Nicht nur in der dena-II-Studie [10], sondern auch in anderen Veröffentlichungen [11] spielt die Windenergie die Hauptrolle in der regenerativen Energieerzeugung. Bereits heute erzeugt die Windenergie mit über 40 % den größten Teil des regenerativen Stroms. Wie das Bild 2 erkennen lässt, stagniert jedoch der Zubau von Anlagen in den letzten fünf Jahren. Die Gründe dafür liegen zum einen in Finanzierungsproblemen für Großprojekte als Folge der Finanzkrise, aber auch in der abnehmenden Akzeptanz der Bevölkerung für Windenergieanlagen im Binnenland. Des Weiteren sind gesetzliche Regulierungen zunehmend ein Hemmschuh.

Die Anlagentechnik für Windenergieanlagen (WEA) wird immer leistungsstärker und nimmt gleichzeitig sehr große Dimensionen an. So bietet die derzeit leistungsstärkste WEA, die E-126 der Firma Enercon, mit einer Nabenhöhe von 135 m und einem Rotordurchmesser von 127 m 7,5 MW.

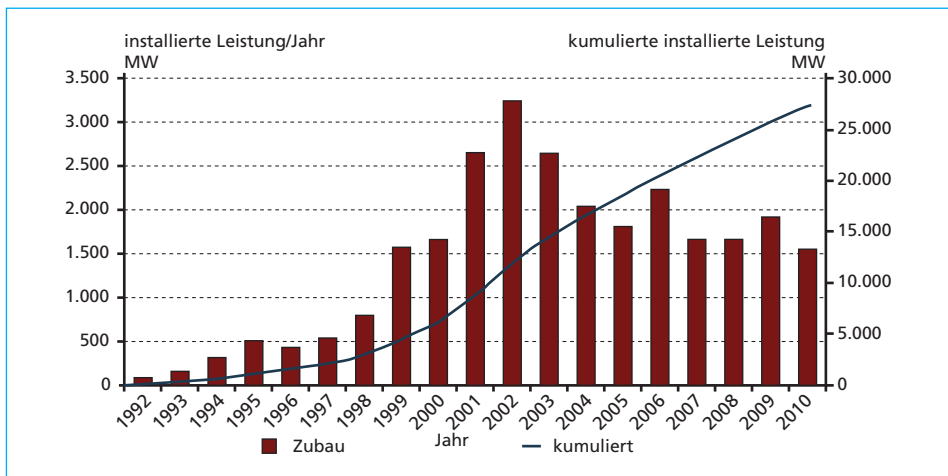


Bild 2: Entwicklung der Windenergieleistung in Deutschland

Quelle: Bundesverband WindEnergie e.V.: Die Entwicklung der Windenergie in Deutschland 2010. <http://www.wind-energie.de/de/statistiken/>, abgerufen am 03.04.2011

Bild 3 zeigt die jährlich installierte Leistung nach Rotordurchmesser. Daraus wird ersichtlich, dass zukünftig vor allem das Repowering, also der Ersatz alter Anlagen, zum Ausbau der Windenergie auf dem Festland beitragen wird. Der Erfolg des Ausbaus ist jedoch von der Akzeptanz der lokal betroffenen Bevölkerung abhängig [13].

Weiterer Forschungsbedarf im Hinblick auf den Ausbau der Windenergie liegt insbesondere auf folgenden Schwerpunkten [15]:

- bessere Vorhersage der Windbedingungen,
- Optimierung der Anlagen (Material, Serienproduktion von Großkomponenten, Wartung),
- Verbesserung der Anlagensteuerung (Regelbarkeit).

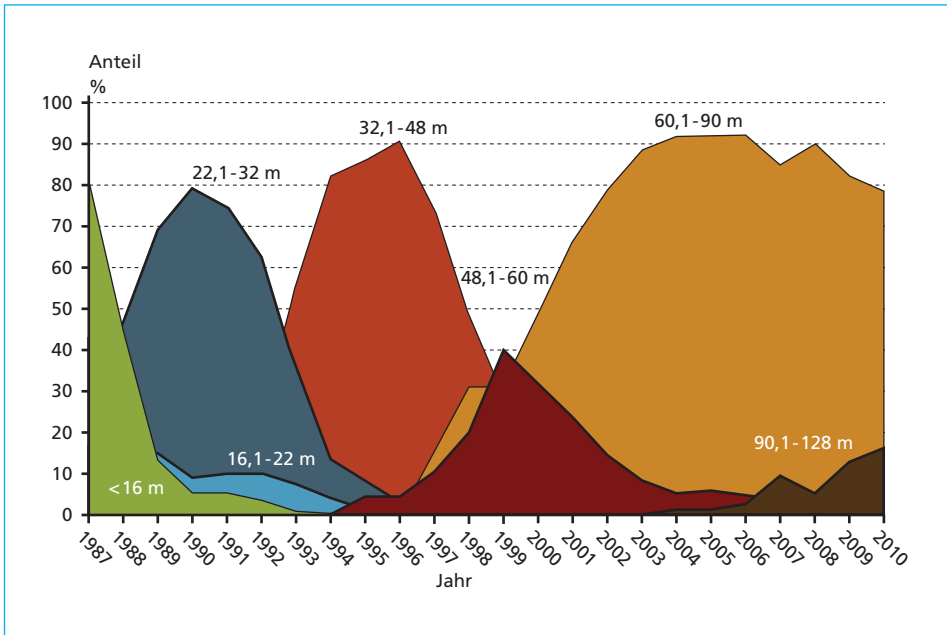


Bild 3: Anteil verschiedener Windenergieanlagen nach Rotorgröße

Quelle: Molly, J. P.: Status der Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2010. [http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Statistics%20Pressemitteilungen/31.12.10/Foliensatz\\_2010.pdf](http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Statistics%20Pressemitteilungen/31.12.10/Foliensatz_2010.pdf), abgerufen am: 03.04.2011, DEWI GmbH, 2011

Im Offshore-Bereich geht der Ausbau derzeit nur langsam voran. Im Jahr 2009 wurde der erste deutsche Offshore-Windpark Alpha Ventus fertig gestellt. Die 12 WEA haben eine Leistung von 5 MW. Betrachtet man das Ziel der Bundesregierung bis 2030 eine Leistung von 25 GW zu installieren, so stehen noch erhebliche Investitionen an. Neben Kapital bedarf es außerdem verlässlicher gesetzlicher Grundlagen für den Netzanschluss, den Netzausbau selbst und Speicherkapazitäten.

## 3.2. Photovoltaik und Solarthermie

### 3.2.1. Photovoltaik

Grundlegend wird in einer Photovoltaikzelle Sonnenstrahlung direkt in elektrische Energie umgewandelt. Durch auftreffende Photonen entstehen in der Zelle positive und negative Ladungen, wodurch zwischen den Polen eine Spannung erzeugt wird. Verkettet man mehrere Zellen, erhält man Photovoltaikmodule.

Es wird im Wesentlichen zwischen zwei Arten von Solarzellen unterschieden. Allgemein bekannt sind kristalline Siliziumzellen, die den größten Teil der weltweit eingesetzten Solarzellen darstellen. Eine weitere Unterteilung findet noch in mono- und polykristalline Zellen statt. Der Wirkungsgrad beträgt zwischen 13 und 17 % für kommerzielle Zellen.

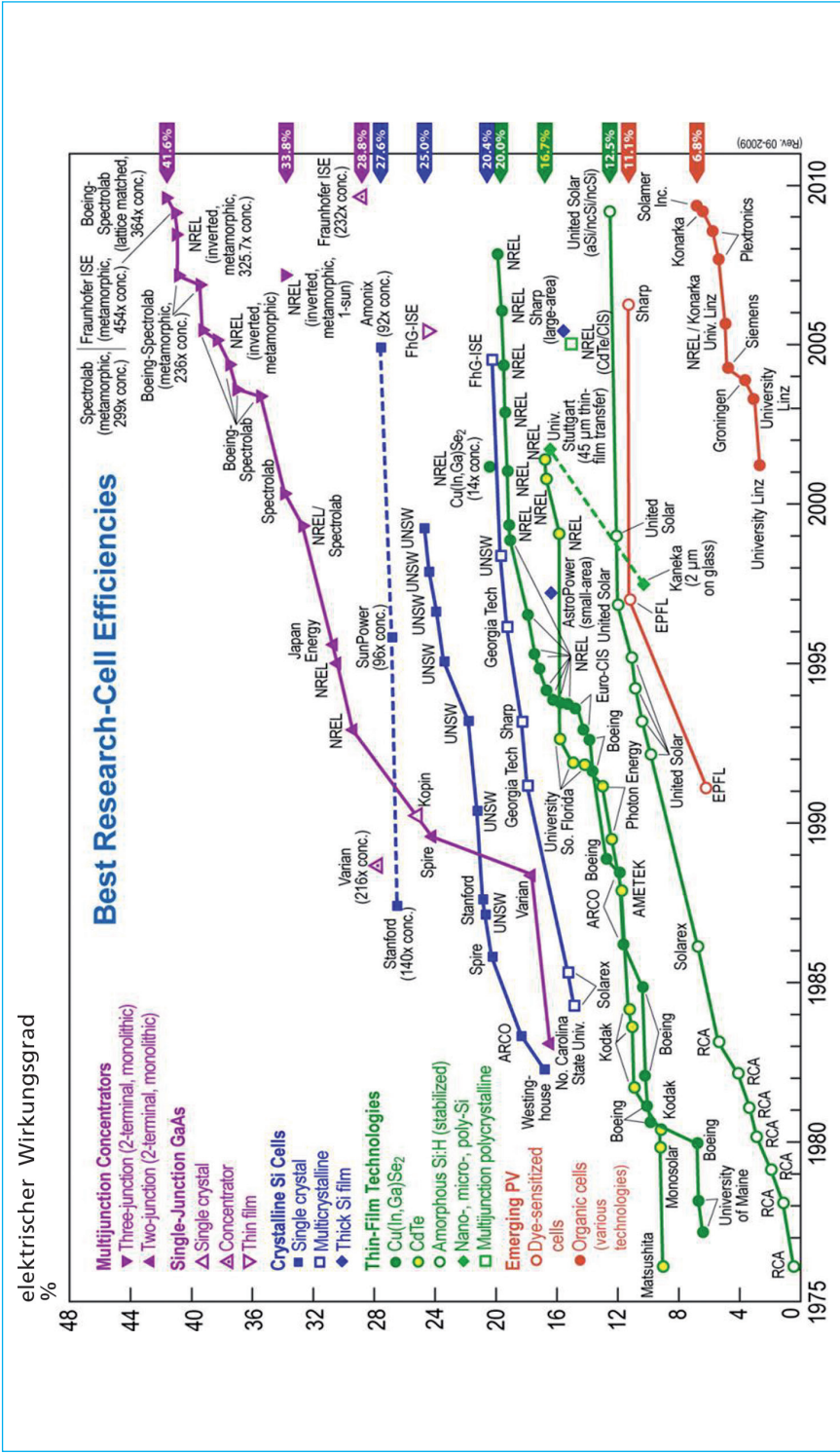


Bild 4: Überblick über die Entwicklung des elektrischen Wirkungsgrades verschiedener Solarzellen

Quelle: Price, S.; Margolis, R.: 2008 Solar Technologies Market Report. U.S. Department of Energy (Hrsg.), 2010, <http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/46025.pdf>, abgerufen am 30.04.2010



Die zweite Art von Solarzellen sind Dünnschicht-Zellen. Hier werden verschiedene Materialien eingesetzt:

- amorphes Silizium, mikrokristallines Silizium,
- Cadmium-Tellurid (CdTe),
- Kupfer, Indium, Selen oder Schwefel (CIS),
- organische Zellen.

Diese werden sehr dünn auf eine Trägerstruktur aufgetragen. Dadurch entstehen wesentlich weniger Materialkosten. Jedoch weisen die kommerziellen Zellen bisher auch geringere Wirkungsgrade von 5 bis 11 % auf [16].

Eine Übersicht über die derzeit realisierbaren Wirkungsgrade gibt das Bild 4. Die besten Wirkungsgrade können demnach mit *Tandem-Solarzellen* erreicht werden. Dabei werden verschiedene Dünnschichttechnologien kombiniert und übereinander gestapelt. Dadurch kann ein breiteres Lichtspektrum in Energie umgesetzt werden. Um die Fläche der teuren Tandem-Zellen zu reduzieren, werden außerdem Konzentratoren (z.B. Fresnellinsen) eingesetzt.

Neben den Solarmodulen ist weitere Technik zur Nutzung der Anlagen nötig. Die wesentlichste Komponente stellt der Wechselrichter dar, der den Gleichstrom der Solarzellen in Wechselstrom wandelt und die Netzkopplung ermöglicht. Durch die Entwicklung der *H5-Topologie* durch die Firma SMA wurde der Wirkungsgrad auf etwa 98 % gesteigert [18]. Eine weitere Verbesserung ist derzeit nicht absehbar. Ein weiteres wichtiges Element ist das Nachführsystem, das die Solarmodule ein- oder zweiachsig der Sonne folgen lässt. Für konzentrierende Anlagen ist es unerlässlich und erhöht in Deutschland den Energieertrag der Solaranlage um

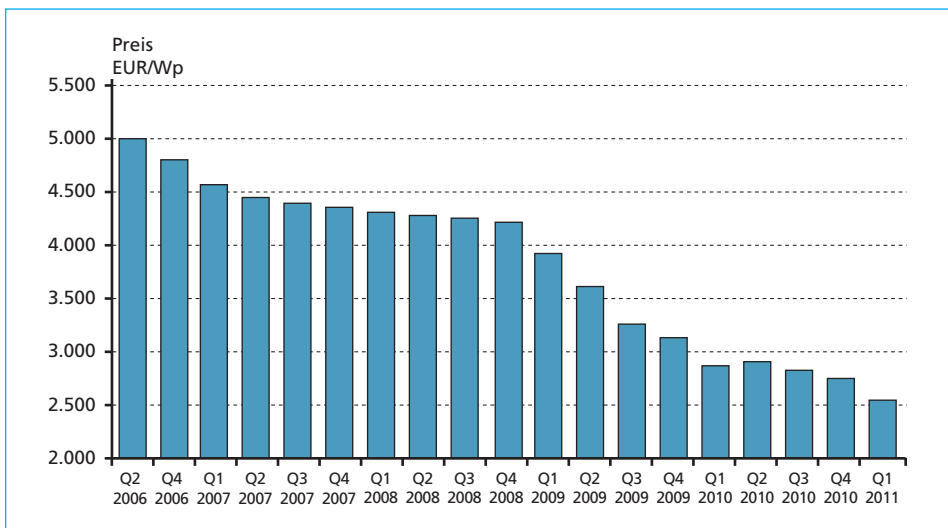


Bild 5: Preisentwicklung für PV-Module

Quelle: Bundesverband Solarwirtschaft (BSW): Photovoltaikanlagen seit 2006 rund 50 Prozent billiger. <http://www.solarwirtschaft.de/medienvetreter/infografiken.html>, abgerufen am: 03.04.2011

etwa 30 % gegenüber starren Systemen. Verbesserungspotentiale liegen außerdem in der Reduzierung von Kabelverlusten und der Kühlung der Solarmodule, da mit höheren Temperaturen auch deren Wirkungsgrad sinkt.

Neben der technischen Entwicklung ist im Bereich der Photovoltaikanlagen die Preisentwicklung beachtlich. Wie in Bild 5 zu erkennen ist, sind die Preise pro Leistungseinheit  $W_p$  durch den Ausbau von Produktionskapazitäten und Verbesserungen im Fertigungsprozess für kommerzielle Kleinanlagen in den letzten Jahren stetig gesunken.

### 3.2.2. Solarthermie

Die Wärmeerzeugung mit Sonnenenergie spielt in Deutschland noch eine kleine Rolle. So beträgt der Anteil der Solarthermie an der regenerativen Wärmeerzeugung lediglich 4,1 %. Selbst die Geothermie liegt mit 4,8 % höher. Gleichzeitig ist ein stetiger Zubau zu beobachten [20]. Solarkollektoren finden in Deutschland hauptsächlich Anwendung zur Brauchwassererwärmung und Heizungsunterstützung. Die Technik der Flach- und Vakuumröhrenkollektoren ist großflächig beherrschbar und Solaranlagen können Ausmaße bis zu 7.000 m<sup>2</sup> erreichen [21].

Solarthermische Stromerzeugung findet hingegen in Deutschland zumindest im kommerziellen Rahmen nicht statt.

Die zukünftige Entwicklung in Deutschland orientiert sich voraussichtlich an zwei Schwerpunkten. Dies ist zum einen die gebäudetechnische Anpassung an eine solare Wärmeversorgung, Stichwort Solaraktivhaus, und zum anderen die Weiterentwicklung von saisonalen Wärmespeichern [21]. Diese sind nötig um die überschüssige Wärme der Sommermonate für den Bedarf im Winter zu speichern (siehe Kapitel 4.2.).

### 3.3. Biomasse

Die oftmals geäußerte Behauptung, die energetische Nutzung von Biomasse sei *CO<sub>2</sub>-frei*, daher spiele der Wirkungsgrad keine Rolle, ist im Zusammenhang mit dem weiterhin notwendigen Energiemix zu überdenken. Bei der energetischen Nutzung von Biomasse wird *CO<sub>2</sub>* freigesetzt. Vorzug für eine bestimmte Nutzung sollte die Umwandlungskette haben, die spezifisch auf die Zielenergie betrachtet die niedrigsten *CO<sub>2</sub>* Emissionen (hier stellvertretend für GWP) oder aber den jeweils höchsten Wirkungsgrad aufweist. Dabei spielt wie eingangs an dem Beispiel schon erwähnt, die Energieform der Zielenergie eine bedeutende Rolle. Das Ziel der Biomassenutzung sollte darin bestehen, die Nutzungswege zu präferieren, die zur höchsten spezifischen Einsparung an Ressourcen fossiler Energieträger und an Kohlendioxidemissionen führen. Dafür ist es erforderlich, die Nutzungswege zu Bilanzieren und zu Bewerten.

Die Umwandlung von Biomasse ist vor allem durch die angestrebte Zielenergie determiniert. Eine detaillierte Beschreibung der Verfahren und Strategien befindet sich z.B. in Beckmann et al. [22] und in den darin zitierten Quellen. Einen Überblick über die thermischen Konversionsverfahren gibt Bild 6.

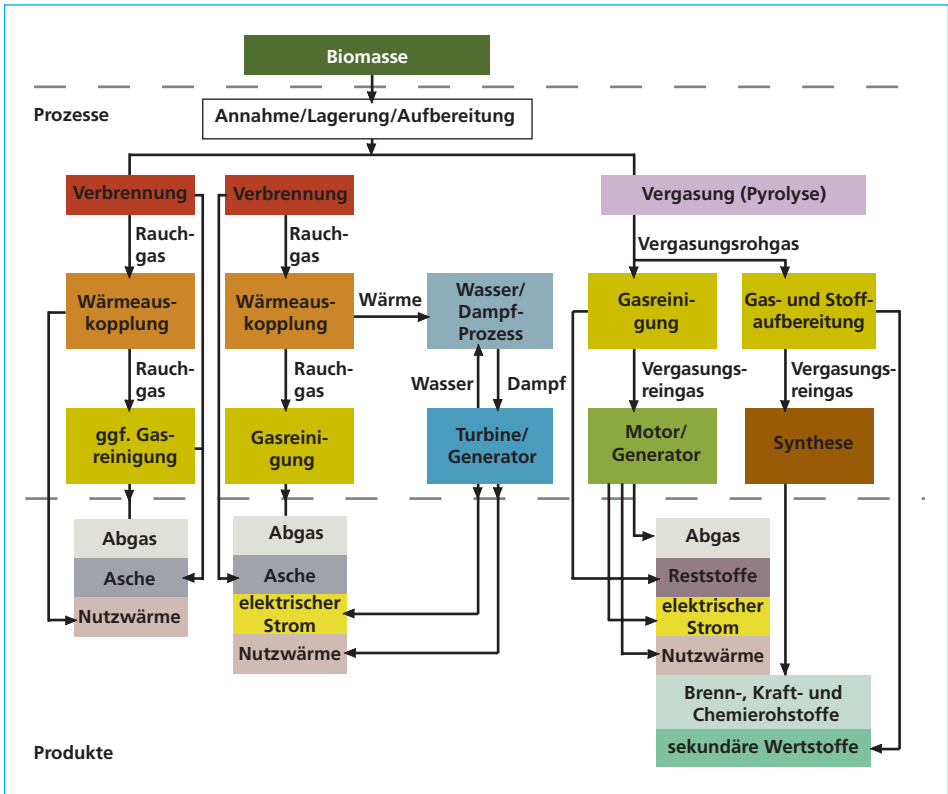


Bild 6: Grundstruktur thermischer Konversionsverfahren (BKC: Brenn-, Kraft- und Chemierohstoffe)

Quelle: Carlowitz, O.; Vodegel, S.; Wollmann, A.: Energieeffizienz bei der energetischen Nutzung von Biomasse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M.: Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2009, S. 283-296

Für Bereitstellung von Zielenergien steht jeweils eine Reihe von Verfahren zur Verfügung. Daneben sind die grundlegenden Eigenschaften des eingesetzten Brennstoffes von Bedeutung. Eine Einteilung kann, angelehnt an die Aggregatzustände, in fest, flüssig, gasförmig und pastös erfolgen.

Bedeutende Zielenergien bei der Nutzung von Biomasse und Ersatzbrennstoffen sind:

- thermische Energie als Heiz- oder Prozesswärme,
- elektrische Energie,
- chemische Energie als
  - \* flüssige Brennstoffe, insbesondere für den Einsatz als Treibstoff im Transportsektor,
  - \* chemische Energie gasförmigen Brennstoffes, mit verschiedenen Anwendungen, wie z.B. Einspeisung ins Erdgasnetz oder chemische Industrie.

Bereits mit den drei genannten Zielenergien sind auch unterschiedliche Größenordnungen hinsichtlich der Anlagenkapazitäten und damit für die jeweils benötigte Menge an Biomasse verbunden.

Thermische Energie kann lokal dezentral in kleinen Anlagen (wenige kW) wirtschaftlich aus Biomasse bereit gestellt werden. Allerdings ist die gesamte Verfahrenskette der Erzeugung von Biomasse für diese Zwecke zu prüfen. Die Herstellung von Holzpellets aus Holz von Kurzumtriebsplantagen, das nach der Ernte gehäckselt, getrocknet, danach weiter zerkleinert und brikettiert wird, ist sicher unter den gegebenen Umständen wirtschaftlich aber im Vergleich zu anderen Nutzungsvarianten weniger effizient.

Die Erzeugung elektrischer Energie aus Biomasse erfordert derzeit i.d.R. größere Anlagen (im Bereich von einigen MW) für einen wirtschaftlichen Betrieb. Kleinere dezentrale Anlagen von einigen 100 kW auf der Basis von Vergasungsprozessen sind im Entwicklungsstadium [24]. Auch die Nutzung von Biomasse im Sinne der Co-Verbrennung in Großkraftwerken (Beispiel in Bild 7) sollte nicht aus ideologischen Gründen abgelehnt werden, wenn sich herausstellt, dass dieser Weg technisch möglich und energetisch effizienter ist als eine Umwandlung mit *neuen Verfahren* (Vergasung).

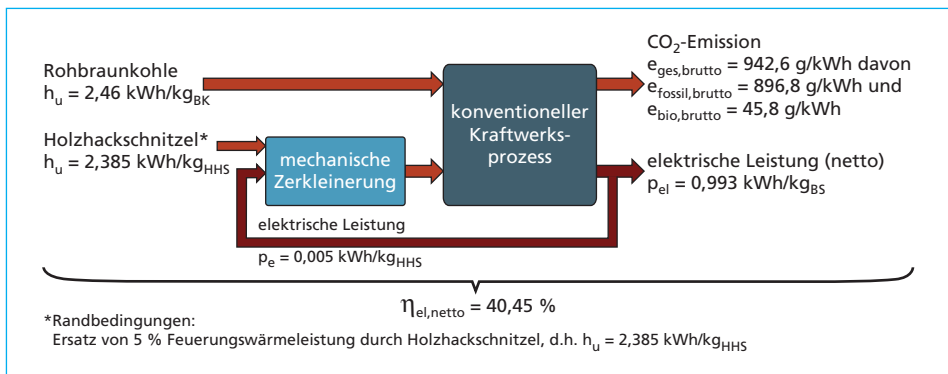


Bild 7: Co-Verbrennung von Biomasse in Großkraftwerken

Die Umwandlung von Biomasse in chemische Energieträger (gasförmig, flüssig) erfordert bei Anwendung thermischer Konversionsprozesse i.d.R. Großanlagen (large scale facilities) mit Biomasse-mengen von etwa 1 Millionen t/a und mehr. Darüber hinaus kann auch eine direkte Umwandlung sowohl biochemisch z.B. durch Vergärung bei der Ethanolproduktion als auch thermochemisch z.B. durch Hydrierung in der *Direktverflüssigung* erfolgen.

Die energetische Nutzung der Biomasse in der technischen Anwendung hat vergleichsweise zur Umwandlung fossiler Energieträger eine wesentlich kürzere Entwicklungszeit. Wie bei den Verfahren der Veredlung fossiler Energieträger so besteht auch bei den Verfahren zur Biomassenutzung die Aufgabe der Effizienzsteigerung durch wissenschaftlich-technische Entwicklungen. Die Ergebnisse einer solchen Bilanzierung und des darauf aufbauenden Vergleichs zeigen dafür die Richtung an.

Abschließend sei auch darauf hingewiesen, dass es zunehmend gilt, die Potentiale einer Kaskadennutzung noch mehr auszunutzen, als dies gegenwärtig erfolgt. Das bedeutet konkret bereits bei der stofflichen Verwendung, d.h. während der Produktion auf Stoffe zu verzichten, die eine spätere energetische Nutzung erschweren oder aufwändige Aufarbeitungspunkte erfordern; biogene Reststoffe zu identifizieren, die die zur Verfügung stehende Brennstoffbasis erweitern und durch Brennstoffmodifikation bzw. Anpassung der Feuerungstechnik einer energetischen Nutzung zugeführt werden können.

## 4. Netze und Speicher

### 4.1. Netze

Bereits im Jahr 2005 kam die dena-Netzstudie [25] zu dem Ergebnis, dass bei einem weiteren Ausbau der regenerativen Energien, vor allem der Windenergie, zur Handhabung der zunehmenden Fluktuation eine Erweiterung des deutschen Verbundnetzes unerlässlich ist. Das Übertragungsnetz muss die Transportkapazitäten für den Stromhandel bereitstellen und einen Anschluss für die Offshore-Windenergie bieten. Damals wurden zur Sicherstellung der Stromversorgung ein Neubau von 850 km Hochspannungstrassen und ein Ausbau von 392 km des bestehenden Übertragungsnetzes empfohlen. Damit sollte es möglich sein, erneuerbare Energien bis zu einem Anteil von 20 % an der Stromversorgung zu integrieren [26]. Die neue Netzstudie [10] ermittelt hingegen für einen Anteil von 39 % EE am Bruttostromverbrauch einen Bedarf an Trassenzubau von 3.600 km Länge bis zum Jahr 2020 im Basisszenario. Neue Technologien ergeben der Studie zufolge generell keine wirtschaftlichen Vorteile oder Einsparungen. So wurde beispielsweise das Freileitungsmonitoring (FLM) untersucht, bei dem die Betriebstemperatur von Leiterseilen überwacht wird und bei niedrigeren Temperaturen Belastbarkeitsreserven ausgeschöpft werden. Alternativ wurden hochtemperaturfeste Aluminiumleiterseile (TAL) betrachtet, die wesentliche höhere Betriebstemperaturen von etwa 150 °C aufweisen [10]. Für welche Variante man sich auch entscheidet, es sollte bedacht werden, dass mit dem Ausbau so früh wie möglich begonnen wird. Nicht nur aufgrund langwieriger Genehmigungsprozesse, sondern auch aufgrund von Akzeptanzfragen der Bevölkerung. Bis zur Fertigstellung der dena-II-Studie im Jahr 2010 wurden von den empfohlenen Trassen erst 90 km realisiert.

Dass ein Zubau mit fortschreitendem Ausbau der EE jedoch dringlich wird, kann man schon heute beobachten. Beispielsweise musste die HSN Magdeburg GmbH, ein Hochspannungsnetzbetreiber im Norden Sachsen-Anhalts, bereits im Jahr 2008 an 50 % der Tage im Jahr Strom in das vorgelagerte Höchstspannungsnetz speisen. Damit ergeben sich drastische Folgen für konventionelle Kraftwerke, denn um eine Überlastung des Hochspannungsnetzes zu vermeiden, müssen diese gedrosselt oder gar abgeschaltet werden [27].

Im deutschen Elektrizitätsversorgungssystem liegen die Engpässe in der Übertragung in den vorgelagerten Netzen. Diese Situation wird durch den zunehmenden dezentralen Ausbau von Erzeugungskapazitäten weiter verschärft. Eine mögliche

Lösungsalternative stellt der Aufbau von intelligenten Netzen (*smart grids*) dar, in denen Stromverbraucher, -speicher und -erzeuger kommunizieren können [28]. So könnte durch eine Flexibilisierung des Netzes die fluktuierende Stromerzeugung kompensiert werden. Es müssen also Speicherkapazitäten aufgebaut und auf der Nachfrageseite ein Lastmanagement (Demand-Side-Management DSM) eingerichtet werden. Gleichzeitig müssten hoch flexible Schattenkraftwerke als Backup zur Verfügung stehen. Ansonsten bleibt nur die Regelung bzw. Abschaltung der fluktuierenden Erzeuger.

## 4.2. Speicher

Speichertechnologien sind, wie bereits mehrfach angesprochen, ein wichtiger Schlüssel zur sicheren und zuverlässigen Energieversorgung durch erneuerbare Energien. Um Energie großtechnisch zu speichern, stehen verschiedene Energieformen zur Verfügung:

- thermische Energie: Wärmespeicher (sensibel, latent, thermochemisch),
- chemische Energie: Batterien, Wasserstoff, Erdgassubstitut (SNG),
- potentielle Energie: Pumpspeicherwerke, Druckluftspeicher, Schwungradspeicher.

Diese Speicher unterscheiden sich stark in ihrer Speicherkapazität, der Speicherdauer und dem Wirkungsgrad. Einen ersten Überblick gibt dazu das Bild 8. Es ist klar erkennbar, dass die größten Potentiale in den chemischen Speichern liegen.

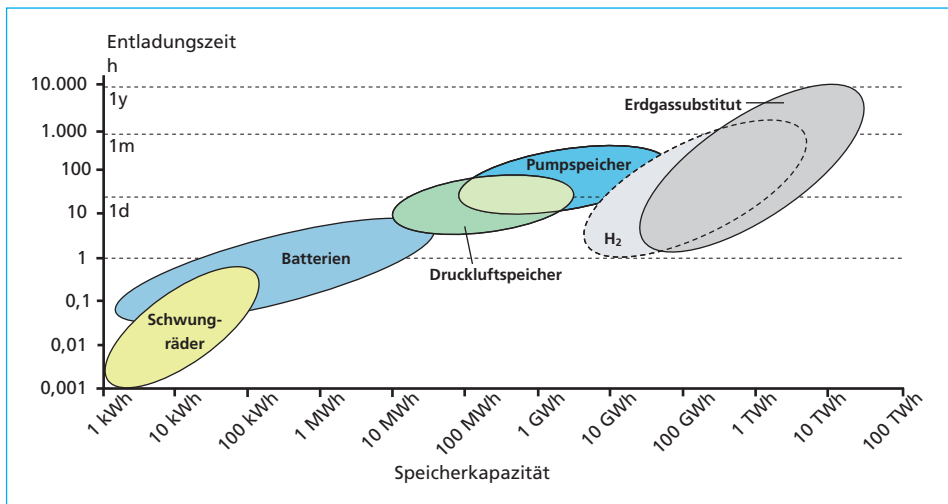


Bild 8: Entladungszeiten und Speicherkapazitäten verschiedener Speicherarten für elektrische Energie

Quelle: Specht, M.; Brellocks, J.; Frick, V. et al.: Speicherung von Bioenergie und erneuerbarem Strom im Erdgasnetz. In: ERDÖL ERDGAS KOHLE 126 (2010), Heft 10

Trotzdem soll auf die anderen Speicherarten kurz eingegangen werden. Bei den thermischen Speichern unterscheidet man neben dem physikalischen Prinzip (s.o.) auch nach der Speicherdauer in Kurzzeit-, Wochen- und saisonale Speicher

[29]. Unter den sensiblen Speichern ist Wasser das verbreitetste Speichermedium, da es günstig, umweltverträglich und technisch gut handhabbar ist. Zur Realisierung gibt es unterschiedlichste Konzepte, wie beispielsweise Erdbecken- oder Erdsondenspeicher [21]. Weitere Beispiele für sensible Speicher sind Festkörperspeicher (temperaturfester Beton) und Salzschnmelzen, wie beispielsweise im Solarkraftwerk Andasol 3. Latentwärmespeicher, wie Eis-, Paraffin- oder Natriumazetatspeicher, weisen höhere spezifische Wärmedichten auf und speichern die Energie in Aggregatzustandsänderungen [29]. Eine Langzeitspeicherung von Wärme ist durch chemische Bindungsenthalpie möglich. Eine beispielhafte Substanz dafür ist Kieselgel.

Bei Speichern für potentielle Energie sind Pumpspeicherkraftwerke die bekannteste Variante. In ihnen wird Wasser zwischen zwei Becken mit unterschiedlicher Höhenlage bewegt. Da dafür günstige geographische Rahmenbedingungen nötig sind, können in Deutschland die Kapazitäten dafür kaum erweitert werden. Die Systemwirkungsgrade liegen jedoch mit bis zu 85 % sehr hoch [30]. Alternativ dazu könnten Druckluftspeicher (Compressed Air Energy Storage – CAES) eingesetzt werden, bei denen Luft bei Stromüberschuss komprimiert und unterirdisch eingelagert wird. Bei Bedarf kann die Luft über eine Turbine entspannt werden. Diese Anlagen erreichen jedoch nur unter hohem technischem Aufwand von mehrstufiger Kompression und Wärmerückgewinnung theoretische Wirkungsgrade bis zu 65 % [30]. Weitere Technologien wie Schwungradspeicher oder supraleitende Magnetspeicher erreichen zwar hohe Speicherwirkungsgrade zwischen 80 bis 90 %, bieten jedoch nur geringe Speicherkapazitäten.

Die chemischen Speicher bieten gegenüber den anderen Technologien die größten Speicherkapazitäten bei hohen Entladungszeiten. Die Wasserstoffspeicherung erreicht Wirkungsgrade, in Abhängigkeit der Umwandlungskette, von 20 bis 35 % und liegt damit weit unter Batteriespeichern mit 60-80 %. Ein bereits diskutierter Ansatz ist die katalytische Konversion von Wasserstoff mit Kohlenstoffdioxid zu Erdgassubstitut (Substitute Natural Gas – SNG) [31]. Der große Vorteil dieser Speicherform liegt in der bereits vorhandenen Infrastruktur zum Transport und zur Verwertung. Das Gas kann nach seiner Aufbereitung im bestehenden Erdgasnetz transportiert und in hocheffizienten GuD-Kraftwerken verstromt werden. Während Pumpspeicherwerke bisher die größte Gesamtspeicherkapazität mit etwa 0,04 TWh haben, könnte unterirdisch gelagertes Erdgas eine Speicherkapazität von etwa 217 TWh erreichen [31].

Eigene Berechnungen zeigen, dass bei der elektrolytischen Wasserstofferzeugung im Fall von Überlastkapazitäten an elektrischer Energie im Verbund mit einem Oxyfuelkraftwerk [32] und einer anschließender Synthese des Wasserstoffs und CO<sub>2</sub> aus dem Oxyfuelprozess zu SNG ein Wirkungsgrad von 54 % erreicht werden kann (Bild 9). Gleichzeitig verbessert sich Wirkungsgrad des Oxyfuelprozesses aufgrund der Nutzung des über die Elektrolyse erzeugten Sauerstoffs (und damit Reduzierung des Eigenbedarfs) von etwa 39 % auf 47 %.

Das erzeugte SNG kann einerseits in den Gasleitungen selbst oder auch in entsprechenden Gasspeichern bei Bedarf einer nachfolgenden Nutzung z.B. in einem GuD zugeführt werden. Damit wären insgesamt ein elektrischer Wirkungsgrad der gesamten Umwandlungskette zwischen 30 und 35 % und ein Gesamtwirkungsgrad von etwa 49 % realisierbar.

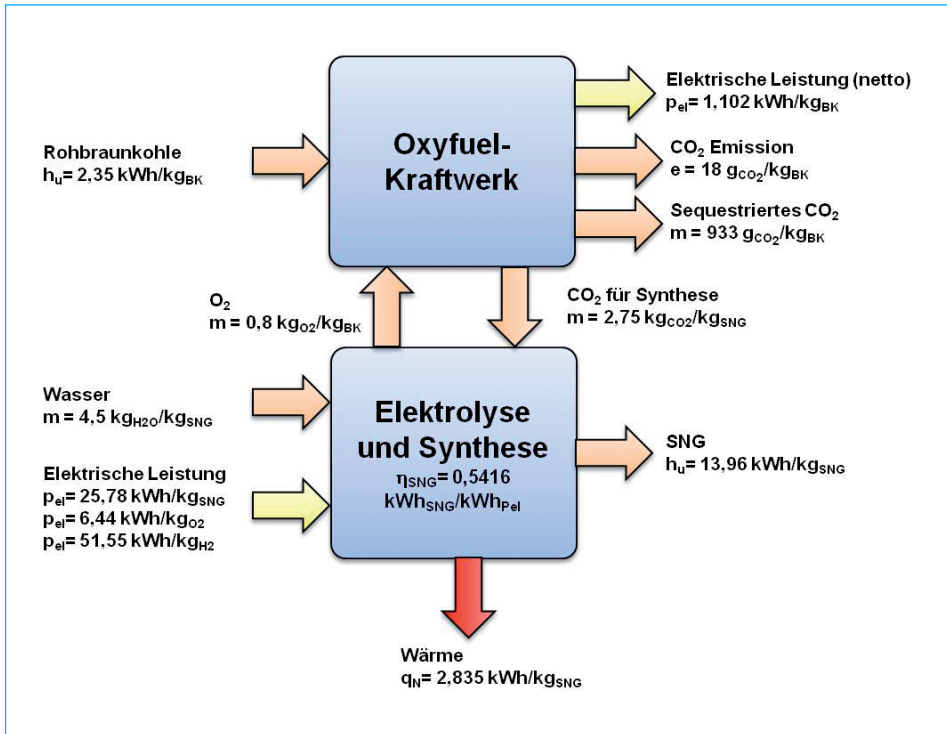


Bild 9: Erzeugung von SNG aufgrund von Überkapazitäten elektrischer Energie in Verbindung mit einem Oxyfuelprozess als Backup-Prozess

Weiter sind selbstverständlich auch Konzepte der Erzeugung flüssiger Produkte nach der Synthese möglich. Diese können dann noch einfacher und länger gespeichert werden. Allerdings sind hier weitere Umwandlungsverluste möglich.

## 5. Zusammenfassung

Der Überblick über den aktuellen Stand der Technik und des Ausbaus erneuerbarer Energien in Deutschland zeigt, dass das technische Potential für den weiteren Ausbau zunächst vorhanden ist und ausgeschöpft werden kann. Jedoch stehen der Entwicklung einer regenerativen, sicheren Energieversorgung mittlerweile andere Hindernisse im Weg. Beschränkungen ergeben sich zunehmend aus Sicht der Übertragung und Speicherung. Dazu kommen Barrieren in Bezug auf Finanzierung, Verwaltungsakte und Akzeptanz in der Bevölkerung. Daran wird deutlich, dass die zukünftige Energieversorgung nicht nur aus Sicht der technischen Möglichkeiten betrachtet werden kann. Energie dient dazu, bestimmte Bedürfnisse zu erfüllen. Es ist nicht allein Aufgabe der Erzeugerseite den Wandel in der Energieversorgung umzusetzen. Auch verbraucherseitig sind Anpassungen nötig. Im Fokus steht nicht nur der Energieverbrauch, sondern auch die Bereitschaft den Wandel zu tragen. Dabei sollte frei von Ideologie die



Art und Weise der Energiebereitstellung diskutiert werden. Wie wird die Energie für einen bestimmten Zweck (Wärme, Kraft, Mobilität) bereitgestellt? Welchen Zweck kann beispielsweise energetisch genutzte Biomasse am effizientesten erfüllen? Um eine nachhaltige Energieversorgung sicherzustellen, gilt es die strategischen Ziele (vgl. Kapitel 2) umzusetzen. Von dieser übergeordneten Ebene müssen Teilaufgaben abgeleitet werden. Um sich in der resultierenden Fülle der Teilgebiete nicht zu verlieren, muss die weitere Entwicklung ständig beobachtet und überprüft werden. Die strategischen Ziele sind bekannt, doch um sie zu erreichen müssen Orientierungshilfen in Form von Zielkorridoren geschaffen werden. Daran kann sich der fortschreitende Wandel der Energieversorgung messen lassen und gegebenenfalls beeinflusst werden.

## 6. Referenzen

- [1] AG Energiebilanzen e.V.: online <http://www.ag-energiebilanzen.de/viewpage.php?idpage=139>, abgerufen am 03.04.2011
- [2] Prognos AG (Hrsg.): Energieprognose bis 2010: die energiewirtschaftliche Entwicklung der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2010. Stuttgart, 1990
- [3] Schiffer, W.: Praxiswissen aktuell – Energiemarkt Deutschland. Köln, 2002
- [4] Nitsch, J.; Pregger, T.; Scholz, Y. et al.: *Leitstudie 2010* – Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Dezember 2010, online: [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010\\_bf.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2010_bf.pdf), abgerufen am: 03.04.2011, FKZ: 03MAP146
- [5] Schlesinger, M.; Lindenberger, D.; Lutz, C. et al.: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung Projekt Nr. 12/10 des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Berlin, Basel/Köln/Osnabrück, 2010, [http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energieszenarien\\_2010.pdf](http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/energieszenarien_2010.pdf), abgerufen am 03.04.2011
- [6] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Zahlen und Fakten Energiedaten – Nationale und Internationale Entwicklung. <http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/Statistik-und-Prognosen/Energiedaten/gesamtausgabe.html>, abgerufen am: 03.04.2011
- [7] Scholz, R.; Stürmer, T.: Hochtemperaturprozesse beim Recycling von Rohstoffen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): *Recycling und Rohstoffe*, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, 750 S.
- [8] 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
- [9] 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
- [10] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hrsg.): *dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick auf 2025*. Berlin, November 2010
- [11] Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU): *Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung*. Sondergutachten, Berlin, Januar 2011
- [12] Bundesverband WindEnergie e.V.: *Die Entwicklung der Windenergie in Deutschland 2010*. <http://www.wind-energie.de/de/statistiken/>, abgerufen am 03.04.2011
- [13] Schlegelmilch, K.: *Windenergie und Netzintegration von Erneuerbaren Energien in Deutschland und international*. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M.: *Erneuerbare Energien*, Band 4. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2010, S. 327-332

- [14] Molly, J. P.: Status der Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2010. [http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Statistics%20Pressemitteilungen/31.12.10/Foliensatz\\_2010.pdf](http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Statistics%20Pressemitteilungen/31.12.10/Foliensatz_2010.pdf), abgerufen am: 03.04.2011, DEWI GmbH, 2011
- [15] Wietschel, M.; Arens, M.; Dötsch, C. et al.: Energietechnologien 2050 – Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung – Politikbericht. Fraunhofer ISI (Hrsg.), Karlsruhe 2010, <http://www.bmwi.de/Dateien/BMWi/PDF/politikbericht-energietechnologien-2050.property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>, abgerufen am: 03.04.2011
- [16] Hudec, B.; Hoppe, U.; Riedel, C.: Photovoltaik – technische Entwicklungen und Perspektiven. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M.: Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2009, S. 461-467
- [17] Price, S.; Margolis, R.: 2008 Solar Technologies Market Report. U.S. Department of Energy (Hrsg.), 2010, <http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/46025.pdf>, abgerufen am 30.04.2010
- [18] Laschinski, J.; Nähr, C.: H5 Topologie ermöglicht Wirkungsgrad von über 98 %. [http://www.ihks-fachjournal.de/files/FJ\\_PDF/2006\\_2007/H5\\_Topologie\\_ermoeeglicht\\_Wirkungsgrad\\_von\\_ueber\\_98\\_Prozent.pdf](http://www.ihks-fachjournal.de/files/FJ_PDF/2006_2007/H5_Topologie_ermoeeglicht_Wirkungsgrad_von_ueber_98_Prozent.pdf), abgerufen am: 03.04.2011
- [19] Bundesverband Solarwirtschaft (BSW): Photovoltaikanlagen seit 2006 rund 50 Prozent billiger. <http://www.solarwirtschaft.de/medienvertreter/infografiken.html>, abgerufen am: 03.04.2011
- [20] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Erneuerbare Energien in Zahlen – Nationale und internationale Entwicklung, Berlin, 2010
- [21] Brendel, T.; Drück, H.; Heidemann, W. et al.: Thermische Solartechnik für die Bereitstellung von Kälte, Wärme und Strom. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M.: Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2010, S. 239-253
- [22] Beckmann, M.; Klemm, M.: Strategien der energetischen Biomassennutzung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall, Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2008, S. 5170
- [23] Carlowitz, O.; Vodegel, S.; Wollmann, A.: Energieeffizienz bei der energetischen Nutzung von Biomasse. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M.: Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2009, S. 283-296
- [24] Böhning, D.; Beckmann, M.: Dezentrale Biomassevergasung – Teerabbau durch primäre und sekundäre Maßnahmen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 299-320
- [25] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (Hrsg.): Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020 (dena-Netzstudie) – Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse der dena-Studie durch die Projektsteuerungsgruppe, 2005, [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Download/Dokumente/Projekte/ESD/netzstudie1/dena\\_netzstudie\\_1\\_zusammenfassung.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Projekte/ESD/netzstudie1/dena_netzstudie_1_zusammenfassung.pdf), abgerufen am: 03.04.2011
- [26] Kohler, S.: Ergebnisse der dena-Netzstudie. [http://www.dena.de/fileadmin/user\\_upload/Download/Dokumente/Projekte/ESD/netzstudie1/dena-Netzstudie\\_1\\_praesentation.pdf](http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Download/Dokumente/Projekte/ESD/netzstudie1/dena-Netzstudie_1_praesentation.pdf), abgerufen am: 03.04.2011
- [27] Kempmann, J.: Netzstabilität und Verfügbarkeit von Kraftwerken – Einfluss der Windenergie. In: Beckmann, M.; Hurtado, A. (Hrsg.): Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 1. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2009, S. 51-56
- [28] Herdan, T.; Krieger, G.; Zelinger, M.: Strommix in der EU27 – Entwicklung der Stromerzeugung in Europa von 2007 bis 2030. In: Beckmann, M.; Hurtado, A.: Kraftwerkstechnik – Sichere und nachhaltige Energieversorgung, Band 2. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2010, S. 21-36

- [29] Huhn, R.: Thermische Energiespeicher – Voraussetzung für den Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energiequellen. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M.: Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2010, S. 329-339
- [30] Kretschmer, R.: Druckluftspeicher – Technik, Chancen und Probleme. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Beckmann, M.: Erneuerbare Energien, Band 3. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2010, S. 317-327
- [31] Specht, M.; Brellocks, J.; Frick, V. et al.: Speicherung von Bioenergie und erneuerbarem Strom im Erdgasnetz. In: ERDÖL ERDGAS KOHLE 126 ( 2010), Heft 10
- [32] Weigl, S.; Wilhelm, R.; Hellfritsch, S. et al.: ADECOS II – Advanced Development of the Coal-Fired Oxyfuel Process with CO<sub>2</sub> Separation: Weiterentwicklung der verfahrens- und anlagentechnischen Grundlagen des Oxyfuel-Prozesses für Braun- und Steinkohle-Kraftwerke mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung. Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, FKZ: 0327743A



KVA Bozen (I)

Als international tätiges Ingenieurunternehmen **planen und realisieren** wir große und komplexe Projekte für die Infrastruktur und den Umweltschutz.

Im Bereich **Abfallbehandlung** realisieren wir europaweit seit Jahrzehnten erfolgreich namhafte Projekte für die Abfall- und Klärschlamm Entsorgung.

## Unsere Leistungen

### Studien, Gutachten

- Abfallbewirtschaftung
- Standort- und Verfahrensevaluation
- Technische «due diligence» Prüfung für die Projektfinanzierung
- Betriebs-, Störfall-, Risikoanalysen
- Umweltverträglichkeitsberichte



AVA Wels (Ö)

### Planung und Ausführung

- Gesamtanlage
- Verfahrenstechnik
- Prozessautomation und Elektrotechnik (EMSRL)
- Bauteil inklusive Logistik
- Projektmanagement
- Qualitätsmanagement
- Betriebsoptimierung



MHKW Ulm (D)