

Aretz, Astrid
Knoll, Michael

IÖW, IZT (2007)



waldzukünfte

Basispapier

Zukunftsfeld „Perspektiven energetischer Nutzung von Holz“

Im Rahmen des Projektes Zukünfte und Visionen
Wald 2100

Gefördert vom



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Die vorliegende Publikation wurde im Rahmen des Verbundprojektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100: Langfristige Perspektiven von Wald- und Landnutzung Entwicklungsdynamiken, normative Grundhaltungen und Governance“ erstellt.

„Zukünfte und Visionen Wald 2100“ wurde gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Förderschwerpunktes „Nachhaltige Waldwirtschaft“ (Projekträger Jülich, FKZ 0330789). Projektlaufzeit: März 2007 – November 2008.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Informationen und Ergebnisse: www.waldzukuenfte.de

Informationen zum Förderschwerpunkt: www.nachhaltige-waldwirtschaft.de

Impressum

Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung (IÖW)
Potsdamer Str. 105
10785 Berlin

Telefon: +49 (0)30 - 884 594 17
Telefax: +49 (0)30 - 882 54 39
www.ioew.de

E-Mail:
astrid.aretz@ioew.de

Institut für Zukunftsstudien und
Technologiebewertung (IZT)
Schopenhauerstraße 26
14129 Berlin

Telefon: +49 (0)30-80 30 88 10
Telefax: (0)30-80 30 88 88
www.izt.de

E-Mail:
m.knoll@izt.de

Berlin, Oktober 2007

Pressekontakt

Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung (IÖW)
Richard Harnisch
Potsdamer Str. 105
10785 Berlin

Telefon: +49 (0)30 - 884 594 16
Telefax: +49 (0)30 - 882 54 39
www.ioew.de

E-Mail:
kommunikation@ioew.de

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung, Ziele des Basispapiers	3
2. Zusammenfassung.....	3
3. Energetische Nutzung der Biomasse	6
4. Biomassepotenziale	8
4.1. Potenziale in Deutschland	9
4.1.1. Waldholz	10
4.1.2. Andere Biomassesortimente.....	13
4.2. Biomassepotenzial in der Europäischen Union.....	13
5. Umwandlungstechniken zur Nutzung von Dendromasse	14
5.1. Strom und Wärme	14
5.2. Flüssiger Bioenergieträger	16
5.3. Gasförmiger Bioenergieträger.....	18
5.4. Stück- oder Schüttgut	19
5.5. Holzkohle	19
6. Wichtige Einflussgrößen für die Entwicklung der Energieversorgung.....	20
6.1. Energienachfrage.....	20
6.1.1. Demographische Entwicklung	20
6.1.2. Wirtschaftliche Entwicklung	23
6.1.3. Energieeinsparung und Energieeffizienz	26
6.2. Ressourcenverfügbarkeit.....	29
6.3. Energie- und Klimaschutzpolitik	30
6.3.1. Energie- und Klimapolitik auf europäischer Ebene und Auswirkungen auf den Ausbau erneuerbarer Energien	30
6.3.2. Energie- und Klimapolitik auf nationaler Ebene und Auswirkungen auf den Ausbau erneuerbarer Energien.....	33
6.4. Innovationen.....	36
7. Entwicklungen im Energiesystem und der Bioenergienutzung bis 2020, 2050 und 2100.....	36
7.1. Strom- und Wärmeerzeugung.....	37
7.1.1. Referenzszenarien.....	37
7.1.2. Szenariogruppen zur zukünftigen Energieversorgung bis 2050	40
7.1.3. Szenarien zur zukünftigen Energieversorgung bis 2100	43
7.2. Verkehr.....	43
8. Bewertung der Robustheit von Szenarioannahmen und Trendaussagen	46
9. Tableaus zur Szenarienintegration	47
9.1. Einflussfaktor: Energie- und Klimapolitik	47

9.1.1.	Kurzbeschreibung	47
9.1.2.	Indikatoren.....	48
9.1.3.	Wirkungen	48
9.1.4.	Unsicherheiten	50
9.1.5.	Entwicklungen bis 2020/2050/2100.....	50
9.2.	Einflussfaktor: Strategischer Wendepunkt von Ölproduktion und -nachfrage	
	- „Peak-Oil“ (Fossile Energieverfügbarkeit).....	52
9.2.1.	Kurzbeschreibung	52
9.2.2.	Indikatoren.....	53
9.2.3.	Wirkungen	53
9.2.4.	Unsicherheiten	54
9.2.5.	Entwicklungen bis 2020/2050/2100.....	55
10.	Übersicht zu Studien der zukünftigen Energieversorgung	57
11.	Literatur	59

1. Einleitung, Ziele des Basispapiers

Die Basisstudie zielt darauf ab, zentrale Entwicklungen und Trends der zukünftigen Energieversorgung aufzuzeigen und die daraus resultierenden Implikationen für den Wald abzuleiten. Dafür muss die Nachfrageseite mit deren Bedarf nach verschiedenen Endenergien analysiert und darauf aufbauend untersucht werden, mit welchen Versorgungsstrukturen und Energieträgern der Nachfrage begegnet werden kann. Diese ist insbesondere auch vor dem Hintergrund der Ressourcenknappheit, internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz und anderen weltweiten Entwicklungen zu sehen. Hier ist von besonderer Relevanz, welchen Beitrag der Energieträger Holz leistet, wie viel davon aus deutschen Wäldern aber auch durch Agrarholz (schnellwachsende Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen) bereitgestellt und inwieweit das Angebot an Holzbrennstoffen durch Importe erweitert werden könnte.

Im Rahmen dieses Basispapiers wird zunächst ein Überblick über den heutigen Stand der Biomassenutzung in Deutschland für die Endenergieträger Strom, Wärme und Kraftstoffe gegeben. Danach werden maßgebliche Potenzialstudien zu Biomassepotenzialen vergleichend gegenübergestellt, um darzustellen, welches inländische Potenzial überhaupt zur Verfügung steht. Daran schließt sich eine grundsätzliche Darstellung der verschiedenen energetischen Nutzungsmöglichkeiten von Holz an.

Anschließend werden die wichtigsten Einflussgrößen für die zukünftige Energieversorgung erläutert und Entwicklungen für die zukünftige Energieversorgung sowie der Bioenergienutzung für die Jahre 2020, 2050 und 2100 aufgezeigt sowie die Robustheit der Szenarioannahmen und der Entwicklungen bewertet.

2. Zusammenfassung

Die energetische Nutzung der Biomasse hat eine lange Tradition. Wurde jedoch der Brennstoff über Jahrhunderte zunächst nur für die Wärmebereitstellung und zum Kochen eingesetzt, so wird die Biomasse in den letzten zwei Jahrzehnten auch in die sekundären Energieformen Strom und Biokraftstoffe umgewandelt. Diese Entwicklung wurde vor allem durch politische Rahmenbedingungen und Instrumente auf nationaler sowie europäischer Ebene forciert. In den letzten Jahren wurden starke Anreize für die verstärkte energetische Nutzung von Biomasse geschaffen. Der gestiegene Ölpreis in Kombination mit den eingeführten Anreiz- und Fördersystemen hat zu einem weiteren Aufschwung der Branche geführt.

Die politischen Förderziele zum Ausbau der energetischen Biomassenutzung werden vor allem mit den Argumenten des Klimaschutzes und der Versorgungssicherheit begründet. Die Nutzung erneuerbarer Energien wird als eine Strategie zur Reduktion klimarelevanter Gase angesehen und in diesem Kontext soll die Biomasse eine bedeutende Rolle übernehmen. Diese Haltung wird auch in der Koalitionsvereinbarung der neuen Bundesregierung von 2005 verdeutlicht, in der die energetische Nutzung von Biomasse als eine tragende Säule der zukünftigen Energieversorgung dargestellt wird. Diese Absicht steht im Einklang mit den Bestrebungen der Europäischen Kommission, die im Jahr 2005 eigens einen Aktionsplan für Biomasse veröffentlicht hat, dessen Absicht es ist, Aktivitäten zum EU-weiten Ausbau der Bioenergie vorzuschlagen.

Welche Bedeutung die Biomasse langfristig bis zum Jahr 2100 im Energiesystem einnehmen kann, wird kontrovers diskutiert und hängt u.a. von Faktoren wie dem politischen Gestaltungs-

willen, der Wettbewerbsfähigkeit und Verfügbarkeit von Ressourcen oder den im Zeitverlauf zur Verfügung stehenden Technologien und deren Diffusion ab. Zwei Treiber zeichnen sich als zentral für die weitere Entwicklung im Energiesektor ab: Zum einen wird die Ressourcenverfügbarkeit früher oder später die Substitution fossiler Energieträger erfordern und dabei könnte der Biomasse eine bedeutende Rolle bei der Substitution zukommen. Zum anderen wird eine konsequente Energie- und Klimapolitik im Bestreben, die klimarelevanten Gase zu reduzieren, auch in Zukunft auf die Nutzung der Biomasse als eine Teilstrategie zurückgreifen.

Die beiden Treiber wurden auf der Basis von Literaturlauswertungen von quantitativen und narrativen Energieszenarien identifiziert und werden im Folgenden auf der Grundlage der in den Szenarien entwickelten Argumentationsketten, Begründungszusammenhängen und zu Grunde gelegten Trends dargestellt.

Bei den für die Energie- und Klimapolitik Deutschlands skizzierten Entwicklungen zeichnen sich in dem Zeithorizont bis 2050 vier große mögliche Entwicklungslinien ab. Dies ist erstens eine sehr ambitionierte Klimaschutzpolitik, mit der das langfristige Ziel verfolgt wird, das Überschreiten der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre über den kritischen Wert von ca. 450 ppm (entsprechend einer mittleren globalen Temperaturerhöhung von ca. 2°C gegenüber der Periode 1980-99) zu verhindern. Deutschland und alle anderen Industriestaaten müssten die Klimagasemissionen bis 2050 auf rund 20 % des Wertes von 1990 senken. Das Ziel soll in Deutschland einerseits durch deutliche Effizienzsteigerungen und -einsparungen und andererseits durch einen massiven Ausbau erneuerbarer Energien bei gleichzeitigem Ausstieg aus der Kernenergie erreicht werden (DLR et al. 2004). Dazu müssten alle erneuerbaren Energieträger einen Beitrag leisten, insbesondere die Biomasse würde bis zur Potenzialgrenze ausgeschöpft und landwirtschaftliche Flächen würden in großem Maße zum Anbau von nachwachsenden Rohstoffen genutzt werden. Wie groß der dabei auf den Wald ausgeübte Nutzungsdruck ist, verdeutlicht der Beitrag zum Energieverbrauch. Die Primärenergie aus Biomasse betrüge dann im Jahr 2050 1.600 PJ, davon 360 PJ aus Wald- und Schwachholz, und die für nachwachsende Rohstoffe genutzte landwirtschaftliche Fläche 4,5 Mio. ha.

Die zweite diskutierte Strategie, dieses ambitionierte Klimaschutzziel zu erreichen, setzt auf die verstärkte Kohlenutzung mit anschließender CO₂-Abtrennung und Endlagerung sowie den Ausbau der Nutzung der Kernenergie, sei es durch Kernspaltung oder Kernfusion (Enquete-Kommission 2002). Dies würde zu einem deutlich geringeren Nutzungsdruck auf die Biomasse führen. Bis 2020 entspräche dies einem konstanten Beitrag zur Energiebereitstellung auf dem heutigen Niveau von etwa 400 PJ, der bis 2050 auf 700 PJ ansteigen würde.

Der dritte Entwicklungspfad skizziert einen moderaten Ausbau der erneuerbaren Energien bei gleichzeitigem Ausstieg aus der Kernenergie, wobei die ambitionierten Klimaschutzziele nicht erreicht werden können (EWI/ Prognos 2005). Der Anteil der erneuerbaren Energien steigt bis 2050 auf 10 %, aus Biomasse würden etwa 800 PJ bereitgestellt, was durch die bereits heute genutzten Quellen und durch einen stärkeren Anbau von nachwachsenden Rohstoffen auf landwirtschaftlichen Flächen erreicht werden kann.

In der vierten Entwicklungslinie ist die Energiewirtschaft stark auf ein versorgungssicheres Europa ausgerichtet (ENERDATA 2005). Damit gewinnt die Kohle weiter an Bedeutung, mit nachgeschalteter CO₂-Abtrennung und Endlagerung. Die Biomasse trägt auf gleichem Niveau wie bereits heute bis 2050 zur Energieversorgung bei, alle anderen erneuerbaren Energieträger

haben keine große Bedeutung. Landwirtschaftliche Flächen stehen für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen in großem Maßstab nicht zur Verfügung, denn der Nahrungsmittelimport aus Ländern außerhalb Europas ist politisch gedeckelt und behindert damit den Anbau nachwachsender Rohstoffe.

Die Entwicklungspfade bis zum Jahr 2100 sind weit weniger differenziert darstellbar und nur sehr grob skizzierbar. Als konsequente Weiterentwicklung der ersten Entwicklungslinie ist die solare Vollversorgung bis 2100 ein möglicher Pfad. Daneben werden Entwicklungen mit einem Mix aus fossilen und erneuerbaren Energieträgern möglich, wobei optional die Kernenergie ihren jetzigen Stellenwert für die Energieversorgung beibehält.

Das Eintreten des strategischen Wendepunktes von Ölproduktion und -nachfrage – „Peak-Oil“ bezeichnet den zweiten zentralen Treiber. Die Ölproduktion beginnt dauerhaft zu sinken. Ist dieser Zeitpunkt erreicht und besteht die Nachfrage nach Öl unvermindert oder erhöht sich sogar, ist nicht nur mit erheblichen Preissteigerungen und -schwankungen zu rechnen, sondern als Konsequenz sind gravierende weltweite Auswirkungen auf das Verhalten von Investoren und Konsumenten zu erwarten. Da der Rohstoff Öl weltweit der wichtigste Energieträger und auch Grundstoff vieler industrieller Werkstoffe ist, wird von erheblichen strukturellen Veränderungen in der Wirtschaft und in allen Bereichen, in denen Öl eine wichtige Funktion erfüllt hat (z.B. Transport), ausgegangen. Mögliche Entwicklungen stellen sich folgendermaßen dar:

In einem Szenario „Nachhaltiger Austausch“ (ECN 2005) wird das Eintreten von „Peak-Oil“ nicht als uneingeschränktes Desaster gesehen, sondern erweist sich vielmehr als hilfreich für die Kommerzialisierung von erneuerbaren Energietechnologien. Der Preisanstieg für CO₂-Gutschriften in Verbindung mit drastisch steigenden Preisen für fossile Energieträger führt zu einem Boom bei Offshore Wind und regionalen Bio-Brennstoffen. Durch die Etablierung von Nischenmärkten wird der internationale Handel mit erneuerbaren Energieträgern stimuliert und füllt die Lücken zwischen Energiebereitstellung und -nachfrage in fossilen Märkten. Neuen Akteuren aus den Landwirtschafts- und Nahrungsmittelindustriesektoren gelingt die großmaßstäbliche Konversion zu Energieanbietern und sie konkurrieren mit den traditionellen Playern im Energiesektor. Anfangs dominiert feste Biomasse für Strom- und Wärmeanwendungen. Später durchdringen Brennstoffe aus holzartiger Biomasse den Verkehrsmarkt und bestehen im Wettbewerb mit der ersten Generation von Biokraftstoffen wegen der höheren CO₂-Gutschriften. Solarstromimporte aus Nordafrika spielen eine wachsende Rolle im europäischen Strommarkt. Die BRICS-Länder unterstützen die internationale Klimapolitik im Gegenzug zum unbeschränkten Zugang zu europäischen und amerikanischen Märkten. Erhebliche Investitionen erfolgen in den Bereichen der CO₂-Sequestrierung und -speicherung sowie Atomausbau, um die Reduktionsziele zu erreichen. Der Transportsektor basiert sukzessive komplett auf steuerfreien Biokraftstoffen. Das Aufgeben der gemeinsamen Agrarpolitik (Subventionen) in Verbindung mit der Öffnung der Märkte für Entwicklungsländer hilft, die Steuerverluste zu kompensieren. Die Dynamik beim Ausbau von erneuerbaren Energien wird durch umfangreiche Energieeinsparungen ergänzt. Die industrielle Nachfrage nach Energie sinkt, weil es gelingt, den Einsatz von energieintensiven Rohstoffen zu vermindern. Neue Biorohstoffe, basierend auf neuen Prozessdesigns, erobern die Märkte. Im Haushaltsbereich sind die Veränderungen im Energiemix moderat, aber die hohen Energiepreise beschleunigen die Energieeffizienz und Verhaltensänderungen.

Heftiger Wettbewerb bestimmt das Szenario „Grenzenloses Europa“ (ECN 2005). Die Charakteristika der Energiedienstleistungen umfassen Aspekte wie Management auf der Haushaltsebe-

ne, eine stärkere Berücksichtigung von Umweltbelangen und sozialen Wirkungen. Darüber hinaus wird der Verbraucher zum Co-Produzenten von nachhaltigen Lösungen. Die Ausbildung eines diversifizierten Energiemarktes in Komfort, Mobilität und Neuheiten wird durch strenge Regulierungen zur CO₂-Minderung unterstützt. Energieinnovationen aus allen Teilen der Welt finden Zugang zu den europäischen Energiemärkten. Mikro-Kraftwärmekopplung und kleine erneuerbare Anlagen wie Solarzellen werden sich erfolgreich entwickeln. Auf der zentralen Ebene wird es kaum zu Veränderungen im Energiemix kommen, weil Angebot und Nachfrage geglättet sind. Lediglich CO₂-Sequestrierung und -speicherung werden wegen der CO₂-Gutschriften eine interessante Option. Die zunehmende dezentrale Erzeugung und die hohen Energieeinsparungen erfordern Infrastrukturen, die den Umgang mit fluktuierenden Energieflüssen erlauben. Die Dominanz von zentralen Strom- und Gasnetzen wird durch den Aufbau dezentraler Versorgungsnetze für Wärme, Wasserstoff und Biogas gemindert. Speichertechnologien gewinnen an Bedeutung.

Das „VLEEM-fossil“-Szenario (ENERDATA 2005) unterstellt eine Ressourcenerschließung heute noch nicht wettbewerbsfähiger Energieträger bei gleichzeitiger effizienter Abscheidung und sicheren Lagerung von CO₂-Strömen. In Europa werden bis 2050 pro Dekade 10 % CO₂-Minderungen realisiert. Der Primärenergieverbrauch wird sich von 80 EJ auf etwa 110 EJ bis 2100 erhöhen. Steinkohle erfährt eine Renaissance und die Nutzung von Kernenergie bleibt kaum vermindert über den gesamten Zeitraum von Bedeutung. Die Biomassenutzung findet auf niedrigem Niveau (5 % Primärenergieanteil in 2100) für dezentrale Wärmenutzung und im Verkehrsbereich statt, wobei in letzterem die wesentliche Substitution des Öls durch Erdgas erfolgt. Die CO₂-Emissionen werden auf 35 % des Niveaus von 1990 gesenkt.

Im „VLEEM-energy flows in nature“-Szenario wird von einem gut 50 %igen erneuerbaren Primärenergieanteil im Jahr 2100 ausgegangen. Der Primärenergieverbrauch in Europa liegt bei unvermindert 80 EJ. Der Einsatz von Erdöl halbiert sich bis 2030, bleibt auf diesem Niveau bis 2060 und wird dann bis 2100 sukzessive durch andere Energieträger vollkommen ersetzt. Von den 50 % Primärenergieanteil decken Biomasse 25 %, Solar in Europa 11 % und Wind 7 % ab. Den Rest bilden Stromimporte auf der Basis von solarthermischen Kraftwerken. Der Einsatz von Biomasse steigt bis 2040 auf den Stand, der konstant bis 2100 gehalten wird. Der Schwerpunkt der Biomassenutzung liegt zunächst in der Produktion von Treibstoffen, später zunehmend in der Wasserstoffproduktion und in der direkten Anwendung in der Industrie als Grundstoff. Die CO₂-Emissionen werden auf 35 % des Niveaus von 1990 gesenkt.

3. Energetische Nutzung der Biomasse

Die Biomassenutzung hatte in den letzten Jahren deutliche Zuwachsraten in den drei Bereichen Strom- und Wärmeerzeugung sowie Kraftstoffe zu verzeichnen. Neben den politischen Förderinstrumenten, die die Nutzung erneuerbarer Energien gegenüber den fossilen attraktiv machen - dies sind im Bereich der Biomassenutzung insbesondere das Marktanreizprogramm für den Wärmebereich, das Erneuerbare-Energien-Gesetz für den Strombereich und die Befreiung von der Kraftstoffsteuer -, hat vor allem der hohe Ölpreis für einen weiteren Aufschwung in der Branche geführt. Eine große Dynamik wies dabei der Kraftstoffsektor auf, der in den letzten Jahren kontinuierlich vor allem beim Biodiesel, aber zuletzt auch bei Bioethanol und Pflanzenöl, anstieg. Der Anteil biogener Kraftstoffe betrug mit 27,5 TWh im Jahr 2006 4,7 % des Kraftstoffverbrauchs des Straßenverkehrs (BMU 2007a). Seit Ende letzten Jahres verzeichnet die Bran-

che jedoch aufgrund der veränderten politischen Rahmenbedingungen starke Rückgänge. Mit der stufenweisen Besteuerung des bislang steuerbefreiten Rein-Biodiesels und Pflanzenöls und der gleichzeitigen Einführung von Beimischungsquoten ist der Preisvorteil gegenüber konventionellem Kraftstoff nicht mehr gegeben, was einen Nachfragerückgang und in der Folge eine Existenzbedrohung der Biodieselhersteller bedeutet.

Die erneuerbaren Energien im Wärmemarkt, der traditionell von der Biomasse dominiert wird, wachsen stetig und erfuhren im letzten Jahr nochmals einen beachtlichen Zuwachs. Die Nachfrage nach Biomasse im Wärmemarkt, in dem zum größten Teil der Brennstoff Holz zum Einsatz kommt, ist im Jahr 2006 um schätzungsweise 10 % gestiegen. Insgesamt wurden aus der gesamten Biomasse im Jahr 2006 rd. 84,1 TWh_{th} bereitgestellt. Das sind rd. 94 % der gesamten Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien. Der Anteil der Wärmebereitstellung aus Biomasse am gesamten Endenergieverbrauch für Wärme wird nach (BMU 2007a) auf 5,7 % geschätzt.

Bei der Stromerzeugung stellt die Biomasse mittlerweile nach der Windenergie und der Wasserkraft mit 27 % an der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien die dritte gewichtige Säule dar. Auch hier ist ein stetiger Ausbau der Kapazitäten zu verzeichnen. Im Jahr 2006 wurden 19,7 TWh_{el} aus Biomasse erzeugt, davon 7,2 TWh_{el} aus fester Biomasse. Bei der Verstromung der festen Bioenergieträger überwiegt Altholz mit 65 % bis 75 % der eingesetzten Brennstoffen, gefolgt von Industrierestholz und Sägenebenprodukten mit 20 % bis 25 % und Waldrestholz sowie Hölzer aus der Landschaftspflege mit zusammen ca. 10 % (BMU 2007c).

Deutliche Zuwächse hatte der Anteil der Bioenergie an der Gesamtstromerzeugung seit dem Inkrafttreten des EEG im Jahr 2000 zu verzeichnen. Das Gesetz und die Biomasseverordnung (BiomasseV), die regelt, welche Stoffe als Biomasse anerkannt, welche Verfahren zugelassen und welche Umweltauflagen zu erfüllen sind, hat vor allem attraktive Rahmenbedingungen für die Verstromung von Altholz geschaffen, denen zufolge bei Genehmigung bis 2004 Altholz als Biomasse im Sinne des EEG anerkannt wird. Dies führte zu einer praktisch vollständigen Ausschöpfung des Potenzials, das vorrangig in großen Anlagen bis zu 20 MW umgewandelt wird, die noch unter das EEG fallen. Auch die Stromgewinnung aus Biogas erfuhr einen deutlichen Zubau bei kleineren Anlagen, in denen neben landwirtschaftlichen Reststoffen vorzugsweise Gülle und andere, organische Reststoffe (Altfette) eingesetzt werden.

Mit dem EEG stieg auch die Einspeisung von Strom aus Industrierestholz und Sägenebenprodukten an. Allerdings war die energetische Nutzung des Restholzes für Holzver- und -bearbeiter auch schon vorher wirtschaftlich lukrativ. ...

In Abbildung 3-1 ist die Entwicklung der Endenergiebereitstellung aus Biomasse in den Jahren zwischen 1990 und 2006 für die Bereiche Strom, Wärme und Kraftstoffe dargestellt.

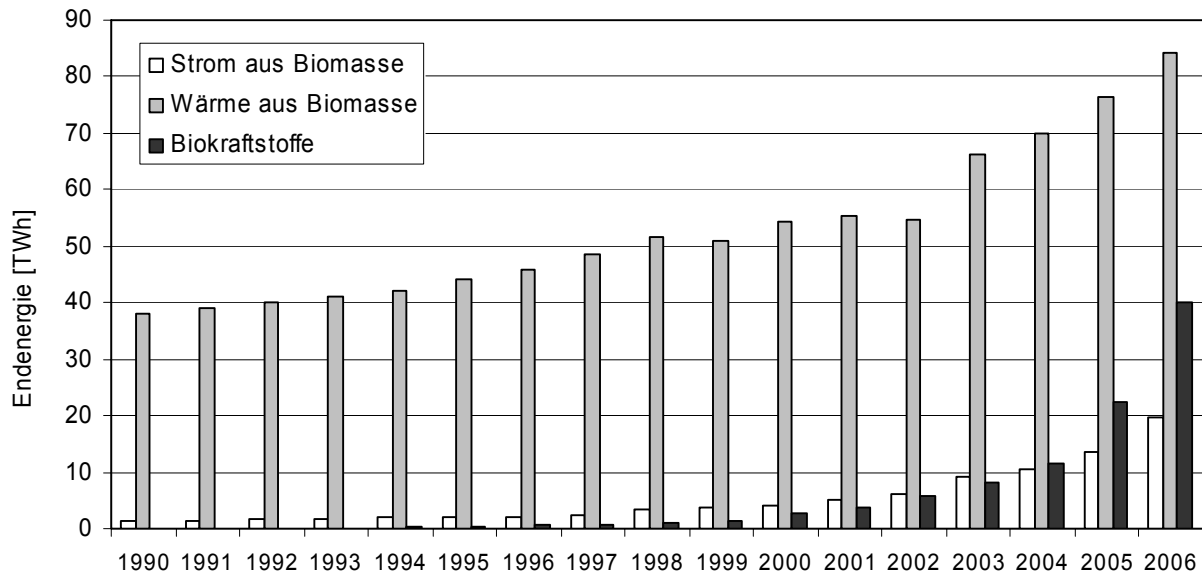


Abbildung 3-1: Energiebereitstellung aus Biomasse in den Jahren 1990 bis 2006 (BMU 2007b)

Mit dem Zubau der Kapazitäten ist aber auch die technologische Entwicklung weiter vorangeschritten. So lösen bei der Wärmeerzeugung im Kleinfeuerungsbereich moderne Pellet- und Scheitholzvergaserkessel beim Zubau traditionelle, mit Scheiten beheizte Öfen mehr und mehr ab. Bei den stromerzeugenden Techniken werden zunehmend innovative ORC-Anlagen in Betrieb genommen, die über den Technologie-Bonus im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes eine zusätzliche Förderung erhalten. Auch bei den Dampfturbinenprozessen sind Weiterentwicklungen hinsichtlich einer besseren Auslegung auf die spezifischen Anforderungen an die Biomasse zu verzeichnen sowie Bestrebungen bei der Effizienzsteigerung und Emissionsminderung (BMU 2006). Im Kraftstoffbereich sollen Forschungsarbeiten zu den Kraftstoffen der 2. Generation deren Entwicklung weiter vorantreiben. Zusammenfassend lässt sich also feststellen, dass sich neben dem quantitativen Ausbau der Biomassenutzung ein Trend zu effizienteren und emissionsärmeren Umwandlungsanlagen abzeichnet.

4. Biomassepotenziale¹

Bei der in Kapitel 3 beschriebenen Dynamik stellt sich die Frage, wie viel Potenzial bei unverminderten Steigerungsraten für die energetische Nutzung zur Verfügung steht, ohne Anforderungen an eine nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen (Ressourceneffizienz, Flächeninanspruchnahme, Wertschöpfung) zu unterminieren. Erste Hinweise deuten bereits auf eine Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung hin, was u.a. darin zum Ausdruck kommt, dass die Preisbildung in bestimmten Holzsegmenten sich an der Entwicklung der Rohölpreise orientiert und regionale bzw. temporäre Versorgungsengpässe zu Produktionseinschränkungen in der Zellstoffindustrie geführt haben.

¹ Dieses Kapitel ist inhaltlich (Aretz/ Hirschl 2007) entnommen.

4.1. Potenziale in Deutschland

Es wurden in den letzten Jahren verschiedene Potenzialanalysen durchgeführt, deren Ergebnisse eine große Spannweite aufweisen. Dabei stützen sich die Angaben zum Waldholzpotenzial auf wenige Primärdatenquellen und daher sind die zu Grunde liegenden Annahmen fast ausschließlich verantwortlich für die große Streuung. Die wohl wichtigste Primärdatenquelle für das Waldholzsortiment ist die Bundeswaldinventur, die in der Periode von 1986 bis 1988 erstmalig für die gesamten alten Bundesländer basierend auf Stichproben erhoben wurde, um damit Aussagen über den Waldbestand zu generieren. In der Deutschen Demokratischen Republik wurde ebenfalls von 1970 bis 1990 nach einem einheitlichen Verfahren der so genannte Datenspeicher Waldfonds (DSWF) zur Bestimmung des Holzvorrats erfasst, der bis zum Jahr 1993 fortgeschrieben wurde (DSWF 1993). Der Bedarf nach der Wiedervereinigung nach einer bundeseinheitlichen Inventur konnte allerdings durch diese beiden Datensätze nicht gedeckt werden, da die zu Grunde liegenden Methoden nicht vereinbar waren. So wurde in den Jahren 2001 und 2002 erneut eine Inventur nach der Methode der 1. Bundeswaldinventur durchgeführt, mit der für die gesamte Bundesrepublik eine Bestandsaufnahme durchgeführt werden konnte, eine Wiederholungsaufnahme für die alten Bundesländer, für die neuen Bundesländer eine Erstaufnahme (BWI 2005). Für andere Biomassesortimente existieren weitere Datenquellen, auf die jeweils bei der Beschreibung der Studien eingegangen wird. Eine Übersicht über die verschiedenen Biomassesortimente ist in Abbildung 4-1 gegeben.

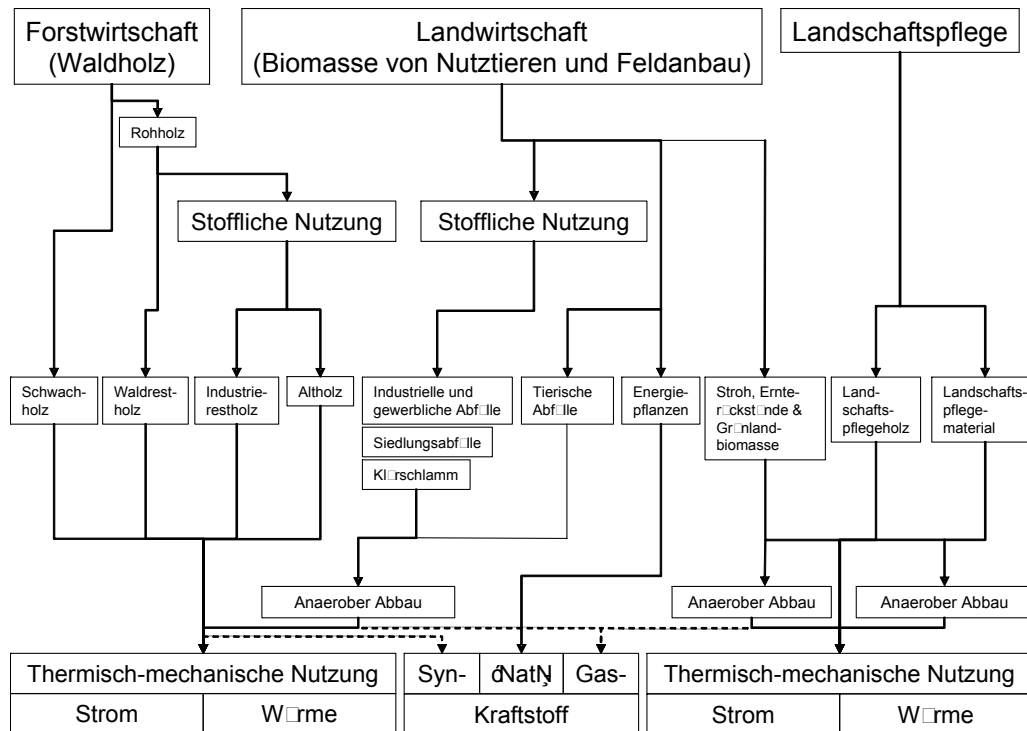


Abbildung 4-1: Übersicht über Biomassesortimente

4.1.1. Waldholz

Die zentrale Studie zum Holzpotenzial ist die „Abschätzung des Rohholzpotenzials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland“ (Dieter et al. 2001) der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Hamburg, der umfassende Berechnungsgrundlagen (Waldflächen, Umtriebszeiten, Ertragstabeln, Bereitstellungsverfahren) zu Grunde gelegt wurden. Sie dient in vielen Studien als Primärdatenquelle (FNR 2005; Kaltschmitt et al. 2003; Leible et al. 2003; Scheuermann et al. 2003) oder als Grundlage für weitere Berechnungen (Fritsche et al. 2004). Ihr liegen die Datensätze der 1. Bundeswaldinventur sowie der Datenspeicher Waldfonds aus dem Jahre 1993 zu Grunde (BWI 1987). Das impliziert, dass für die Berechnung dieser Waldholzpotenziale nicht die aktuellste vorhandene Datenbasis herangezogen wurde.

Ende 2006 wurde im Rahmen der Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft auf Basis der 1. und 2. Bundeswaldinventur eine Analyse des Holzvorrates im Jahr 2002 und zum künftigen Rohholzaufkommen von 2003 bis 2022 von der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft vorgenommen (Polley / Kroihner 2006). Das künftige Rohholzaufkommen wird anhand eines Basisszenarios und vier weiteren Szenarien mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen ermittelt. Ein zentrales Ergebnis der Studie ist die Aussage, dass in dem Basisszenario das jährliche potenzielle Rohholzaufkommen im Zeitraum 2003 bis 2022 um 19 % über der Nutzungsmenge in den 15 Jahren davor liegt. Dabei werden rund 90 % des Zuwachses genutzt und der stehende Holzvorrat steigt um 5 %. Doch unterscheidet sich das künftige Nutzungspotenzial erheblich hinsichtlich seiner Baumarten-, Durchmesser- und Eigentümerstruktur von der Nutzung in den Jahren 1987 bis 2002. So ist das Potenzial vor allem beim Laubholz besonders groß, wohingegen bei den Nadelbäumen Zieldurchmesser und das vorgesehene Nutzungsalter noch nicht erreicht werden und entsprechend der Vorrat unter den Werten der Jahre 1987 bis 2002 liegt. Große Potenziale mit bislang ungenutzten Ressourcen birgt vor allem der Privatwald und hier insbesondere der Kleinprivatwald. Im Staatswald dagegen sind die Nutzungspotenziale in der Vergangenheit nahezu ausgeschöpft worden.

Mit dieser Studie liegt eine Datenbasis für das Rohholzaufkommen vor, in die auch die aktuelleren Ergebnisse der 2. Bundeswaldinventur eingeflossen sind. Allerdings lassen sich hieraus nicht unmittelbar Aussagen über das Rohholzpotenzial für die energetische Nutzung ableiten. Energetisch nutzbar sind bspw. auch Laub und Nadeln, die entsprechend beim energetischen Potenzial berücksichtigt werden müssen, allerdings in das Rohholzpotenzial, wie es in (Polley / Kroihner 2006) bestimmt wurde, keinen Eingang finden.

Das Waldholzpotenzial setzt sich aus den Kompartimenten Rohholz, Waldrestholz und Schwachholz zusammen. Als Waldrestholz werden die bei der Stammholzernte verbleibenden erntetechnisch bedingten Rückstände, Nebenprodukte und Abfälle bezeichnet. Es setzt sich aus dem nicht verwerteten Holz (X- oder NV-Holz) inklusive nicht aufgearbeitetem Kronenderbholz sowie Rinde und Reisig zusammen. Da Waldrestholz nur beim Stammholzeinschlag anfällt, sind die Aufkommensmengen eng an die Rohholznutzung geknüpft. Schwachholz umfasst den Teil des Waldholzes, der z. B. im Rahmen von Pflegemaßnahmen eingeschlagen werden muss, aber gegenwärtig kaum stofflich genutzt wird. Oft wird für Waldrestholz in Verbindung mit Schwachholz auch die Bezeichnung Waldenergieholz verwendet. In (Dieter et al. 2001) setzt sich das Waldholzpotenzial aus dem Waldrestholz und dem Schwachholz zusammen. Für das Schwachholz, für dessen Bestimmung eine Durchmesserobergrenze von 16 cm festgelegt und

darüber hinaus eine stoffliche Nutzung unterstellt wurde, wurden die Szenarien mit zwei unterschiedlichen Mindestdurchmessern für die Hackung von Schwachholz berechnet, zum einen ab 8 cm Durchmesser und in dem anderen Fall ab 12 cm Durchmesser. Dadurch vergrößert sich das Schwachholzpotenzial bei dem geringeren Durchmesser von 4,27 Mio. t_{atro}/a auf 6,99 Mio. t_{atro}/a , mit entsprechenden ökonomischen Konsequenzen, die sich in höheren Bereitstellungskosten niederschlagen. Das Waldrestholzpotenzial wird mit 9,59 Mio. t_{atro}/a quantifiziert. Daraus ergibt sich insgesamt ein Potenzial für Waldenergieholz von 16,59 Mio. t_{atro}/a (bei 8 cm Mindestdurchmesser) bzw. 13,86 Mio. t_{atro}/a (bei 12 cm Mindestdurchmesser).

In (Fritsche et al. 2004) wird ein deutlich geringeres Potenzial für Waldrest- und Schwachholz angegeben. Auch dieser Studie liegen die Daten aus (Dieter et al. 2001) zu Grunde, doch wurden weitere restriktive Annahmen unterstellt, die zu einer Verringerung des Potenzials führen. In (Dieter et al. 2001) wurde neben weiteren Annahmen von einer 100 %igen Ausnutzung des Rohholzes für die stoffliche Nutzung ausgegangen, mit unmittelbaren Auswirkungen auf das Waldrestholz. In (Fritsche et al. 2004) hingegen wurde nur eine 67 %ige Ausnutzung des Rohholzes im Jahr 2000 unterstellt, mit einem Anstieg auf 78 % im Jahr 2030. Die Annahmen stützen sich auf die vorangegangene Entwicklung des Rohholzeinschlags. Neben dem Ausschluss der Kernzonen der Naturschutzgebiete und Biosphärenreservate werden weitere Naturschutz- und Nachhaltigkeitsanforderungen unterstellt und bei der Nutzungskonkurrenz zwischen der stofflichen und energetischen Nutzung wird eine differenzierte Unterscheidung vorgenommen.

In (FNR 2005; Kaltschmitt et al. 2003; Scheuermann et al. 2003) wird neben dem Waldrestholz und dem Schwachholz zusätzlich auch ein Teil des Rohholzes als aktivierbares Potenzial angesehen. Rohholz bezeichnet im Allgemeinen den Zuwachs an Holz, der für eine stoffliche Nutzung eingeschlagen wird. Im Hinblick auf eine energetische Betrachtung stellt es jedoch den Teil des zuwachsenden Waldholzes dar, der stofflich nicht verwertet wird und daher theoretisch als Energieholzpotenzial zur Verfügung stünde. Als Grundlage zur Berechnung dieses Energieholzpotenzials dienen Angaben zum jährlichen Rohholzzuwachs und zum jährlichen Einschlag für die stoffliche Nutzung, die aus der Bundeswaldinventur (BWI) und Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes entnommen werden können. Kernzonen aus Nationalparks und Biosphärenreservaten werden in den Potenzialberechnungen nicht berücksichtigt. (Kaltschmitt et al. 2003) führen ihre Berechnungen anhand von Werten aus dem Statistischen Jahrbuch der BRD (von 2001) mit einem Zuwachs von 53 Mio. m^3/a und einem Einschlag von 38 Mio. m^3/a (jährliches Mittel von 1992-2000) durch. Aus der Differenz ergibt sich das potenziell für eine energetische Verwertung zur Verfügung stehende Rohholz von 15 Mio. m^3/a (bzw. 7,5 Mio. t TS), was einem Energiepotenzial von 140 PJ/a entspricht. Auch (Scheuermann et al. 2003) gehen davon aus, dass im Mittel nur ca. 70 % des am Markt absetzbaren Rohholzes zu stofflichen Verwertungszwecken eingeschlagen werden und deshalb ca. 7,5 Mio. t TS (bzw. 132 PJ/a) energetisch genutzt werden könnten.

In (Dieter et al. 2001) sowie in (Fritsche et al. 2004) wird im Rohholz kein zusätzlich aktivierbares Potenzial gesehen. Als Begründung für diese Annahme wird angeführt, dass die Kostendeckung durch die stoffliche Nutzung des Stammholzes erzielt wird und mit dem Waldrestholz nur ein zusätzlicher Ertrag erreicht werden kann. Ob jedoch von den verbleibenden 30 % auch ein Teil für die stoffliche Nutzung kostendeckend eingeschlagen werden und somit das Waldrestholzpotenzial erhöht werden könnte, ist eine offene Frage. Des weiteren ist nicht zu erwarten, dass der gesamte jährliche Zuwachs einer Nutzung zur Verfügung steht, da bspw. Holz aus

Privatwäldern schwer zu aktivieren ist. Das gesamte, derzeit nicht genutzte Waldholz als Potenzial für Energieholz anzusehen, ist insofern als nicht realistisch zu bewerten. In Tabelle 4-1 sind die verschiedenen Literaturquellen mit den Potenzialangaben dargestellt. Die fett gedruckten Werte geben die Spannbreite der genannten Potenziale wider.

Tabelle 4-1: Energiepotenziale aus Wald-, Waldrest- und Schwachholz

Energie-träger	Datenart	Dieter/ Englert 2001, Leible 2003	Kaltschmitt 2003	Scheuermann 2003	FNR 2005b ⁽⁶⁾	Fritsche/ Dehoust 2004	Marutzky 2003, 2004	
Waldrest- holz	energetisch nutzbare Menge [Mio. t TS/a]	9,59	9,60	13,70 (FM) ⁽¹⁾	13,70 (FM) ⁽¹⁾	4,6		
		4,6-9,6 Mio. t TS/a						
	Energiepotenzial [PJ/a]		178,00	169,00	169,00	149,0 ⁽²⁾		
		80-180 PJ/a						
Schwach- holz BHD 8-16 cm	energetisch nutz- bare Menge [Mio. t TS/a]	8-12 cm	2,72	7,00	10,00 (FM) ⁽¹⁾	10,00 (FM) ⁽¹⁾	1,93	
		12-16 cm	4,27				1,87	
		8-16 cm	4-7 Mio. t TS/a					
	Energie- potenzial [PJ/a]	8-12 cm		130,00	123,00	123,00		
		12-16 cm						
			8-16 cm	110-130 PJ/a				
Waldholz	Zuwachs [Mio. m ³ /a]		53 ⁽³⁾	57,4 ⁽⁵⁾			57	
			~57 Mio. m³/a					
	energetisch nutzbare Menge [Mio. t TS/a]			7,5	7,5	10,70 (FM)		10 (FM) oder 14,6 Mio. m ³ /a
			7,5 Mio. t TS/a					
	Energiepotenzial [PJ/a]			140,0 ⁽⁴⁾	132,0 ⁽⁴⁾	132,0	140,0 ⁽⁷⁾	
		132 bis 140 PJ/a						

⁽¹⁾ Frischmassegewicht bei einem Wassergehalt von 30 % (entspricht den Trockensubstanzmengen von Dieter / Englert (2001))

⁽²⁾ Energiepotenzial von Waldrestholz und Schwachholz zusammen

⁽³⁾ Kaltschmitt et al. 2003 sprechen hier vom vermarktbareren Zuwachs. Als Rohholzzuwachs geben sie 57,4 Mio. m³ an.

⁽⁴⁾ Die Differenz der Energiepotenziale trotz gleicher TS-Werte für die energetisch nutzbare Menge erklärt sich durch die unterschiedlichen Wassergehalte und Heizwerte der zur Berechnung herangezogenen Massen.

⁽⁵⁾ 57,4 Mio. m³ entsprechen 28,7 Mio. t TS.

⁽⁶⁾ Werte sind von Scheuermann et al. 2003 übernommen. Energetisch nutzbare Menge von 10,7 Mio. t FM (mit Wassergehalt 30 %) entspricht 7,5 Mio. t TS.

⁽⁷⁾ Theoretisches Potenzial, das jedoch in der Studie keine Berücksichtigung findet.

4.1.2. Andere Biomassesortimente

Eine Übersicht über die Potenziale der anderen Sortimente wird in Tabelle 4-2 gegeben. Eine detaillierte Beschreibung und die jeweilige Literatur ist in (Aretz/ Hirschl 2007) zu finden.

Tabelle 4-2: Übersicht über Biomassepotenziale

Energieträger	Brennstoffpotenzial [PJ/a]
Waldrestholz	80-180
Schwachholz	110-130
Industrierestholz	55 - 58
Altholz	80
Landschaftspflegeholz	4
Landwirtschaftliche Abfälle und Reststoffe	135 - 200
Landschaftspflegematerial	10 - 22
Industrielle und gewerbliche Abfälle	9 (Biogaspotenzial)
Siedlungsabfälle	12 (Biogaspotenzial)
Summe	500 - 700
Zusätzlich aktivierbares Potenzial	
Energiepflanzen	etwa 300
Waldholz	max. 140

4.2. Biomassepotenzial in der Europäischen Union

Das Biomassepotenzial der EU-25 für den Zeitraum bis 2030 hat die Europäische Umwelt Agentur (2005) abgeschätzt (vgl.

Tabelle 4-3). Bis 2010 beträgt das Biomassepotenzial mehr als 7.700 PJ. Davon sind mehr als die Hälfte Müll und Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft. Die andere Hälfte bilden zu annähernd gleichen Teilen Holz und Energiepflanzen. Bis zum Jahr 2030 erwarten die Autoren der Studie, dass der Anteil der Energiepflanzen am gesamten Biomassepotenzial auf ein Drittel bis knapp die Hälfte zunehmen wird.

Tabelle 4-3: Biomassepotenzial der EU-25 für Energieproduktion

Ressourcenart	Biomasseverbrauch 2003 (PJ)	Potenzial 2010 (PJ)	Potenzial 2020 (PJ)	Potenzial 2030 (PJ)
Waldholz (Zuwachs und Abfall)	2.805	1.800	1.633-1.884	1.633-3.015
Abfall (Industrie, Landwirtschaft)		4.187	4.187	4.271
Energiepflanzen	84	1.800-1.926	3.182-3.936	4.271-5.945

Gesamt	2.889	7.788-7.913	9.002-10.007	10.174-13.231
---------------	--------------	--------------------	---------------------	----------------------

Quelle: EEA 2005; (Zahlen illustrieren nur den Energieinhalt der Ressourcen)

5. Umwandlungstechniken zur Nutzung von Dendromasse

Grundsätzlich können die Rohstoffe der Forstwirtschaft energetisch oder stofflich genutzt werden, wobei sich nach der stofflichen oft noch die energetische Nutzung anschließt. Ziel der energetischen Nutzung ist es, dem Verbraucher durch Veredelungsprozesse für verschiedene Anwendungen Endenergieträger² bereitzustellen. Für diese werden unterschiedlichen Techniken benötigt, auf die in dem folgenden Kapiteln näher eingegangen wird. Das Spektrum der Endenergieträger umfasst dabei die folgenden:

1. Strom
2. Wärme
3. flüssiger Bioenergieträger
4. gasförmiger Bioenergieträger
5. Stück- oder Schüttgut wie Scheite, Pellets, Hackschnitzel
6. Holzkohle

5.1. Strom und Wärme

Die Bereitstellung der Endenergieträger Strom und Wärme erfolgt oft gekoppelt in so genannten Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK). Die erzeugte Elektrizität wird überwiegend in das öffentliche Netz eingespeist und kann dabei nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vergütet werden. Die Wärme kann zur Deckung des Eigenbedarfs eingesetzt oder in Nah- oder Fernwärmenetze eingespeist werden. Auch die ausschließliche Erzeugung von Wärme in Heizwerken ist eine übliche Nutzungsform. Wegen der Vergütung von Strom aus Biomasse über das EEG, nicht aber der Wärme, die nur für den Marktpreis veräußert werden kann, sind in den letzten Jahren auch Biomassekraftwerke erbaut worden, die, abhängig von der eingesetzten Technik, gegenüber KWK-Anlagen einen besseren elektrischen Wirkungsgrad aufweisen.

In Abbildung 5-1 sind die Umwandlungstechniken dargestellt. Diese unterscheiden sich dadurch, dass bei einigen der Brennstoff direkt verbrannt wird, bei anderen der Brennstoff zunächst vergast wird. Bei den Techniken ORC-Anlage, Dampfkraftanlage und Stirlingmotor bzw. geschlossene Gasturbine wird die Biomasse direkt verbrannt und die thermische Energie über einen Wärmetauscher an ein anderes Medium übertragen (Thermoöl bei der ORC-Anlage, Wasser bei der Dampfkraftanlage und verschiedene Gase beim Stirlingmotor (z.B. Helium oder Wasserstoff) bzw. bei der geschlossenen Gasturbine). Die thermische Energie wird dann über Turbinen oder einen Stirlingmotor umgewandelt.

Die andere Option ist die Vergasung, bei der Biomasse bei hohen Temperaturen möglichst vollständig in einen gasförmigen Energieträger (d. h. Brenngas) umgewandelt wird. Dabei wird der erhitzten Biomasse ein sauerstoffhaltiges Vergasungsmittel (z. B. Luft, Wasserdampf) zugeführt. Dadurch werden die organischen Stoffe in gasförmige Verbindungen (H₂, CH₄) aufgespalten und der zurückbleibende Kohlenstoff wird zu Kohlenstoffmonoxid teilverbrannt. Die dafür

² Endenergieträger bezeichnet einen Energieträger, der vom Verbraucher für die Umwandlung in Nutzenergie bezogen wird.

erforderliche Prozesswärme wird meist durch eine teilweise Verbrennung der eingesetzten Biomasse bereitgestellt. Das produzierte niederkalorische Brenngas kann in Brennern zur Wärmebereitstellung oder in Gas-Otto-Motoren oder -turbinen oder in Brennstoffzellen zur Strom- bzw. Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt werden.

Die Vergasung der Biomasse stellt eine viel versprechende Option dar, insbesondere zur Stromerzeugung. Dies gilt aufgrund der realisierbaren hohen elektrischen Wirkungsgrade und wegen der zu erwartenden prozessbedingten geringeren Emissionen im Vergleich zu einer Stromerzeugung über eine direkte Biomasseverbrennung. Deshalb wurden in den letzten Jahren auch erhebliche Forschungsanstrengungen unternommen, diese Technologie großtechnisch verfügbar zu machen. Dies ist bisher aber nur teilweise gelungen. Anlagen zur Stromerzeugung existieren derzeit, abgesehen von einigen Kleinanlagen, nur als Demonstrationsprojekte im Rahmen entsprechender Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Dies liegt darin begründet, dass es noch erhebliche technische Probleme insbesondere bei der Gasreinigung gibt. Die vergaste Biomasse weist, je nach Vergasungstechnologie, hohe bis sehr hohe Staubgehalte und teilweise erhebliche Anteile an kondensierbaren organischen Stoffen auf. Die nachgeschalteten Umwandlungstechniken verlangen jedoch ein weitgehend kondensat- und staubfreies Brenngas (FNR 2005).

Daneben stellt sich als weitere Option dar, die Dendromasse zu verflüssigen (Pyrolyse). Dabei werden die organischen Stoffe unter Einfluss von Wärme und ggf. weiteren Stoffen (thermische Zersetzung) mit dem Ziel einer möglichst hohen Ausbeute an flüssigen Komponenten veredelt. Zusätzlich entstehen gasförmige und feste Produkte, die teilweise zur Energiebereitstellung für den Pyrolyseprozess selbst genutzt werden. Die produzierten Energieträger können anschließend, nach einer entsprechenden Reinigung bzw. Aufbereitung, als Brennstoff in geeigneten Feuerungsanlagen oder als Treibstoff in Motoren oder Gasturbinen zur Strom- und/oder Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Der wesentliche Vorteil dieses Verfahrens ist es, vormals feste Dendromasse in flüssige und damit in gut transportierbare Energieträger mit einer höheren Energiedichte umzuwandeln, die dann weitgehend universell einsetzbar sind. Obwohl die Pyrolyse seit Jahren Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten ist, befindet sich diese Technik noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Wegen der unterschiedlichen Entwicklungsreife der Techniken ist der jeweilige Stand der Technik in Tabelle 5-1 aufgeführt.

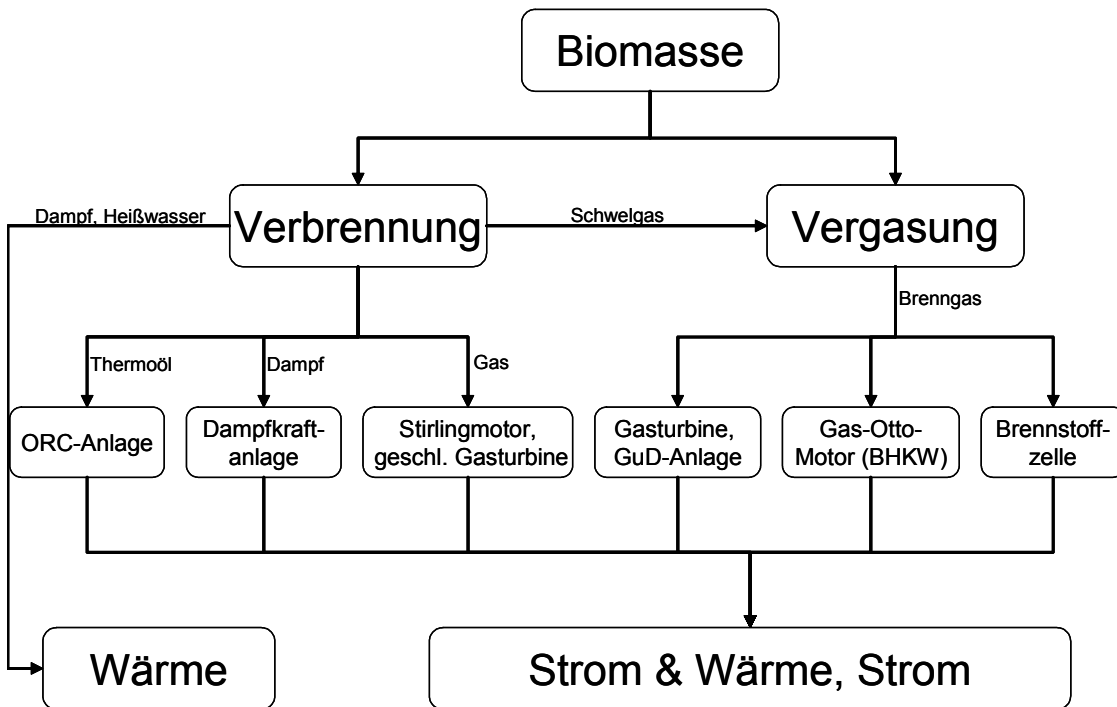


Abbildung 5-1: Umwandlungstechniken zur Strom- und Wärmebereitstellung aus Dendromasse (Thrän/ Kaltschmitt 2005)

Tabelle 5-1: Derzeitiger Stand der Technik der Umwandlungstechniken ((Thrän/ Kaltschmitt 2005) und eigene Ergänzungen)

Umwandlungstechnik	Marktetablierung	Pilotanlage	F&E
Wärme (Verbrennung)			
ORC-Anlage			
Dampfkraftanlage			
Stirlingmotor, geschlossene Gasturbine			
Gasturbine, GuD-Anlage			
Gas-Otto-Motor (BHKW)			
Brennstoffzelle			
Pyrolyse			

5.2. Flüssiger Bioenergieträger

Flüssige Bioenergieträger als Ersatz für fossile Kraftstoffe sind seit einigen Jahren Gegenstand verschiedener Forschungsaktivitäten. Über thermochemische Verfahren erschließt sich aus dem gesamten Pflanzenspektrum eine Vielfalt an verschiedenen Kraftstoffen. Über die Zwi-

schenstufe des Synthesegases lassen sich Methanol, Dimethylether oder synthetisches Benzin/Diesel-Kraftstoffe herstellen.

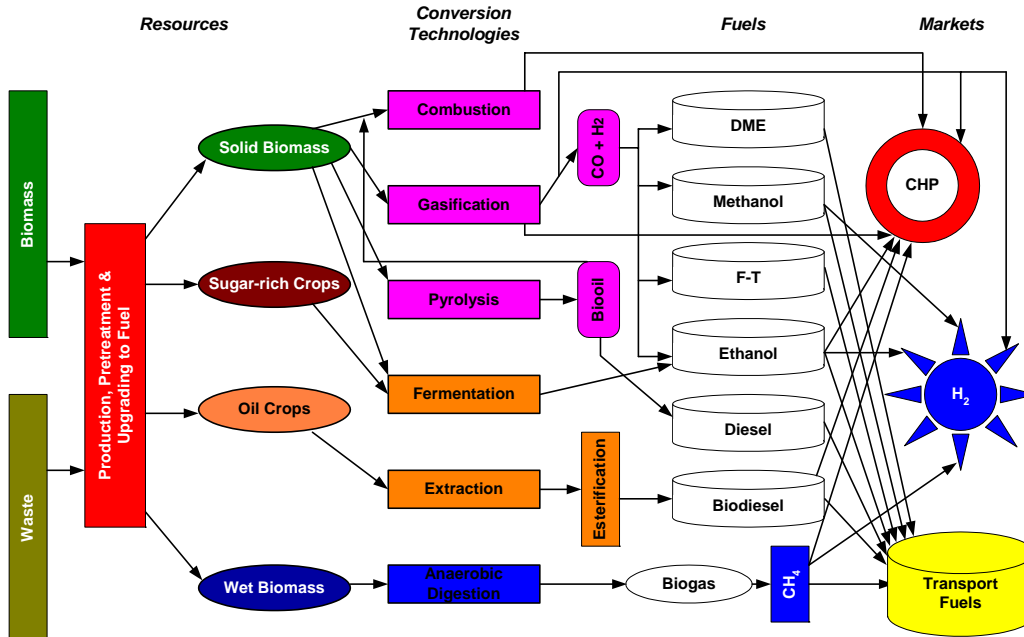
Der Primärschritt bei der Synthesegaserzeugung aus Biomasse ist eine thermochemische Konversion. Ziel ist hierbei die Zerlegung der Biomasse in ein Produktgas mit den Hauptkomponenten Wasserstoff und Kohlenmonoxid, das sich zur Erzeugung synthetischer Kraftstoffe einsetzen lässt. Als Vergasungsmittel können Luft, Sauerstoff, Wasserdampf und Wasserstoff (sowie teilweise Mischungen dieser Gaskomponenten) eingesetzt werden. Die größte Herausforderung für die Erzeugung von Kraftstoffen aus Biomasse über eine thermochemische Vergasung ist die Erzeugung eines „synthesetauglichen“ Gases, das hohen Anforderungen zu genügen hat. Das Synthesegas muss frei von Teer, Partikeln und Katalysatorgiften sein sowie neben einem geringen Inertgasanteil einen hohen Wasserstoffgehalt aufweisen.

Die Herstellung von Methanol erfolgt praktisch ausschließlich über die so genannte Niederdruck-Synthese bei einem Druck von bis zu 100 bar und Temperaturen von 250 bis 280°C unter Verwendung von Katalysatoren auf Cu/ZnO-Basis. Aus thermodynamischen Gründen kann nur ein Teil des eintretenden Synthesegases zu Methanol konvertiert werden.

Das Syntheserestgas wird rezykliert, um eine möglichst hohe Kohlenstoff-Konversion zu erzielen. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine genaue Einstellung der Stöchiometrie des Synthesegases. Im Gegensatz zu Erdgas als Edukt für die Synthese, ist bei biomassestämmigen Synthesegasen die Einstellung der Stöchiometrie nur über eine CO₂-Abtrennung möglich. Die energetischen Wirkungsgrade für die Erzeugung von Methanol aus Biomasse erreichen – in Abhängigkeit von der Verfahrensführung und den verwendeten Ausgangsmaterialien – Werte von bis zu 55 %. Alternativ kann eine Auslegung mit niedrigeren energetischen Wirkungsgraden (bezogen auf Methanol) gewählt werden, bei der das Syntheserestgas zur Erzeugung von Strom verwendet wird.

Dimethylether kann entweder aus Methanol (Methanol Dehydration Technology) oder aus Synthesegas (Single-Step DME Synthesis) hergestellt werden. Der indirekte Herstellungspfad, bei dem zunächst konventionell Methanol erzeugt wird, mit anschließender katalytischer Umsetzung zu DME, ist Stand der Technik. Derzeit werden einige kleinere Pilotanlagen betrieben, bei denen DME auch direkt an einem speziell entwickelten Katalysator erzeugt wird (Specht et al. 2004).

Für die Biotreibstoffproduktion stehen unterschiedliche Ressourcen und Verfahren zur Verfügung (vgl. Abbildung 5-2).



Quelle: IZT ; F&S (2006)

Abbildung 5-2: Konversionswege für Bioenergie

Die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR 2006) hat verschiedene Biokraftstoffe (Biodiesel, reines Pflanzenöl, Bioethanol aus Zucker bzw. Stärke, Bioethanol aus Lignozellulose, BTL, Biogas und Biowasserstoff) anhand ausgewählter Kriterien wie Bruttokraftstofftrag (GJ/ha), Nettoenergieertrag (GJ/ha), Erzeugungspotenzial (in % des substituierten Kraftstoffs) usw. miteinander verglichen. Gegenüber den bereits im Markt befindlichen Biotreibstoffen (Biodiesel vorwiegend aus Rapsöl, reines Pflanzenöl aus Rapssaaten und Bioethanol aus Getreide) werden von den Treibstoffen der zweiten Generation (Bioethanol aus Lignozellulose, BtL, Biogas und Biowasserstoff), die auf eine breitere Rohstoffbasis zurückgreifen können, insbesondere höhere spezifische CO₂-Einsparungen und geringere CO₂-Vermeidungskosten sowie eine gute Einbindung in vorhandene Infrastrukturen und eine hohe Kompatibilität mit vorhandenen und zukünftigen Antriebstechnologien für Fahrzeuge wie Brennstoffzellen erwartet.

Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten besteht die Herausforderung darin, die vorhandenen bzw. zu entwickelnden Biomassepotenziale so für den Ausbau der Biotreibstoffproduktion zu nutzen, dass die Treibstoffe sowohl wettbewerbsfähig als auch effizient produziert werden und darüber hinaus auch nicht mit der Nahrungsmittelproduktion konkurrieren. Zu diesem Zweck ist es erforderlich, einen Übergang zu Treibstoffen der 2. Generation zu bewerkstelligen, die nicht nur auf der Basis eines breiteren Spektrums von Biomasseressourcen produziert werden können sondern darüber hinaus eine höhere Kosteneffizienz und bessere CO₂-Vermeidungskosten aufweisen.

5.3. Gasförmiger Bioenergieträger

Als weitere Veredelung des Synthesegases als Produkt der Vergasung gibt es Forschungsaktivitäten, ein methanreiches, mit dem Ergasnetz kompatibles Gas zu produzieren. Dies erfordert eine Vergasungstechnologie, welche stickstofffreies Rohgas erzeugt. Ein neues Konzept eines Wirbelschichtvergasers, der diese Bedingung erfüllt, wurde in Österreich im 10 MW Maßstab für

die Stromerzeugung mit Gasmotoren demonstriert. Die Aufbereitung des Rohgases aus dem Vergaser zu Netzqualität erfordert die Entwicklung einer Reihe von Verfahrensschritten: Das Gas muss von Partikeln, Teeren und Schwefel gereinigt und verdichtet werden. Die einzuhaltende Qualität des gereinigten Gases wird vom nachfolgenden katalytischen Prozess bestimmt, bei welchem in einem katalytischen Reaktor alle brennbaren Anteile des Gases zu Methan und CO₂ umgewandelt werden. Schließlich wird das CO₂ über bekannte Verfahren aus dem Gassstrom abgetrennt bevor das Gas kann in das Netz eingespeist oder als Kraftstoff eingesetzt werden kann. Daneben kann auch Wasserstoff aus Synthesegas hergestellt werden. Über die Wassergas-Shift-Reaktion wird der CO-Anteil im Synthesegas mit Wasserdampf in Wasserstoff und CO₂ konvertiert und anschließend der Wasserstoff vom Restgas abgetrennt.

5.4. Stück- oder Schüttgut

Stück- und Schüttgut wie Scheite, Pellets oder Hackschnitzel dienen dem Endverbraucher als Brennstoff zumeist für die Umwandlung in Wärme in (Klein-)Feuerungsstätten. Für Scheite und Hackschnitzel wird die Dendromasse entsprechend bearbeitet. Pellets werden zumeist aus bei Holzverarbeitenden Betrieben anfallenden Sägespänen in Deutschland nach Vorgaben der DIN 51731 oder der strengeren DIN plus hergestellt. Für die Verbrennung steht eine Vielzahl von Optionen zur Verfügung. Während die traditionelle Holznutzung vor allem in Öfen und Kaminen stattfand, sind mittlerweile effizientere und vor allem emissionsärmere Verbrennungsanlagen auf dem Markt verfügbar wie Pelletkessel, Scheitholzvergaserkessel und Hackschnitzelanlagen, die daneben auch mehr Komfort für den Betreiber bieten.

Eine neue Produktreihe stellen kleine, durch Pellets oder Hackschnitzel betriebene KWK-Anlagen dar. Die zumeist mit Stirling-Motoren ausgestatteten Anlagen, werden wärmegeführt und stellen zusätzlich auch Strom bereit.

5.5. Holzkohle

Unter der Verkohlung von Biomasse wird eine Veredelung mit dem Ziel einer möglichst hohen Ausbeute an Festbrennstoff definierter Qualität (Holzkohle) verstanden. Die organische Masse wird dabei unter Einwirkung von Wärme zersetzt. Die erforderliche Prozesswärme wird häufig durch Teilverbrennung des Rohstoffs bereitgestellt. Der durch diesen Prozess gewonnene Energieträger kann anschließend in entsprechenden Anlagen zur Wärme- und Strombereitstellung eingesetzt werden. Alternativ ist auch eine stoffliche Nutzung möglich (z. B. Aktivkohle).

Die entsprechende Technologie zur Holzkohleherstellung ist verfügbar und befindet sich im großtechnischen Einsatz. Der Großteil der produzierten Holzkohle wird jedoch stofflich u. a. in der chemischen Industrie genutzt. Aufgrund des im Vergleich geringen Wirkungsgrades der Verkohlung von rund einem Drittel bis zwei Fünftel bezogen auf den Heizwert der eingesetzten biogenen Festbrennstoffe und der im Vergleich zu einer direkten Verbrennung der Biomasse geringen Vorteile, konnte sich die Verkohlung als Veredelungsverfahren für die energetische Nutzung bisher nicht durchsetzen. Da nicht zu erwarten ist, dass sich an den prinzipiellen Nachteilen zukünftig etwas ändern wird, dürfte diese Veredelungstechnik weiterhin auf die schon erschlossenen Nischenmärkte (d. h. stoffliche Nutzung) beschränkt bleiben (FNR 2005).

6. Wichtige Einflussgrößen für die Entwicklung der Energieversorgung

6.1. Energienachfrage

6.1.1. Demographische Entwicklung

Für die Höhe und Struktur der Energienachfrage sind neben der wirtschaftlichen Entwicklung und den zur Verfügung stehenden Technologien (s.u.) die Bevölkerungs- bzw. Haushaltszahlen³, deren Strukturen (Größe, Alter, Ausstattungsmerkmale) und abgeleiteten Verhaltensweisen (Konsummuster, Aktivitätsraten) von Bedeutung. Ein bloßer Blick auf den Primärenergieverbrauch in unterschiedlichen Weltregionen verdeutlicht dies. Während die gut 490 Mio. Einwohner der EU-27 im Jahr 2006 knapp 75 EJ Primärenergie verbrauchten, lag der Primärenergiekonsum von 906 Mio. Afrikanern bei gut 13 EJ – also ein Durchschnittseuropäer beansprucht derzeit soviele Primärenergie wie zehn Menschen vom afrikanischen Kontinent zusammen.

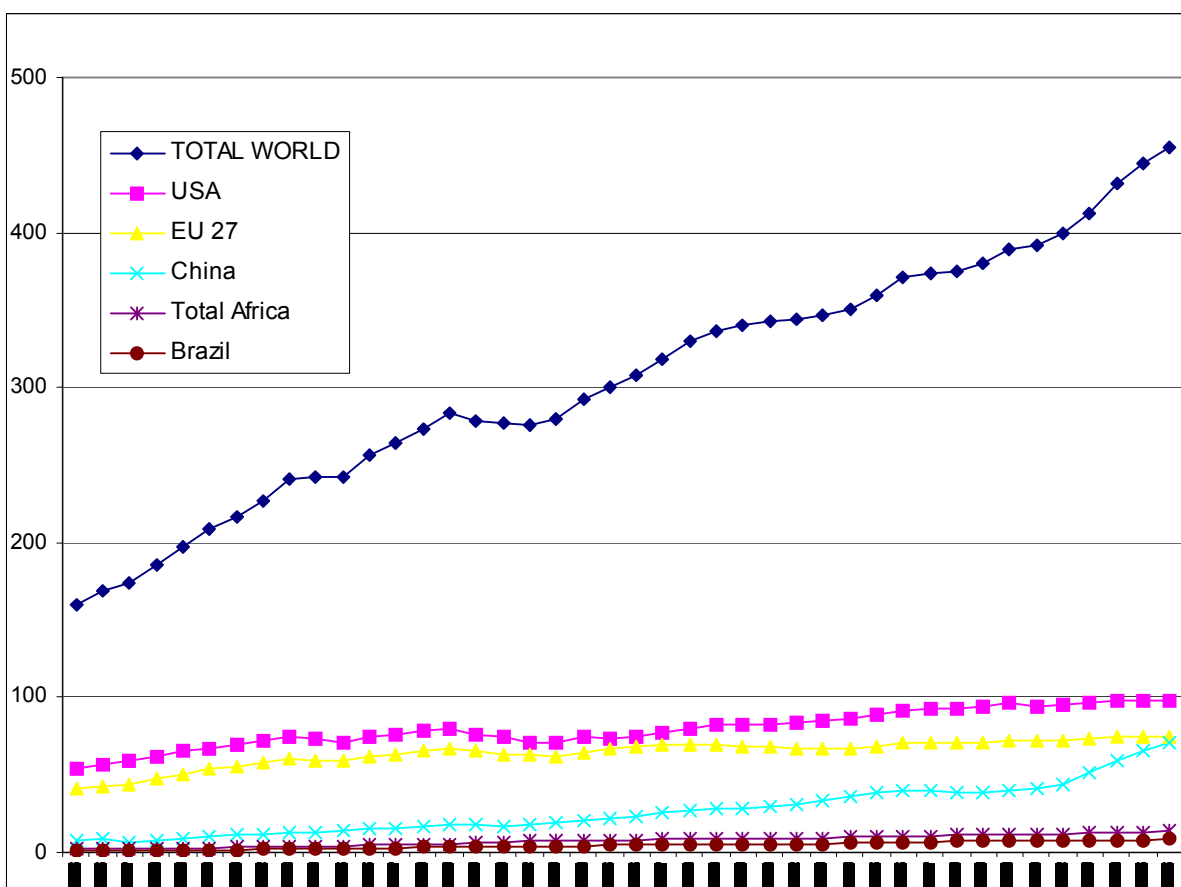


Abbildung 6-1: Primärenergieverbrauch (EJ) weltweit und in ausgewählten Ländern und Regionen (1965-2006) (BP 2007)

Energieszenarien mit sehr langfristigen Zeithorizonten, wie z. B. VLEEM (Enerdata et. al. 2005) orientieren sich an den Bevölkerungsprojektionen der Vereinten Nationen (UN-Population Division) bis 2050 und treffen dann weitergehende Annahmen zum Bevölkerungswachstum und insbesondere hinsichtlich der Alters- und Haushaltsstrukturen und der räumlichen Verteilung in städtische und ländliche Regionen.

³ Die ausführliche Darstellung der Bevölkerungsentwicklung erfolgt in dem Basispapier „Demografischer Wandel“.

In den Annahmen zum Bevölkerungswachstum wird die mittlere von drei UN-Varianten diskutiert, die von einem Höhepunkt der Weltbevölkerung im Jahr 2050 mit 8,7 Mrd. ausgeht und dann von einem langsamen Absinken der Weltbevölkerung auf 8,2 Mrd. im Jahr 2100. Die Verteilung der Weltbevölkerung auf Regionen erfährt erhebliche Verschiebungen: Sub-Sahara Afrika verzeichnet die höchsten Zuwachsraten und erhöht seinen Anteil von 11 % (2000) auf 21 % (2100). Europas Anteil sinkt von 10 % auf 6 %.

Alterstrukturen beeinflussen ebenfalls die Energienachfrage. Um zwei Beispiele zu nennen: In den industrialisierten Ländern stehen in den Zeitbudgets älterer Menschen größere Anteile für Freizeit zur Verfügung, die oftmals in Reiseaktivitäten und damit verbundenen Energieverbräuchen münden. Ältere Menschen haben im Durchschnitt höhere Anforderungen an Wärme- und Kühlkomfort.

Zum Jahresende 2000 zählte die Wohnbevölkerung in Deutschland rund 82,26 Mio. Einwohner (Statistisches Bundesamt 2001). Die Wachstumsrate liegt seit 1990 durchschnittlich bei knapp 0,4 % pro Jahr. Am Anfang der 90er Jahre waren u.a. wegen massiver Zuwanderungen von Auslandsdeutschen hohe Zuwachsraten bis 1 % zu verzeichnen; im späteren Verlauf sind die Zuwachsraten auf nur noch 0,2 % abgeflacht.

Tabelle 6-1: Vorausschätzung der Bevölkerungsentwicklung in Deutschland – 2002 bis 2050 nach Altergruppen und Geschlecht

Altersgruppen von ... bis unter Jahren	2002			2010			2020			2050		
	Männer	Frauen	Ins- gesamt	Männer	Frauen	Ins- gesamt	Männer	Frauen	Ins- gesamt	Männer	Frauen	Ins- gesamt
	in Millionen											
0-20	8,78	8,32	17,10	7,97	7,56	15,53	7,47	7,08	14,55	6,21	5,88	12,09
20-35	7,96	7,63	15,59	7,86	7,59	15,45	7,57	7,29	14,86	6,15	5,93	12,08
35-45	7,19	6,82	14,01	6,06	5,82	11,88	5,33	5,24	10,57	4,53	4,44	8,97
45-65	10,69	10,72	21,41	11,87	11,76	23,63	12,39	12,23	24,62	9,82	9,90	19,72
65 u. älter	5,72	8,68	14,40	7,03	9,56	16,59	7,91	10,31	18,22	9,77	12,47	22,24
Insgesamt	40,35	42,17	82,52	40,79	42,29	83,08	40,67	42,15	82,82	36,48	38,62	75,10
				2010/2002			2020/2002			2050/2002		
Altersgruppen von ... bis unter Jahren				Männer	Frauen	Ins- gesamt	Männer	Frauen	Ins- gesamt	Männer	Frauen	Ins- gesamt
	Veränderung in %											
0-20				-9,2	-9,1	-9,2	-16,4	-16,4	-16,4	-41,3	-41,5	-41,4
20-35				-1,3	-0,5	-0,9	-5,0	-4,5	-4,7	-29,5	-28,7	-29,1
35-45				-15,8	-14,7	-15,2	-30,8	-27,1	-29,0	-58,8	-53,6	-56,2
45-65				11,0	9,7	10,4	14,3	12,8	13,6	-8,9	-8,3	-8,6
65 u. älter				22,8	10,1	15,2	31,1	17,1	23,0	41,4	30,4	35,2
Insgesamt				1,1	0,3	0,7	0,8	0,0	0,4	-10,6	-9,2	-9,9

Variante 5, ab dem Jahr 2010 Schätzwerte der 10. koordinierten Bevölkerungsberechnung

Quelle: Statistisches Bundesamt: Bevölkerung Deutschlands bis 2050. 10. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden 2003; eigene Berechnungen.

Nach Vorausberechnungen des Statistischen Bundesamtes⁴ wird die Bevölkerungszahl der Bundesrepublik mittelfristig (bis 2020) in etwa konstant bleiben. In der mittleren Modellvariante (Variante Nr. 5, „mittlere Bevölkerung“) ist ein Bevölkerungszuwachs von knapp 300.000 auf gut 82,8 Mio. Einwohner vorausberechnet (Tabelle 6-1).

⁴ Die der Bevölkerungsvorausberechnung unterlegten 9 Varianten unterscheiden sich hinsichtlich der getroffenen Annahmen zum langfristigen Außenwanderungssaldo (zwischen 100.000 und 300.000 Personen) und hinsichtlich der Lebenserwartung von Männern und Frauen im Jahr 2050. Die Geburtenhäufigkeit wird in allen Varianten als konstant angenommen (durchschnittlich 1,4 Kinder pro Frau).

Im engen Zusammenhang mit der Alterung der Bevölkerung stehen Verschiebungen der Haushaltsstrukturen. Ältere Haushalte in industrialisierten Ländern sind überwiegend Ein- und Zwei-Personenhaushalte. Der erforderliche Energiebedarf zur Gewährleistung angenehmen Wohnkomforts (Wärme/Kühlung) unterscheidet sich kaum, ob zwei oder drei Personen im Haushalt leben. Durch die Ausweitung der Haushaltszahlen aufgrund des Trends zu immer kleineren Haushaltsgrößen erhöht sich insgesamt die Energienachfrage. Dieser Trend wird auch für die Entwicklung in heutigen Schwellenländern und zumindest bei den Eliten in den Entwicklungsländern erwartet.

In Deutschland ist es im letzten Jahrhundert geradezu zu einer Umkehrung der Haushaltsgrößen gekommen. So lebten 1900 in gut 44 % aller Haushalte 5 und mehr Personen, während der entsprechende Wert 2004 nur noch bei 4,1% lag. Im gleichen Zeitraum stiegen der Anteil der Ein-Personen-Haushalte von 7,1 % auf gut 37 % und der Anteil der Zwei-Personen-Haushalte von knapp 15 % auf über 34 % (Statistisches Bundesamt 2006a).

Die kontinuierliche Verschiebung der Haushaltsgrößen führt zu einer Erhöhung der verfügbaren Wohnfläche pro Einwohner. Allein in den 20 Jahren zwischen 1986 und 2004 ist ein Anstieg von knapp 20 % von 34,4 m² auf 40,8 m² zu verzeichnen (Statistisches Bundesamt 2006c).

Etwa zwei Drittel des Energieverbrauchs in Haushalten wird in Europa derzeit für Wärme- und Kühlzwecke eingesetzt. VLEEM geht davon aus, dass vor dem Hintergrund steigenden Wohlstands diese Funktionen 2100 etwa 70 % des Haushaltsenergieverbrauchs ausmachen werden. Für Hygienezwecke wie Waschen wird ein Sinken des Anteils von 19 % auf 16 % und für Beleuchtung und sonstige Elektrogeräte von 9 % auf 11 % angenommen. In beiden Bereichen wird ein bereits jetzt sehr hoher Ausstattungsgrad unterstellt.

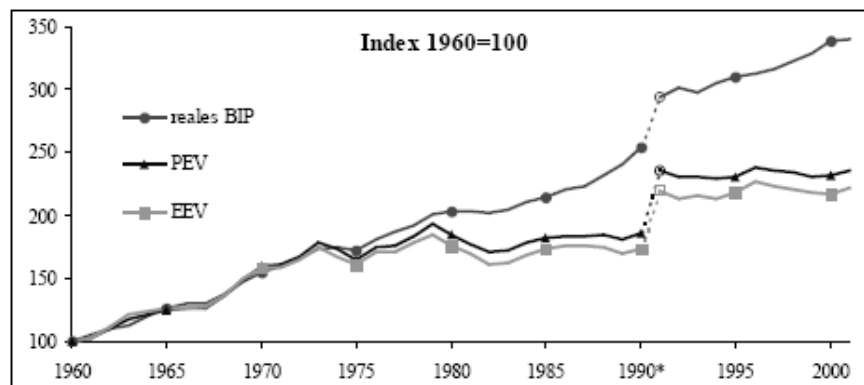
Die gleichwohl zunehmende Ausstattung der Haushalte mit Elektrogeräten ist ein Treiber für die zunehmende Stromnachfrage am Energieverbrauch. Insbesondere die Anteile des Stromverbrauchs von Haushalten für Unterhaltungselektronik, Telekommunikation und Computer haben in den letzten Jahren kontinuierlich zugenommen. Diese Entwicklung vollzieht sich auch Schwellen- und Entwicklungsländer. Insbesondere wenn man davon ausgeht, dass der Informations- und Bildungsbedarf einer der Treiber gesellschaftlichen Fortschritts darstellt, ist auch in Zukunft von einer dynamischen Durchdringung von Haushalten mit entsprechenden Elektrogeräten auszugehen.

Die Bevölkerungsentwicklung im Zusammenspiel mit der Wohlstandsentwicklung und den Transport-Infrastrukturen und Organisationsformen bestimmt die Entwicklung des Energieverbrauchs im Verkehrsbereich. VLEEM geht bei seinen Annahmen von einer Verfünfachung des Energieverbrauchs bei einem gleichzeitigen Bevölkerungswachstum von lediglich 36 % aus. Ursachen hierfür werden insbesondere im Angleichen von Ausstattungsgraden mit Pkw und Mobilitätsmustern in Haushalten der sich entwickelnden Welt gesehen.

Für Deutschland wirken die Zusammenhänge für die skizzierten Faktoren insofern differenziert, als die demografischen Entwicklungen von schrumpfenden Bevölkerungs- und mittelfristig auch sinkenden Haushaltszahlen ausgehen und die für die Schwellen- und Entwicklungsländer erwarteten Angleichungsprozesse hinsichtlich der Wohlstandsentwicklung, den Ausstattungsgraden und Lebensstile bereits weitgehend vollzogen sind. Dagegen sind anteilige Verschiebungen der Energienachfrage Richtung Strom auch zukünftig in Deutschland zu erwarten.

6.1.2. Wirtschaftliche Entwicklung

Lange wurden Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch als unabdingbar verknüpft betrachtet, verliefen die Wachstumsraten der Wirtschaft und der Anstieg des Energieverbrauchs doch auffallend synchron. Seit Mitte der siebziger Jahre findet, ausgelöst durch die Ölkrise, eine zunehmende Entkopplung von industriellem Wachstum und Energieverbrauch statt (siehe dazu Abbildung 6-2). Seit den neunziger Jahren stagniert der Energieverbrauch während das Bruttoinlandsprodukt (BIP) weiter ansteigt.

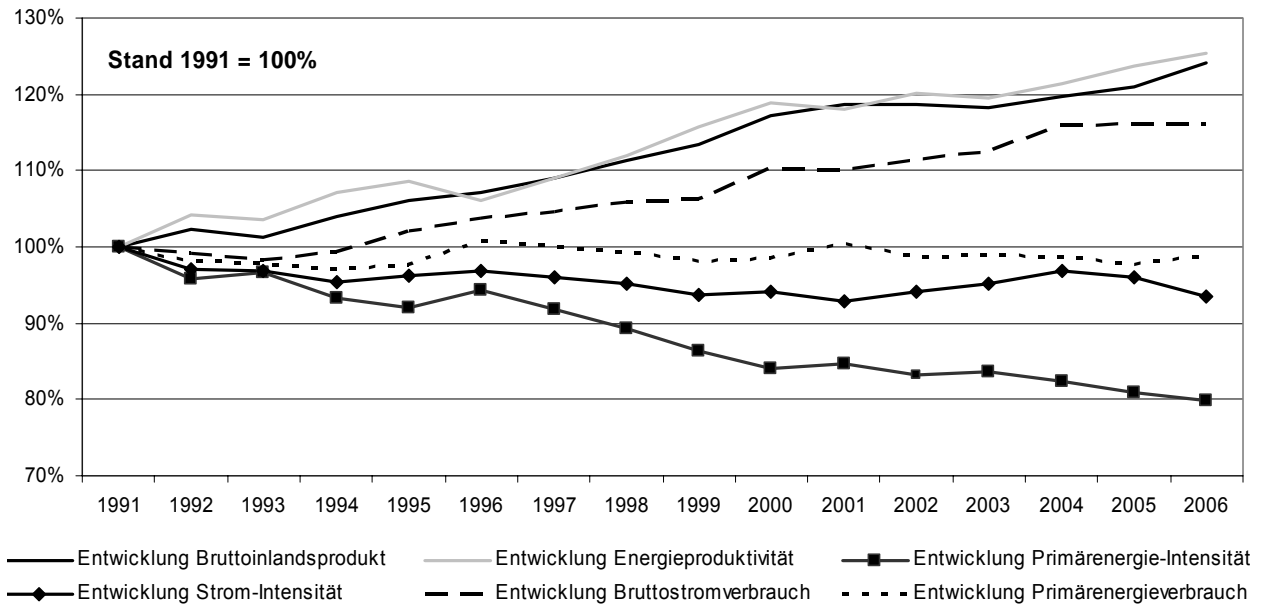


Quelle: (Banschbach 2003), * bis 1990 alte Bundesländer

Abbildung 6-2: Entwicklung von realem BIP, PEV und EEV

Die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch wird heute als Teilstrategie für eine nachhaltige Entwicklung angesehen und hat entsprechend Eingang in die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung gefunden: „In der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung wird eine Entkopplung von mengenmäßigem Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum, d. h. eine Erhöhung der gesamtwirtschaftlichen Energieeffizienz angestrebt. Messen lässt sich die Entwicklung der Energieeffizienz anhand der Entwicklung der Energieproduktivität (Bruttowertschöpfung (BWS) preisbereinigt je Energieverbrauch) oder der Intensität des Energieverbrauches (Energieverbrauch je BWS preisbereinigt)“ (Statistisches Bundesamt 2006d).

Die Entwicklung seit dem Jahr 1991 lässt erkennen, dass der Primärenergieverbrauch seit 1991 sogar leicht abgenommen hat, während das Bruttoinlandsprodukt seitdem um rund ein Viertel zugenommen hat. Dementsprechend ist auch die Energieproduktivität (BIP/PEV) um rund ein Viertel gestiegen. Die Steigerung der Energieproduktivität lässt sich vor allem mit dem technologischen Fortschritt in der Energiewirtschaft, der sparsameren und rationelleren Energienutzung (siehe dazu auch Kapitel 6.1.3) und den Veränderungen in den Wirtschaftsstrukturen begründen. Der wirtschaftliche Strukturwandel, in dessen Verlauf energieintensive Wirtschaftszweige zu Gunsten von Dienstleistungen an Bedeutung verloren, hat einerseits zum Anstieg der Energieproduktivität beigetragen, andererseits aber auch u.a. eine größere Nachfrage nach Elektrizität induziert. Der Bruttostromverbrauch ist entgegen dem Trend beim Primärenergieverbrauch gegenüber 1991 um rund 16 % gestiegen ist. Eine ähnliche Entwicklung wie in Deutschland findet sich auch in zahlreichen anderen Industriestaaten. In der Produktivitätszunahme seit 1990 schlägt sich bedeutend die Wiedervereinigung mit energie- und gesamtwirtschaftlichen Einschnitten in den neuen Bundesländern nieder.



Eigene Darstellung nach: (BMWi 2007), (Statistisches Bundesamt 2006b), (Umweltbundesamt 2007) und (AG Energiebilanzen 2007)

Abbildung 6-3: Die Entwicklung wichtiger Energieindikatoren in Deutschland seit 1991

In den Wirtschaftswissenschaften werden komplexe Erklärungsansätze diskutiert, die darauf abzielen, einen funktionalen Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und wirtschaftlicher Entwicklung zu entwickeln. Vor allem die „Environmental Kuznets Curve“ findet hier oft Anwendung. Diese von Theodore Panayotou entwickelte These bezieht sich in erster Linie auf die postindustriell abnehmenden Umweltdegradation, lässt sie sich aber auf den Energieverbrauch übertragen.

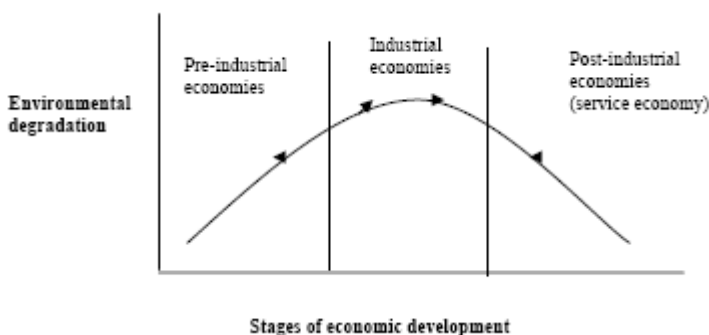


Abbildung 6-4: The Environmental Kuznets Curve (Panayotou 2003)

Die These Panayotous besagt, dass Quantität und Intensität an Umweltdegradation auf tiefem Entwicklungsstand niedrig sind, weil die geringeren Wirtschaftsaktivitäten die Ressourcenbasis nur leicht beeinflussen. Mit der zunehmenden Intensität in der Landwirtschaft und der Ressourcenentnahme, vor allem wenn die Industrialisierung einsetzt, steigen der Ressourcenraubbau und die Abfallproduktion. Auf hoher Entwicklungsstufe findet ein struktureller Wandel statt. Mehr Informationen und Dienstleistungen, effizientere Technologien, erhöhte Nachfrage nach Um-

weltqualität verlangsamen, stoppen oder verringern die Umweltdegradation.⁵ Es wurden verschiedene theoretische Untermauerungen dieses empirischen Phänomens vorgenommen, dennoch ist die EKC nicht unumstritten und starker Kritik ausgesetzt, scheint aber weiterhin eine der populärsten wirtschaftswissenschaftlichen Erklärungsmuster zu bleiben.

In seinem für das Frühjahrestreffen 2003 der Wirtschaftskommission für Europa (ECE oder UNECE) veröffentlichten Artikel gibt (Panayotou 2003) ein empirisches Beispiel für seine Theorie. So legt er dar, dass die Länder der ECE-Region in den letzten zehn Jahren ein signifikantes Wachstum des BIP pro Kopf erfuhren, das von einem strukturellen Wandel von energie- und materialintensiven Industrien zu Dienstleistungen begleitet war. Dies führte zu deutlichen Senkungen des Emissionsausstoßes und der Energieintensität. Die Transformationsländer beginnen sich vom ökonomischen Kollaps der neunziger Jahre zu erholen und wachsen wieder. Aber trotz Verbesserungen in der Energieeffizienz und niedriger Pro-Kopf-Verbrauchsniveaus sind ihre Energieintensitäten aufgrund des hohen Anteils der Schwerindustrie und veralteter Technik drei oder vier Mal höher als die der etablierten Marktwirtschaften. Panayotou geht für die Transformationsländer von einer Intensivierung des ökologischen Drucks durch den ansteigenden Konsum aus, trotz des Wandels von Schwerindustrie zu Dienstleistungen und der Reduktion der Energie- und Materialintensität der Verbrauchsgüter. Somit finden auch hier bereits einige Entkopplungsschritte statt, die sich allerdings in folgender Hinsicht von der Entkopplung der etablierten Marktwirtschaften unterscheiden. Die Entkopplung in den etablierten Marktwirtschaften war das Resultat des strukturellen Wandels zu einer Dienstleistungsgesellschaft, vom technologischen Wandel hin zu einer weniger material- und energieintensiven Produktion und von der Einführung neuer wirtschaftlicher und ökologischer Maßnahmen, um die ökologischen Externalitäten zu internalisieren. In den Transformationsländern war die Entkopplung eher das Resultat der industriellen Umstrukturierung und Marktformen, um die Preise für Energie, Material und andere Rohstoffe an ihre ökonomischen und internationalen Kosten anzunähern. Trotz dieser positiven Tendenzen in Richtung Entkopplung glaubt Panayotou dennoch, dass die Konsummuster der Transformationsländer dem selben Weg folgen werden, wie sie es einst in den entwickelten Marktwirtschaften taten.

Der Environmental-Kuznets-Curve widersprechende Ansichten werden unter anderem von David Stern und Cutler J. Cleveland in ihrem Werk „Energy and Economic growth“ vertreten (David I. Stern and Cutler J. Cleveland 2004). Ihrer Meinung nach gibt es theoretische und empirische Belege, dass der Energieverbrauch eng mit der Verfügbarkeit von Energie verknüpft ist und somit eine entscheidende Rolle bei der Ermöglichung von Wachstum spielt. Des Weiteren argumentieren sie, dass ein großer Anteil der Reduzierungen der Energieintensität durch einen Wechsel zu höherwertigen Brennstoffen erklärt werden könne. Gewinne in der autonomen Energieeffizienz seien möglich und kämen vor, dennoch empfehlen die Autoren, die Erwartungen an große Reduktionsmöglichkeiten für Energieintensität zu begrenzen, da der technologische Wandel technischen Beschränkungen unterworfen ist. Und dementsprechend zeigten auch neuerliche Ergebnisse in der Literatur zur Kurznets-Kurve, dass Schadstoffemissionen mit höherem Einkommen eher dazu neigen anzusteigen, als einer umgekehrt U-förmigen Kurve zu folgen.

⁵ <http://www.naturama.ch/projekte/nachhaltigkeit/Wirtschaftswachstum.pdf>

Für die zukünftige Entwicklung lässt sich allgemein sagen, dass die Energieeffizienz voraussichtlich weiter ansteigen wird. Ein unbegrenztes Wachstum der Energieeffizienz ist nicht möglich, dadurch sind der Entkopplung von Wachstum und Energieverbrauch Grenzen gesetzt, obgleich dieses Konzept in den nächsten Jahrzehnten wertvoll sein wird, um die aktuelle Problematik zu entschärfen. Trotz der verbesserten Wirkungsgrade wird es keine dramatische Absolutsenkung des Energieverbrauchs geben, da die Konsumenten immer neue Ansprüche haben und ein zunehmender Anteil der Energie verstromt wird, was hohe Primärverluste verursacht. Global wird die Nachfrage nach Energie weiter zunehmen, bedingt durch den weiteren Wachstum der Weltbevölkerung, die steigenden Ansprüche des Einzelnen und das ökonomische Aufholen der Transformationsländer. Auf globaler Ebene liegt daher die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch in ferner Zukunft.

6.1.3. Energieeinsparung und Energieeffizienz

Die Europäische Kommission hat in ihrem Grünbuch zur Energieeffizienz (Kommission 2005) drei zentrale Gründe für ein Programm der Energieeffizienz benannt: die Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit verbunden mit jährlichen Kosteneinsparungen von € 60 Mrd., den Umweltschutz und die Kyoto-Verpflichtungen der EU sowie die Erhöhung der Versorgungssicherheit.

Während die Höhe des Ressourcenverbrauchs überwiegend durch die Bevölkerung, ihren Wohlstand und ihre Konsummuster bestimmt wird, ist der Grad der Energieeffizienz die Konsequenz aus eingesetzten Technologien, der besseren Nutzung oder Substitution energieintensiver Materialien und Werkstoffe sowie von Verhaltens- und Nachfragestrukturen. In den letzten Jahrzehnten ist es in den industrialisierten Ländern u.a. durch Effizienzsteigerungen zu einer Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch gekommen. In zahlreichen Wirtschaftssektoren ist es gelungen, Serviceeinheiten mit geringerem Energieeinsatz herzustellen. Die Potenziale der Effizienzsteigerungen können in vier technische Kategorien unterteilt werden (Rat für Nachhaltige Entwicklung 2004):

- *Verbesserung der Energie- und Exergieeffizienz im Bereich der Energiewandler*
Verbesserungsmöglichkeiten bestehen bei fast allen Systemen und Komponenten (z.B. Brenner, Kessel, Dampf- und Gasturbinen etc.) durch hitzebeständigere Materialien, bessere Regelung usw. Der exergetische Wirkungsgrad kann bspw. durch die Substitution von Brennern durch Gasturbinen verbessert werden.
- *Senkung des Nutzenergiebedarfs durch Prozessänderungen und -substitutionen*
Die Potenziale werden als sehr hoch eingeschätzt – bis zu 90 % des heutigen Nutzenergiebedarfs. Prominente Beispiele sind die Verminderung der Wärmeverluste von Gebäuden oder die Wärmerückgewinnung aus vielen Aggregaten (z.B. Kompressoren oder Abwasser)
- *Verstärkte Verwertung und verbesserte Materialeffizienz energieintensiver Materialien*
Die Verwertung von Sekundärmaterialien zur Erzeugung energieintensiver Werkstoffe ist häufig mit weniger Energieeinsatz als die Erzeugung von Primärmaterial des gleichen Werkstoffes verbunden. Durch Ausschöpfung des Wiederverwertungspotenzials ließe sich der gesamte industrielle Energiebedarf um mindestens 10 % weiter senken. Zusätz-

liche 1 bis 2 % können durch Veränderungen von Eigenschaften der Werkstoffe und konstruktive Änderungen des jeweiligen Produktes vermindert werden.

- *Ersatz von Werkstoffen und Materialien durch weniger energieintensive Werkstoffe*
Durch das Substitutionspotenzial zwischen verschiedenen Werkstoffen, insbesondere unter Berücksichtigung der Verwendung natürlicher Werk- und Rohstoffe, eröffnen sich theoretisch erhebliche Energieeinsparpotenziale. Beispiele hierfür sind biogene und biotechnologisch herstellbare Werkstoffe und Produkte (z.B. Holz, Flachs, Stärke, natürliche Fette und Öle) mit wesentlich geringerem spezifischem Energieeinsatz als bei traditionellen Werkstoffen.

Die Effizienzpotenziale durch Verhaltens- und Nutzungsänderungen bestehen besonders bei Konsum- und Investitionsentscheidungen. So benötigen die heute neu gekauften Elektrogeräte im Durchschnitt 32 % mehr Energie als bereits erhältliche besonders sparsame Geräte. Darüber hinaus lässt sich durch die Nutzungsintensivierung von Gebrauchsgütern die Materialeffizienz und damit indirekt die Energienachfrage in Haushalten und Industrie vermindern („Nutzen statt besitzen“).

Die EU Kommission hat in ihrem Grünbuch zur Energieeffizienz insbesondere den Gebäudebereich ins Visier genommen. Sie erwartet durch die neu eingeführte EU-Gebäuderichtlinie, die eine Zertifizierung der Energieeffizienz von Gebäuden größer als 50 m² vorsieht, sofern sie gebaut, verkauft oder vermietet werden, eine Energieeinsparung von ca. 1.675 GJ im Jahr 2020. Andere Bereiche, in denen durch unterschiedlichste Maßnahmen zur Effizienzsteigerung beigetragen werden kann, betreffen die Elektrogeräte, Industrie und Verkehr sowie die Energieumwandlung.

Tabelle 6-2: EU-Einsparpotenziale durch Effizienzmaßnahmen bis zum Jahr 2020 und darüber hinaus (Quelle: EU-Kommission 2005)

Einsparpotenzial in GJ	2020	2020+
	konsequente Umsetzung bestehender Regelwerke	Einführung zusätzlicher Maßnahmen
Gebäude: Heizung/ Kühlung	1.717	2.931
Elektrogeräte	628	1.465
Industrie	670	1.256
Verkehr	1.884	3.768
Kraft-Wärme-Kopplung	1.675	2.512
Andere (Energieumwandlung etc.)	1.382	3.140
Gesamtenergieeinsparung	7.955	15.073

Die Arbeitsgemeinschaft DLR/IFEU/WI hat in der Studie „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien“ (DLR et al. 2004) die erforderlichen Steigerungen der Umwandlungs- und Nutzungseffizienz beziffert, um eine nachhaltige Energieversorgung in Deutschland bis zum Jahr 2050 zu erreichen. Danach wird in den Ausbauszenarien für er-

neuerbare Energien die jährliche Effizienzsteigerung für den Primärenergieverbrauch im Jahresmittel 2000 – 2050 mit 2,6 %/a angenommen, was einer knappen Verdopplung gegenüber der langjährigen Vergangenheitsentwicklung entspricht. Beim Stromverbrauch liegt die Effizienzsteigerung bei 1,8 %/a, einer Steigerung um 50 % gegenüber der bisherigen Entwicklung. Beide Annahmen führen zu einem ein Drittel reduzierten Primärenergieeinsatz. Die Autoren bezeichnen die Umsetzung einer wirksamen Effizienzstrategie als unerlässlich, um eine nachhaltige Energieversorgung zu erreichen.

Ein zentraler Eckpfeiler bei den Umwandlungstechnologien ist der forcierte Ausbau von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), mit der Einführung dezentraler KWK-Technologien (Motor-BHKW, Gasturbinen) und deren Weiterentwicklung (Brennstoffzellen, Stirling-Motoren, Mikrogasturbinen). Der dezentrale Charakter von KWK-Technologien kommt in weiten Bereichen der dezentralen Nutzung der erneuerbaren Energien und insbesondere der Biomassenutzung entgegen.

Im Zusammenhang der Entwicklung des „Very Long Term Energy-Environment Model“ (ENERDATA 2005) haben die Autoren auf der Grundlage der Auswertungen von Effizienzstudien, deren Zeithorizonte überwiegend den Zeitraum von 2020 bis zu 2050 abdecken, die Periode zwischen 2050 und 2100 durch Extrapolation abgeschätzt. Dabei wurden thermodynamische Grenzen für unterschiedliche Produktionsprozesse unterlegt. So wird angenommen, dass zwischen der Hälfte (für z.B. Sekundäraluminium und -stahl) bis zu drei Viertel (z.B. für Steine, Fliesen, Zement, Polymere) die heutige Lücke zum thermodynamischen Minimum bis 2100 geschlossen werden kann. Allerdings werden in Teilbereichen die erwarteten Effizienzsteigerungen nur unter der Voraussetzung des Einsatzes vollkommen neuer biobasierter Produktionsprozesse und unter Verwendung erneuerbarer Ressourcen als Grundstoffe möglich sein. Für die Produktion von Polymeren kommen insbesondere thermochemische Prozesse (z.B. Pyrolyse) auf der Basis von Lignocellulose (holzartiger Biomasse) in Frage.

Im Verkehrssektor werden in VLEEM für den Zeitraum 2000 bis 2100 erhebliche Endenergie⁶ Effizienzpotenziale pro gefahrenen km erwartet. Sie liegen beim motorisierten Individualverkehr und im Luftverkehr bei bis zu zwei Drittel, beim öffentlichen Straßenverkehr bei mehr als der Hälfte und beim Personenverkehr auf der Schiene in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei 15 bis 35 %. Beim Güterverkehr werden Effizienzsteigerungen um mehr als die Hälfte auf der Straße, um 10 bis 25 % auf der Schiene und um etwa ein Drittel auf Wasserwegen und im Überseetransport angenommen.

Insgesamt gehen die Szenarien von notwendigen Effizienzsteigerungen in allen Umwandlungs- und Nutzungsbereichen aus, weil es nur auf diese Weise möglich sein wird, sowohl eine dauerhaft klimaverträgliche Energieversorgung zu bewerkstelligen als auch gleichzeitig den sich entwickelnden Ländern hinreichend Spielraum für ihre wirtschaftliche Entwicklung einzuräumen. Die angenommenen Effizienzsteigerungen differieren, sind jedoch in jedem Fall von markanten Veränderungen der Rahmen- und Verhaltensbedingungen (politische Rahmensetzungen, Energiepreiserhöhungen, Internalisierung externer Kosten, Investitionsroutinen etc.) abhängig, sollen sie über Effekte des technologischen Fortschritts in der Größenordnung eines „business as usual“ hinausgehen. Die Biomasse- und insbesondere auch die Holznutzung wird vornehmlich im Zusammenhang mit der effizienten dezentralen Energienutzung (Strom und Wärme), der

⁶ Die Energieeffizienz hängt überwiegend von den Technologiepfaden bei der Strom und Wasserstoffproduktion ab, weshalb für den Verkehrssektor der Endenergieverbrauch maßgeblich ist.

Produktion von Treibstoffen der 2. Generation (s.u.) und in der Substitution energieintensiver Roh- und Werkstoffe gesehen.

6.2. Ressourcenverfügbarkeit

Zukünftig wird sich auch die tatsächliche Knappheit der Energieträger aufgrund der Begrenztheit der Ressourcen⁷ und Reserven⁸ zunehmend in den Preisen widerspiegeln. Eine Vorstellung von der statischen Reichweite⁹ der fossilen Energieträger gibt Abbildung 6-5.

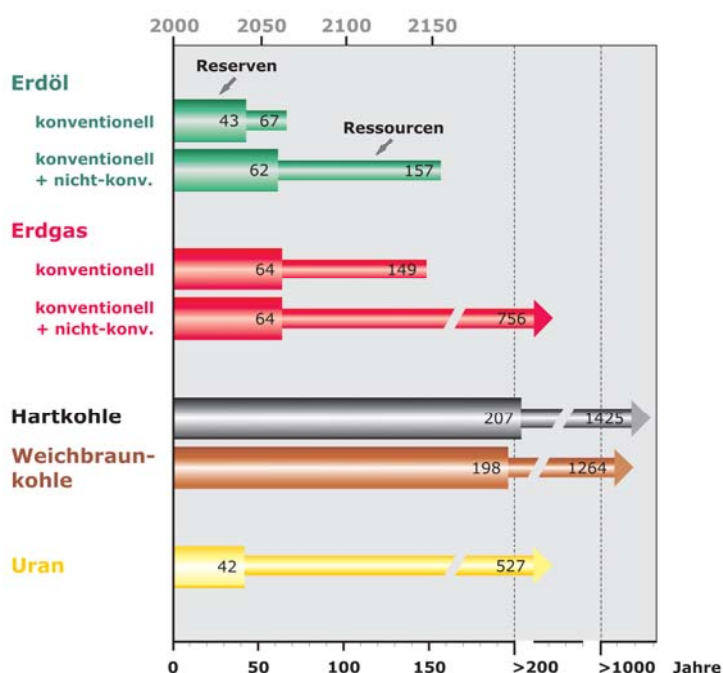


Abbildung 6-5: Statische Reichweiten fossiler Primärenergieträger [BMWA 2002, Energiestudie 2002]

Hiernach reichen die konventionellen Erdgasreserven (dies sind im wesentlichen die heute erschließbaren Vorkommen) etwa 60 Jahre, die Erdölreserven etwa 40 Jahre. Die statische Reichweite von Kohlen beträgt rund 200 Jahre. /BMWA 2002/ Hierbei ist anzumerken, dass die statische Reichweite zwei Entwicklungen unberücksichtigt lässt: Bei der Bestimmung der statischen Reichweite wird der gegenwärtige Verbrauch als konstant angesetzt, obwohl global von einem starken Anstieg auszugehen ist. Weiterhin wird nicht berücksichtigt, dass die Größe der Reserven von den technisch-wirtschaftlichen Möglichkeiten der Entdeckung und Förderung abhängt und auch hier Fortschritte erreicht wurden. Vor diesem Hintergrund müssen statische Reichweiten immer wieder auf der Grundlage der aktuellen Informationen neu berechnet und interpretiert werden.

⁷ Ressource: Diejenigen Mengen eines Energierohstoffes, die entweder nachgewiesen, aber derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbar sind, oder aber die Mengen, die auf Basis geologischer Indikatoren noch erwartet werden und mittels Exploration nachgewiesen werden können.

⁸ Reserven: Diejenigen Mengen eines Energierohstoffes, die mit großer Genauigkeit erfasst wurden und mit den derzeitigen technischen Möglichkeiten wirtschaftlich gewonnen werden können.

⁹ Statische Reichweite: Sie beziffert die Zeit, die bei gegenwärtigem Verbrauch ein Energieträger genutzt werden kann, bis seine Reserve erschöpft ist.

Auch wenn die statischen Reichweiten die technischen Nutzungsdauern sämtlicher hier diskutierten Energiewandlungsanlagen noch übersteigen, ist offensichtlich, dass die bevorstehende tatsächliche (geologische) Knappheit auch durch die zunehmende Konkurrenzsituation zwischen Verbrauchern schon in der Nutzungszeit jetzt neu zu errichtender Anlagen (bei zentralen Großanlagen sind 30 Jahre typisch) direkte Auswirkung auf die Preise der Energieträger haben wird.

Regenerative Energieträger sind entsprechend ihrer Bezeichnung erneuerbar, d. h. ihre Reichweite ist damit definitionsgemäß unendlich. Hieraus darf aber nicht abgeleitet werden, dass eine Knappheit regenerativer Energieträger ausgeschlossen wäre. Gerade im Bereich der Biomasse sind bereits heute Effekte eines knappen Angebots mit steigenden Preisen zu beobachten. Im Gegensatz zu fossilen Energieträgern ist jedoch bei biogenen Energieträgern ein gezielter Anbau zur Steigerung des Angebots begrenzt möglich - je nach Art der Biomasse kann die Ernte jedoch erst Monate bis Jahrzehnte später erfolgen und erfordert damit eine sorgsame, langfristige Planung. Die Preise für Biomasse werden sehr wahrscheinlich steigen, da die erzielbaren Preise für Biomasse eben auch von den - voraussichtlich stark steigenden - Preisen der fossilen Brennstoffe abhängen. Gleichwohl wird erwartet, dass die Preise für heimische biogene Brennstoffe nicht in gleichem Maße wie die der fossilen Brennstoffe steigen und geringeren kurzfristigen Schwankungen unterliegen werden.

6.3. Energie- und Klimaschutzpolitik

6.3.1. Energie- und Klimapolitik auf europäischer Ebene und Auswirkungen auf den Ausbau erneuerbarer Energien

In den bisherigen Vereinbarungen der Europäischen Union wird deutlich, dass die energetische Nutzung der Biomasse eine tragende Säule der zukünftigen Energieversorgung darstellen soll. Diese Absicht drückt sich in den Bestrebungen der Gemeinschaft aus, den EU-weiten Ausbau der Bioenergie voranzubringen. So soll einerseits der Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch bis 2010 auf 12 % (Europäische Kommission 1997) und bis 2020 auf 20 % (Europäische Kommission 2007b) erhöht werden und ihr Anteil am Elektrizitätsverbrauch bis 2010 gar auf 22,1 % steigen (Richtlinie 2001). Ein wesentlicher Teil hiervon soll durch Bioenergie erreicht werden, auch wenn hierbei keine konkreten Ziele für die einzelnen Energieformen genannt werden, da die Umsetzung der Richtlinie den einzelnen Mitgliedsstaaten überlassen bleibt. Andererseits wurde jedoch auch festgelegt, dass der Anteil von Biokraftstoffen am Kraftstoffverbrauch sukzessive von 2 % (in 2005), auf 5,75 % im Jahr 2010 (Richtlinie 2003a), über 8 % in 2015 (Rat der Europäischen Union 2006), bis auf 10 % im Jahr 2020 (Europäische Kommission 2007b) erhöht werden soll.

Die Rechtsvorschriften auf europäischer Ebene geben den Rahmen für den Ausbau der erneuerbaren Energien und speziell der Biomasse in den Mitgliedsstaaten vor und sind daher von besonderer Wichtigkeit. Konkret wurden solche Vorschriften erstmals im *Weißbuch Erneuerbare Energieträger* von 1997 genannt, in dem das Ziel festgelegt wurde, dass der Anteil erneuerbarer Energieträger am Energieverbrauch der Europäischen Union im Jahr 2010 mindestens 12 % betragen soll und in dem man sich auf erste Maßnahmen dazu – wie beispielsweise neue Initiativen zum Einsatz von Bioenergie im Verkehr sowie zur Wärme- und Stromerzeugung – verständigte. Der nächste Meilenstein auf internationaler Ebene wurde mit dem 1997 beschlosse-

nen *Kyoto-Protokoll* erreicht. In jenem Zusatzprotokoll zu der 1992 in Rio unterzeichneten *UN-Klimakonvention UNFCCC* legten sich die Unterzeichnerstaaten darauf fest, ihre Treibhausgas-Emissionen im Zeitraum von 2008-2012 zu beschränken. Die einzelnen Länder haben dabei unterschiedliche Vorgaben, die vor allem von ihrer wirtschaftlichen Entwicklung abhängen. Für die EU wurde eine Senkung der Emissionen um insgesamt 8 % vorgesehen (*Kyoto-Protokoll 1997*).

Für die Stromerzeugung besonders relevant wurde vor allem die *Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen (2001/77/EG)*, die bis zum Jahr 2010 einen Anteil von 22,1 % an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien vorsieht und die Mitgliedsstaaten verpflichtet, alle fünf Jahre einen Bericht zu erstellen, in dem die nationalen Richtziele für den künftigen Verbrauch von Strom aus erneuerbaren Energiequellen für die nächsten zehn Jahre dargelegt werden (*Richtlinie 2001*). Eine Aufteilung auf die einzelnen erneuerbaren Energieträger existiert jedoch auch hierbei nicht. Doch die verstärkte Nutzung der Biomasse ist neben der Nutzung der anderen Energiequellen, insbesondere der Wasserkraft und Windenergie, in den meisten Ländern wie auch in Deutschland für die Zielerreichung unbedingt notwendig. Die Umsetzung der Richtlinie ist daher der Schlüssel zur Entwicklung der Nutzung von Biomasse in der Stromerzeugung.

Zum Einsatz von Biokraftstoffen legt die *Biomassekraftstoffrichtlinie (2003/30/EG)* einen Mindestprozentsatz für die Ersetzung von Diesel- und Ottokraftstoffen durch Biokraftstoffe im Verkehrssektor fest, um den Anteil von Biokraftstoffen am gesamten Kraftstoffverbrauch im Bereich des Straßenverkehrs zu erhöhen. Die Mitgliedsstaaten werden dazu aufgefordert, nationale Richtwerte bezüglich der Marktanteile von Biomassekraftstoffen zu erheben, wobei als Bezugswerte für die Jahre 2005 und 2010 Marktanteile von 2 % bzw. 5,75 % gelten. Neben der Nutzung reiner Biokraftstoffe werden auch Beimischungen zu fossilen Kraftstoffen unterstützt (*Richtlinie 2003a*).

Die *Richtlinie zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und Strom (2003/96/EG)* regelt die Besteuerungsgrundlagen inkl. Mindeststeuersätze für Kraftstoffe, Kraft- und Brennstoff für industrielle und gewerbliche Zwecke sowie für Heizstoffe und elektrischen Strom. Hierbei ist vor allem zu beachten, dass für Biokraftstoffe, „Energieformen wie Sonnenenergie, Windkraft, Wellen- oder Gezeitenenergie oder Erdwärme oder aus der „Biomasse“ oder Abfallstoffen gewonnene Energieformen“ und andere im Gegensatz zu konventionellen Energieträgern Steuerbefreiungen oder Steuerermäßigungen gewährt werden können (*Richtlinie 2003b*). Für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien fehlt bislang eine Richtlinie mit konkreten Zielen. Der *Aktionsplan Biomasse* sieht jedoch vor, eine neue spezifische Rechtsvorschrift zu erlassen (Europäische Kommission 2005). Ob dies allerdings im Rahmen einer spezifischen EE-Wärme-Richtlinie erfolgen wird, wie seit vielen Jahren vom EU-Parlament und der EE-Lobby gefordert und von Energie-Kommissar Andris Piebalgs angekündigt, ist mittlerweile fraglich.

Im März 2006 erfahren die europäischen Bioenergiehersteller eine weitere Stärkung, als das *Grünbuch „Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie“* veröffentlicht wird. Hierin fordert die Kommission die Mitgliedsstaaten auf, alle erforderlichen Maßnahmen zu ergreifen, um eine europäische Energiepolitik zu betreiben, die sich an den drei Hauptzielen Nachhaltigkeit, Wettbewerbsfähigkeit und Versorgungssicherheit orientiert. Hierzu strebt die Kommission unter anderem die Diversifizierung des Energiemixes und eine Vorreiter-

rolle der EU bei der Bekämpfung des Klimawandels und bei der Entwicklung von nachhaltigeren Techniken an (Europäische Kommission 2006).

In der neueren Entwicklung ist vor allem die Veröffentlichung der *Mitteilung der Kommission: eine Energiepolitik für Europa* am 10. Januar 2007 (Europäische Kommission 2007a) und dem darin enthaltenen *Fahrplan für Erneuerbare Energien* (Europäische Kommission 2007b) bemerkenswert, hat die Kommission damit doch einen globalen Ansatz vorgestellt. Auf Basis eines verbindlichen Globalziels einer 20 %-igen Reduktion des CO₂-Ausstoßes bis zum Jahr 2020 im Vergleich zu 1990, sollen erneuerbare Energien 20 % des europäischen Energiemixes bis zum Jahr 2020 ausmachen. Des Weiteren verpflichteten sich die Mitgliedstaaten, ihren Kraftstoffmix für den Verkehr bis 2020 zu 10 % aus Biokraftstoffen zu speisen. Darüber hinaus soll eine sektorübergreifende Richtlinie für Strom und Wärme erstellt werden, in die dann auch die bisherige Strom-Richtlinie aufgehen soll. Die EE-Lobbyverbände und eine Reihe von Experten kritisieren, dass ohne verbindliche Sektorziele auf nationaler Ebene die Einhaltung eines EU-Globalziels nicht gewährleistet werden kann (Quelle).

Noch im Legislativprozess befindet sich eine Vorlage über die Themen hinsichtlich Biokraftstoffe bei der Förderung von erneuerbaren Energien (European Commission 2007). Hierbei soll dafür gesorgt werden, dass die Biokraftstoffe Nachhaltigkeitskriterien entsprechen (d.h. dass sie weniger Treibhausgase emittieren als sie vermeiden und Kriterien wie biologische Vielfalt und Kohlestoffspeicher beim Landverbrauch berücksichtigen) und der Kommission ständig über den Landverbrauch Bericht erstattet wird. Auch wird eine zusätzliche Stärkung von Biokraftstoffen der 2. Generation und die Neuformulierung der Richtlinie zur Treibstoffqualität (98/70/EG) diskutiert, da diese die Beimischquoten von Ethanol auf 5 % des Volumens, respektive 3,4 % des Energiegehalts beschränkt und somit das Ziel der Beimischung von Biokraftstoffen in Höhe von 10 % des Energiegehalts behindert.

Ebenfalls noch nicht abgeschlossen sind die Verhandlungen um ein Nachfolgeabkommen für Kyoto, doch „angesichts der alarmierenden Prognosen zum weltweiten Treibhauseffekt, die [...] vom IPCC [wie auch im Stern-Report] veröffentlicht wurden, muss die internationale Gemeinschaft dringend Verhandlungen aufnehmen, um im Anschluss an das Kyoto-Protokoll ein umfassendes und ehrgeiziges neues weltweites Übereinkommen abzuschließen“ (EU-Kommissar für Umwelt, Stavros Dimas). Das Kyoto-Protokoll läuft 2012 aus, daher ist es notwendig bis zum Jahr 2009 zu einem erfolgreichen Folgeabkommen zu gelangen. Die Weltklimakonferenz in Nairobi hat erste kleine Schritte in diese Richtung unternommen. Im Rahmen der Ad-hoc Arbeitsgruppe wurde vereinbart, das Kyoto-Protokoll zu überprüfen. Damit ist der Weg zu einer stärkeren Einbeziehung der Schwellenländer in den Emissionshandel geebnet. Um die Einbindung zu fördern, wurde von der EU der Dachfonds für Energieeffizienz und erneuerbare Energien aufgelegt. Zudem soll die Einrichtung eines Anpassungsfonds, den Entwicklungs- und Schwellenländern Umstellungen aufgrund des Klimawandels erleichtern. Auf dem G-8-Gipfel in Heiligendamm wurde erstmals unter allen Industriestaaten der Welt Einigkeit erzielt, dass die Erderwärmung nicht mehr maximal als 1,5°C bis 2,5°C betragen darf. Um dies zu erreichen, sollen die Treibhausgas-Emissionen bis 2050 weltweit halbiert werden. Die Schwellenländer haben zugesagt, ihren Beitrag hierzu zu leisten, wobei die Industriestaaten sie dabei durch eine stärkere technologische Zusammenarbeit unterstützen sollen. Kommissionspräsident Barroso hofft, dass ein ‚Signal‘ beim G8-Treffen sich als „Schlüssel zu weiteren Fortschritten“ bei der UN-Klimakonferenz, die im Dezember in Bali stattfindet, erweisen könne.

6.3.2. Energie- und Klimapolitik auf nationaler Ebene und Auswirkungen auf den Ausbau erneuerbarer Energien

Die Biomassenutzung stellt in Deutschland eine wichtige Säule bei der Strategie für den Ausbau der erneuerbaren Energien insgesamt dar. So soll der Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung bis zum Jahr 2010 gegenüber 2000 mindestens verdoppelt werden. Dies bedeutet einen Anteil am Primärenergieverbrauch von 4,2 % und von 12,5 % an der Stromerzeugung im Jahr 2010 (Bundesregierung 2002). Das Ziel für den Primärenergieverbrauch wurde bereits im Jahr 2005 mit 4,7 % erreicht und auch der Anteil an der Stromerzeugung hatte in den letzten Jahren einen deutlichen Anstieg auf 11,8 % im Jahr 2006 zu verzeichnen, so dass die Zielerreichung bei Fortsetzung der derzeitigen Förderpolitik als wahrscheinlich gilt. Ambitionierter ist jedoch das Ziel für 2020, das einen Anteil am Primärenergieverbrauch von 10 % und bei der Stromerzeugung von 20 % (EEG 2004) bzw. 27 % – laut der Leitstudie 2007 „Ausbaustrategie Erneuerbare Energien“ des BMU (Nitsch 2007) – vorsieht. Langfristig, d.h. bis 2050, soll der Anteil der Erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch sogar 50 % betragen (Bundesregierung 2002). Für die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien gibt es bislang noch kein Ziel der Bundesregierung, jedoch hat das Bundesumweltministerium ins Auge gefasst, bis 2020 einen EE-Wärmeanteil von 12 % zu erreichen (BMU 2007a). Für Biomasse führt die Bundesregierung bislang ausschließlich bei Biokraftstoffen konkrete Zielsetzungen und Maßnahmen auf. Der Marktanteil der Biokraftstoffe wurde für das Jahr für 2010 mit 6,75 % festgelegt und für 2020 das Ziel 17 % ins Auge gefasst (BioKraftQuG 2006).

Als Meilenstein für die Förderung Erneuerbarer Energien erwies sich das Erneuerbare-Energien-Gesetz. Das EEG löste das Stromeinspeisungsgesetz (StrEG) ab, bezog weitere Energieträger mit ein und schuf die Verpflichtung, den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2010 auf mindestens 12,5 % und bis zum Jahr 2020 auf mindestens 20 % zu erhöhen. Durch die erstmals fixen Einspeisevergütungen – die im StrEG noch an die Durchschnittserlöse gekoppelt waren – wurde damit auch die Stromeinspeisung aus Biomasseanlagen attraktiver. Des Weiteren regelt das EEG den vorrangigen Anschluss von Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien und verpflichtet die Netzbetreiber, Anlagen zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien oder aus Grubengas unverzüglich an ihr Netz anzuschließen und den gesamten aus diesen Anlagen angebotenen Strom vorrangig abzunehmen und zu übertragen. Die Netzbetreiber sind außerdem verpflichtet, Strom, der in Anlagen gewonnen wird, die ausschließlich Erneuerbare Energien oder Grubengas einsetzen, nach im Gesetz festgelegten fixen Sätzen zu vergüten.

Konkretisiert wurden die im EEG 2000 erlassenen Vorschriften bezüglich der Bioenergie durch die *Biomasse-Verordnung* von 2001, die festlegte, welche Stoffe als Biomasse gelten, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung aus Biomasse in den Anwendungsbereich des Gesetzes fallen und welche Umweltauflagen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse einzuhalten sind.

Für eine "möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität und Gas" (EnWG 2005) reguliert das *Energiewirtschaftsgesetz* von 2005 die Elektrizitäts- und Gasversorgungsnetze. Hierzu verpflichtet es alle Netzbetreiber, ihre Netze diskriminierungsfrei allen Kunden gegen ein angemessenes Entgelt zur Verfügung zu stellen und setzt das System des regulierten Netzzugangs an die Stelle des bisher geltenden Prinzips des verhandelten Netzzugangs.

Des Weiteren wurde festgelegt, dass die Regulierungsbehörden die Netzbetreiber überwachen und dass Energieversorger mit mehr als 100.000 Kunden ihren Netzbereich von allen anderen wirtschaftlichen Aktivitäten trennen müssen (Unbundling).

Auch die *Koalitionsvereinbarungen* der großen Koalition setzten politische Ziele sowohl für Erneuerbare Energien als auch für Biomasse selbst fest. So soll der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung bis 2010 auf mindestens 12,5 % und bis 2020 auf mindestens 20 % gesteigert und ihr Anteil am Gesamtenergieverbrauch bis 2010 auf 4,2 %, bis 2020 auf 10 % und danach weiterhin kontinuierlich entsprechend der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie erhöht werden (CDU/CSU/SPD 2005). Bezüglich der Bioenergie werden Ziele, wie eine deutliche mittelfristig Steigerung des Biomasseanteils am Primärenergieverbrauch oder die Weiterentwicklung der Kraftstoffstrategie mit dem Ziel, den Anteil von Biokraftstoffen am gesamten Kraftstoffverbrauch bis zum Jahr 2010 auf 5,75 % zu steigern, genannt. Auch soll eine Beimischungspflicht anstelle der Mineralölsteuerbefreiung für Biokraftstoffe geschaffen werden und die Ausgaben für die Energieforschung, besonders für erneuerbare Energien, Biomasse und Effizienztechnologien schrittweise erhöht werden.

Da die Entwicklung der im Verkehr eingesetzten Biokraftstoffe auf der Basis der durch das Mineralölsteuergesetz (MinöStG) von 1992 geregelten Förderung über Steuervergünstigungen zu ansteigenden Steuerausfällen führte, wurde mit dem *novellierten Energiesteuergesetz vom 15.07.2006* eine stufenweise steigende Besteuerung der verschiedenen „reinen“ Biokraftstoffe eingeführt. Diese liegt bei Biodiesel und Pflanzenöl anfangs noch deutlich unter dem vollen Steuersatz, steigt aber bis zum 01.01.2012 zunehmend an, während Bioethanol auf Basis von Hemizellulose, synthetische Biokraftstoffe und E85 bis 2015 unbesteuert bleiben. In der Landwirtschaft eingesetzte Reinbiokraftstoffe bleiben auch weiterhin steuerbefreit (ufop 2007). Im Dezember 2006 erließ der Bundestag ein *Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote*, um den weiteren Ausbau der Biokraftstoffe bei gleichzeitiger Konsolidierung des Bundeshaushaltes sicherzustellen. Dementsprechend wird die Mineralölwirtschaft seit dem 1.1.2007 verpflichtet, einen wachsenden Mindestanteil von Biokraftstoffen zu vertreiben, der bei Dieselmotoren eine Quote von mindestens 4,4 % und bei Ottomotoren für die Jahre von 2007 bis 2009 mindestens 2 % und ab 2010 von 3 % darstellt. Der Mindestanteil von Biokraftstoff an der Gesamtmenge Otto- und Dieselmotoren, die von einem Anbieter in Verkehr gebracht wird, beträgt im Jahr 2010 6,75 % und im Jahr 2015 8 % (BioKraftQuG 2006).

Um speziell den Ausbau der Biomasse in Deutschland zu fördern, hat der Bundesrat 2006 an die Bundesregierung appelliert, mit Unterstützung durch die Länder einen *nationalen Biomasse-Aktionsplan* zu erarbeiten (Bundesrat 2006), in dem unter anderem die folgenden Maßnahmen und Themen Berücksichtigung finden sollen: Festlegung eines Mindestanteils von Biokraftstoffen im Verkehrssektor, Normierung und Entwicklung eines Fördermodells für biogene Kraftstoffe sowie die Entwicklung eines Instruments zur effektiven Förderung des Ausbaus Erneuerbarer Energien auf dem Wärmemarkt. Die Empfehlung sieht auch eine Förderung des Einsatzes von Biomasse im Stromsektor vor, ohne jedoch bereits Mindestanteile zu nennen. Zusätzlich empfiehlt der Bundesrat, ein Programm für den Ausbau der Fern- und Nahwärmenetze zu prüfen, um den Einsatz von Biomasse in der Wärmeherzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung zu fördern (Schütte 2007). Die Umwandlung von Biomasse in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ist eine Notwendigkeit für eine effiziente Nutzung der nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehenden Brennstoffenergie, die dort mit einem geringeren Einsatz an Primärenergie als bei separa-

ter Strom- und Wärmeerzeugung auskommt. Die Fern- und Nahwärmeversorgung ist in Deutschland im Vergleich zu anderen europäischen Ländern schwach ausgebildet. Gründe hierfür sind vor allem die gegenwärtig hohen Kosten für den Bau und Betrieb solcher Netze sowie die oft ungünstige Wettbewerbssituation von Heizkraftwerken im Vergleich zu ausschließlich Strom produzierenden Anlagen, die bei der Biomasseumwandlung vor allem durch die im Vergleich zur Wärme hohe EEG-Vergütung für den Strom zustande kommt (AGFW 2002). Aber auch Hemmnisse auf der Verbraucherseite sind für den geringen Ausbau verantwortlich. Die Wirtschaftlichkeit wird zukünftig insbesondere durch den abnehmenden Energiebedarf der Haushalte aufgrund von Modernisierungsmaßnahmen weiter verschärft sowie durch eine weniger dichte Bebauung, die die Kosten zur Erschließung so gelegener Verbraucher ansteigen lässt. Eine Ausarbeitung des nationalen Biomasse-Aktionsplans steht bislang noch aus, ist aber für dieses Jahr noch auf der Agenda.

Laut dem *Sondergutachten Klimaschutz durch Biomasse* vom Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) kann die Biomasse beim Klimaschutz eine wichtige Rolle spielen, ist aber keine unerschöpfliche Ressource. So könnten bis zum Jahr 2030 nur etwa 10 % des Primärenergieverbrauchs in Deutschland durch hier angebaute Biomasse abgedeckt werden, sofern Umwelt- und Naturschutzgesichtspunkte angemessen berücksichtigt werden (SRU 2007b). Der SRU argumentiert, dass Biomasse in der Wärme- sowie gekoppelten Wärme- und Stromerzeugung bis zu dreimal effizienter und wesentlich kostengünstiger eingesetzt werden könne als bei der Erzeugung von Biokraftstoffen Biodiesel und Bioethanol. Deshalb solle die Strom- und Wärmeerzeugung Vorrang vor Biokraftstoffen erhalten. Der bevorstehende Importsog für Biokraftstoffe erhöhe unter anderem den Nutzungsdruck auf schützenswerte Tropenwälder in Südostasien und Südamerika, deren weitere Abholzung nicht nur wertvolle Naturressourcen vernichten würde, sondern auch klimapolitisch kontraproduktiv wäre. Den anstehenden Biomasseaktionsplan sowie das geplante Artikelgesetz zum Klimaschutz erachtet der SRU als Chance, das derzeitige Förderinstrumentarium zur Markteinführung auf den Prüfstand zu stellen und vor dem Hintergrund der Klimapolitik der Bundesregierung zu modifizieren. Eine Übersicht über die Ziele auf europäischer und nationaler Ebene ist in Tabelle 6-3 dargestellt.

Tabelle 6-3: Zielwerte zum Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien

		Ist-Wert 2006	2010	2020	2050
Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch	D	5,3%	4,20%	10%	50%
	EU	6,5%	12%	<u>20%</u>	
Anteil erneuerbarer Energien am Elektrizitätsverbrauch	D	11,8%	12,50%	20/27 % *	
	EU	14,4%***		22%	
Anteil von Biokraftstoffen am Kraftstoffverbrauch	D	4,7%	6,75 % **	17 % */**	
	EU		5,75%	<u>10%</u>	

* = bislang lediglich Zielwert des BMU

** = die Quoten werden nach Otto- und Dieselmotorkraftstoffen weiter differenziert

*** = Gilt für die EU-25 im Jahr 2005

Fett = rechtsverbindlich

Unterstrichen = als rechtsverbindlich geplant

6.4. Innovationen

Derzeit zeichnen sich zwei technologische Entwicklungen ab, die mittel- und langfristig die Komposition des Energiesystems und hierbei besonders die Zusammensetzung des Kraftwerksparks zur Stromerzeugung verändern könnten.

Da ist zunächst das Konzept „CCS“ (Carbon Capture and Storage) zu nennen. Sollte es gelingen, die CO₂-Abscheidung in Gas- und Kohlekraftwerken und die gleichzeitige CO₂-Speicherung zu konkurrenzfähigen Kosten zu realisieren, bestünde die Chance, insbesondere bei der Stromerzeugung mit zentralen Kraftwerken für eine kürzere Übergangszeit Gas und für eine längere Kohle einzusetzen. In den industrialisierten Ländern werden erhebliche Forschungs- und Demonstrationsmittel für diese Option bereitgestellt. So beabsichtigt bspw. die Europäische Kommission (2007) bis 2015 12 großmaßstäbliche Demonstrationsanlagen zu fördern. Bei der umweltfreundlichen Umstellung auf ein kohlenstoffarmes europäisches Energiesystem bis 2050 nimmt CCS eine bedeutende Rolle ein. Obwohl auf diese Weise zwar der Druck auf die Biomassenutzung für die Stromerzeugung gemindert werden könnte, dürfte die Nachfrage nach Biomasse durch den Bedarf für Bio-Treibstoffe kompensiert werden. Also unter dem Strich findet keine Entlastung statt.

Eine langfristige Option der Stromerzeugung stellt die Kernfusion dar. Ab etwa 2060 könnte die Kernfusion einen Beitrag zur Energieversorgung leisten und wäre eine Alternative zu den Kernreaktoren. Seit etwa 50 Jahren wird diese Technologie als in 50 Jahren einsatzfähig beschrieben. Die enormen Forschungs- und Entwicklungskosten und -risiken haben die Europäische Union, die USA, Japan und Russland veranlasst, ihre Aktivitäten in einer gemeinsamen Testanlage (ITER) zu bündeln. Bei erfolgreichem Testverlauf könnte die Entscheidung für einen Demonstrationsreaktor ab 2030 fallen. Vor 2060 wird selbst von den größten Optimisten kein kommerziell einsetzbarer Fusionsreaktor erwartet. Insofern sind vor dem letzten Drittel des Jahrhunderts keine nennenswerten Beiträge zur Stromversorgung zu erwarten. Im langfristigen Szenario bei VLEEM („High fossil case with Fusion“) wird 2100 ein Anteil von 20 % durch Fusionsreaktoren am Strommarkt angenommen. Da in den langfristigen Szenarien Biomasse für die Stromerzeugung keine nennenswerte Rolle spielt, sind auch die zu erwartenden Entlastungseffekte marginal.

7. Entwicklungen im Energiesystem und der Bioenergienutzung bis 2020, 2050 und 2100

Szenarien für eine nachhaltige Energieversorgung für Deutschland zeigen eine große Bandbreite möglicher Entwicklungspfade auf. Komplexe Rahmenbedingungen, teilweise konkurrierende Ziele der Nachhaltigkeit und demzufolge unterschiedliche Auffassungen darüber, wie diese gewichtet werden sollten, führen dazu, dass die Ergebnisse umso stärker auseinanderlaufen, je länger die Betrachtungszeiträume sind. Entsprechend unterschiedlich sind die Vorstellungen über die anzustrebende Energieversorgung im Jahr 2100.

Schwerpunkt der Ausführungen in diesem Kapitel sind die Darstellung und vergleichende Gegenüberstellung von Szenarien, die das mögliche Spektrum einer zukünftigen Energieversorgung aufzeigen. Diese beinhalten zum einen explorative Szenarien, bei denen Rahmenbedingungen und andere relevante Einflussgrößen festgelegt werden und vor diesem Hintergrund untersucht wird, welche Entwicklungen sich einstellen würden. Dabei wird das Ziel verfolgt

abzuschätzen, welche Auswirkungen mit bestimmten Einflussgrößen verbunden sind und inwieweit möglicherweise von gewünschten Entwicklungen abgewichen wird. Dagegen werden bei normativen Szenarien Ziele festgelegt und mit Hilfe des Szenarios wird untersucht, auf welchem Wege das Ziel erreicht werden kann. Hier stehen also die Einflussgrößen und Handlungsspielräume im Vordergrund. Die Szenarien leisten damit Hilfestellung, welche Rahmenbedingungen oder Instrumente geschaffen werden müssten, um eine gewollte Entwicklung einzuleiten. Kombinationen aus beiden Szenariotypen sind auch möglich.

Weil sich der Strom- und Wärmesektor einerseits und der Verkehrssektor andererseits durch grundlegend verschiedene Eigenschaften auszeichnen, z.B. eine im Verkehr netzunabhängige Verteilung des Kraftstoffs oder der im Verkehr notwendigen hohen Energiedichte des Brennstoffs, werden sie getrennt voneinander betrachtet, dabei aber die Wechselwirkungen zwischen den Sektoren in die Darstellung einbezogen.

7.1. Strom- und Wärmeerzeugung

Als wichtigstes Ergebnis stellte die Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ in ihrem Schlussbericht im Jahr 2002 fest, dass das gegenwärtige Energiesystem nicht nachhaltig sei (Enquete-Kommission 2002). Damit stehen die Politik, die Energiewirtschaft und Industrie, aber auch alle Verbraucher vor der Herausforderung, die Energieversorgung in Richtung Nachhaltigkeit zu gestalten. Die dafür zur Verfügung stehenden Optionen fußen auf den drei Strategien Steigerung der Energieeffizienz, Energiesparen und Wechsel zu CO₂-ärmeren Energieträgern, worunter die Nutzung der erneuerbaren Energien fällt.

7.1.1. Referenzszenarien

Szenarien werden zumeist an Referenzentwicklungen reflektiert. Diese veranschaulichen, welche Entwicklung sich einstellte, wenn bereits eingeleitete politische Rahmenbedingungen und Instrumente weiter fortgesetzt würden. Damit wird anschaulich, welche Anstrengungen bei normativen Szenarien zur Zielerreichung noch unternommen werden müssten und welche Wirkungen bei explorativen Szenarien tatsächlich auf die betrachteten Instrumente zurückzuführen sind.

Zentrale Studien, in dessen Rahmen Referenzentwicklungen entwickelt wurden, sind zum einen die Energiereports, die im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums von dem Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität Köln (EWI) und der Prognos AG bereits zum vierten Mal erstellt wurden. Der aktuelle Energiereport IV beschreibt die energiewirtschaftliche Referenzentwicklung bis zum Jahr 2030 (EWI/ Prognos 2005). Zum anderen ist das Referenzszenario, das im Rahmen der Arbeiten der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ neben anderen Szenarien für den Zeithorizont bis 2050 entwickelt wurde, für die Diskussion über die energiewirtschaftliche Entwicklung Deutschlands von großer Bedeutung (Enquete-Kommission 2002). Das Referenzszenario der Enquete-Kommission ist im Wesentlichen eine Fortschreibung der Status quo-Entwicklung des Energiereports III bis zum Jahr 2050 (Schlesinger 1999). Dieses Szenario wurde auch in anderen Studien als Referenzentwicklung zu Grunde gelegt (z.B. DLR et al. 2004).

Den jeweiligen Szenarien liegen komplexe wirtschaftliche, sozioökonomische sowie energie- und umweltpolitische Rahmenannahmen zu Grunde, auf die nicht vertieft eingegangen werden kann. Insbesondere das Analyseraster, das für die Erstellung der Szenarien der Enquete-Kommission angefertigt wurde, beinhaltet zu allen relevanten Bereichen umfangreiche Datenreihen bis zum Jahr 2050, und bildet ein umfassendes Werk, das wiederum die Grundlage für andere Szenarien bildet. An dieser Stelle werden die wichtigsten Ergebnisse dargestellt und ein besonderes Augenmerk auf die Nutzung der Biomasse gerichtet.

Nach dem Referenzszenario der Enquete-Kommission steigt der Primärenergiebedarf leicht bis 2010, nimmt dann jedoch deutlich ab. Durch Effizienzverbesserungen auf der Nachfrageseite, bei der Stromerzeugung und bei den übrigen Umwandlungssektoren sowie aufgrund der rückläufigen Einwohnerzahlen ergibt sich bis 2050 eine Abnahme des Primärenergieverbrauchs um fast 20 % (auf 11.370 PJ) gegenüber dem Jahr 2000 (14.180 PJ). Die Beiträge der einzelnen Energieträger zum Primärenergieverbrauch entwickeln sich allerdings sehr unterschiedlich. Kohle, Gas und die erneuerbaren Energiequellen gewinnen vor allem durch die Veränderungen im Strombereich an Bedeutung, die Entwicklung beim Mineralöl wird dagegen hauptsächlich vom Verkehrssektor bestimmt. Gleichwohl wird das Mineralöl aber auch noch im Jahr 2050 mit einem Anteil von rund einem Drittel der wichtigste Primärenergieträger bleiben, gefolgt von Gas mit knapp 30 % und Kohle mit gut 26 %. Zusammengenommen wird sich der Beitrag der erneuerbaren Energiequellen bis 2050 auf über 10 % erhöhen. Die Biomasse inkl. Abfall trägt ausgehend von 1,6 % im Jahr 2000 (233 PJ), im Jahr 2020 mit 3,5 % (472 PJ) und im Jahr 2050 mit 5 % (574 PJ) zur Primärenergiebereitstellung bei. Dabei wurden bis zum Jahr 2020 Mindestanteile für die erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch vorgegeben. Diese betragen für das Jahr 2010 mindestens 3,5 % und für das Jahr 2020 mindestens 4,4 %.

Für die Stromerzeugung werden die Vorgaben gemacht, dass der Beitrag der erneuerbaren Energiequellen zur Nettostromerzeugung künftig weitersteigen soll. Es ist ein Anteil der erneuerbaren Energien an der Nettostromerzeugung (inkl. Import von EE-Strom) von mindestens 8 % im Jahr 2010, mindestens 10 % im Jahr 2020, mindestens 15 % im Jahr 2030 und mindestens 20 % im Jahr 2050 vorgegeben worden. Zur Erfüllung dieser Quote verzeichnen im Jahr 2050 die Windenergie mit 62,5 TWh, die Photovoltaik mit 9,1 TWh sowie die Biomasse mit 12,9 TWh den für die Erfüllung der Vorgaben notwendigen Zuwachs. Biokraftstoffe spielen in dem Szenario mit 22 PJ im Jahr 2050 eine nachgeordnete Rolle.

Tabelle 7-1: Biomassepotenzial in Deutschland nach (Enquete-Kommission 2002)

Biomasse	Energieerzeugung				
	PJ/a elektrisch		PJ/a thermisch		
	Min	Max	Min	Max	
feste Restsstoffe	64,8	90,0	201,6	370,8	Heizwert Brenn-/Resthölzer, Reststroh
Anpflanzung (Brennstoff)	43,2	61,2	180	244,8	1,5 Mio. ha, 190 GJ/ha*a
Vergärung org. Reststoffe	32,4	54,0	46,8	79,2	Bio-, Klär- und Deponiegas

Die Ergebnisse des Energiereport IV lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Der Energiemarkt schrumpft kontinuierlich. Im Prognosezeitraum nimmt der Primärenergieverbrauch bei steigender Wirtschaftsleistung um mehr als 15 % ab (von 14,3 EJ im Jahr 2002 auf 12,1 EJ im

Jahr 2030), während das BIP um fast 50 % wächst. Die Entkopplung von Wirtschaftsleistung und Energieverbrauch setzt sich also verstärkt fort.

Der Anteil der erneuerbaren Energien¹⁰ am Primärenergieverbrauch steigt von 3,4 % in 2002 auf 11,5 % in 2030 (1.395 PJ im Jahr 2030). Im Jahr 2000 wurde der größte Teil der erneuerbaren Energien zur Wärmebereitstellung eingesetzt, vor allem Holz, Stroh und übrige Brennstoffe. Dieser Einsatzbereich wächst bis 2030 um gut ein Drittel.

Im Jahr 2030 werden in Deutschland knapp 9 % weniger Endenergie verbraucht als heute. Dieser Trend zeigt sich in allen Verbrauchssektoren. Die Nachfrage nach Strom steigt allerdings leicht an, der Stromverbrauch wird 2030 um gut 4 % höher liegen als im Jahr 2002. Der Markt für Ölprodukte schrumpft nach 2002 kontinuierlich. Dasselbe gilt, in stärkerem Ausmaß, für Kohle. Der Gasabsatz verringert sich nach 2010. Der Verbrauch an erneuerbaren Energien nimmt im Prognosezeitraum um mehr als 87 % zu. Im Jahr 2030 tragen sie mit gut 5 % zur Deckung des Endenergieverbrauchs bei. Mehr als die Hälfte des Zuwachses der erneuerbaren Energien gehen in die Stromerzeugung.

Der Kraftstoffmarkt ist der kleinste Einsatzbereich für erneuerbare Energien (3,3 % der erneuerbaren Energien in 2000), aber er wächst am schnellsten. In 2030 werden die regenerativen Kraftstoffe einen Anteil von 8 % an der gesamten Kraftstoffversorgung erreichen (daraus ergeben sich ca. 200 PJ im Jahr 2030). Windenergie entwickelt sich zum wichtigsten erneuerbaren Energieträger. Sie stellt in 2030 31 % des gesamten erneuerbaren Energieeinsatzes und knapp 61 % des erneuerbaren Energieeinsatzes zur Stromerzeugung. Außer zu den Biokraftstoffen werden keine expliziten Aussagen zu der Biomassenutzung getroffen.

Überraschend positiv war das Ergebnis, dass die von Deutschland im Rahmen des Kyoto-Protokolls und des EU-Burden-Sharings eingegangenen Verpflichtungen zur Reduktion der Treibhausgase erfüllt werden. Im Vergleich zum Kyoto-Basisjahr 1990 liegen die energiebedingten Treibhausgasemissionen 2030 um 32 % niedriger. Zwischen 1990 und 2010 beträgt der Rückgang gut 19 %. Berücksichtigt man zusätzlich die Entwicklung der nicht-energiebedingten Treibhausgase, beläuft sich dieser Wert auf knapp 22 %.

In Abbildung 7-1 sind die Primärenergieverbräuche und -mixe der Szenarien (Enquete-Kommission 2002) und (EWI/ Prognos 2005) gegenübergestellt.

¹⁰ Die erneuerbaren Energien beinhalten auch den Abfall.

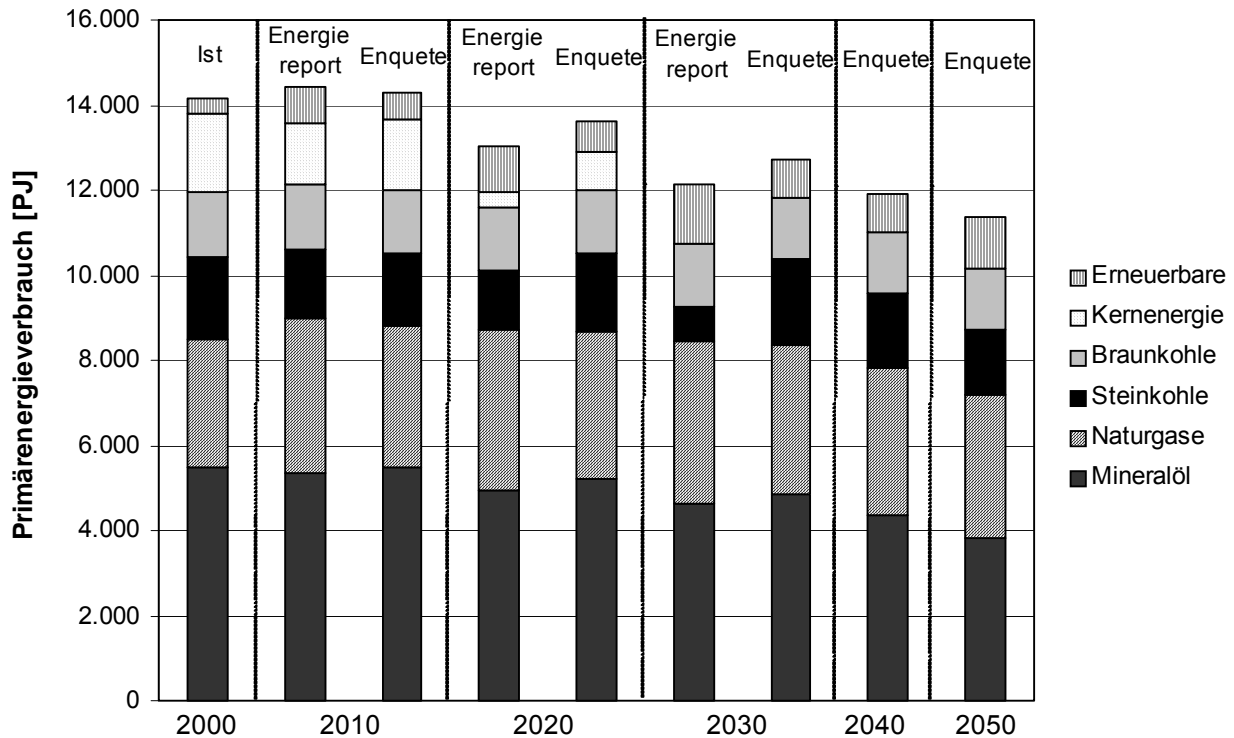


Abbildung 7-1: Gegenüberstellung des Primärenergieverbrauchs und -mixes in (Enquete-Kommission 2002) und (EWI/ Prognosis 2005)

7.1.2. Szenariogruppen zur zukünftigen Energieversorgung bis 2050

Bei den für die Energie- und Klimapolitik Deutschlands skizzierten Entwicklungen zeichnen sich in dem Zeithorizont bis 2050 drei große mögliche Entwicklungslinien ab.

- Dies ist erstens eine Entwicklung, bei der das sehr ambitionierte Klimaschutzziele verfolgt wird, das Überschreiten der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre über den kritischen Wert von ca. 450 ppm (entsprechend einer mittleren globalen Temperaturerhöhung von ca. 2°C gegenüber der Periode 1980-99) zu verhindern. Deutschland und alle anderen Industriestaaten müssten die Klimagasemissionen bis 2050 auf rund 20 % des Wertes von 1990 senken. Das Ziel soll in Deutschland einerseits durch deutliche Effizienzsteigerungen und -einsparungen und andererseits durch einen massiven Ausbau erneuerbarer Energien bei gleichzeitigem Ausstieg aus der Kernenergie erreicht werden. Der Ausbau der erneuerbaren Energien orientiert sich dabei an den Zielen der Bundesregierung, den Beitrag zur Energieversorgung in Deutschland bis zum Jahr 2010 gegenüber 2000 zu verdoppeln und bis zum Jahr 2050 weiter auf 50 % zu erhöhen.
- Die zweite diskutierte Strategie verfolgt auch eine ambitionierte Klimaschutzpolitik, setzt aber auf die verstärkte Kohlenutzung mit anschließender CO₂-Abtrennung und Endlagerung sowie den Ausbau der Nutzung der Kernenergie, sei es durch Kernspaltung oder Kernfusion.

- In der dritten Entwicklungslinie ist die Energiewirtschaft stark auf ein versorgungssicheres Europa ausgerichtet. Damit gewinnt die Kohle weiter an Bedeutung, mit nachgeschalteter CO₂-Abtrennung und Endlagerung.

Zu diesen drei Entwicklungslinien sind verschiedene Szenarien entwickelt worden, deren Ergebnisse anhand von konkreten Studien dargestellt werden.

Szenarien der ersten und zweiten Entwicklungslinie sind mit dem Leitziel erstellt worden, die energiebedingten CO₂-Emissionen bis 2050 um 80% gegenüber 1990 zu senken. Die Nutzung der Kernenergie über die Laufzeit der bestehenden Anlagen nach der Atomgesetznovelle vom 27. April 2002 hinaus, wurde jedoch unterschiedlich unterstellt. Während in der ersten Szenariogruppe von einem Kernenergieausstieg und einem massiven Ausbau der erneuerbaren Energien ausgegangen wird, ist in der zweiten Szenariogruppe ein Ausbau der Kernenergienutzung zugelassen.

Zu den Szenarien, die der ersten Gruppen angehören, zählen das Szenario „REG/REN-Offensive“ (RRO) der Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“ aus dem Jahr 2002 (Quelle), die Studie „Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland“, die im Auftrag des Umweltbundesamtes vom Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt im Jahr 2002 erstellt wurde (Quelle) sowie die Studie „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, erstellt durch das Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, das Institut für Energie- und Umweltforschung und das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie aus dem Jahr 2004 (Quelle), die durch die „Leitstudie 2007“ an die aktuelle Entwicklung der letzten Jahre angepasst wurde (Quelle).

Wegen ihrer Aktualität wird an dieser Stelle auf die beiden zuletzt genannten Studien näher eingegangen. In BMU (2004) sind im Hinblick auf mögliche naturschutzfachliche Auswirkungen zwei unterschiedliche Potenzialvarianten für die erneuerbaren Energien eingeführt worden, die entsprechend auch Auswirkungen auf die Szenarien haben.

- Die Variante „Basis“ zeigt ein technisch-strukturell nutzbares Potenzial erneuerbarer Energien auf, das bereits wesentliche Belange des Naturschutzes berücksichtigt. Aus Sicht des Natur- und Landschaftsschutzes kann aber auch dieses Potenzial nicht immer vollständig genutzt werden, da aufgrund kleinräumiger Gegebenheiten naturschutzfachliche Anforderungen an einzelnen Standorten nicht erfüllt werden können und diese damit für eine Nutzung erneuerbarer Energien nicht zur Verfügung stehen.
- Um diese spezifischen Belange des Naturschutzes, die in der Regel während der Genehmigungsphase einzelner Anlagen im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung untersucht werden, auch bei der Entwicklung von Szenarien für das gesamte Energiesystem perspektivisch zu berücksichtigen und damit das nutzbare Potenzial erneuerbarer Energien nicht zu überschätzen, wird in der Variante „NaturschutzPlus“ ein aus naturschutzfachlichen Gründen zusätzlich reduziertes Potenzial abgeleitet. Bei der Nutzung von Biomasse ergeben sich aber auch zusätzliche Potenziale durch naturschutzbedingte Pflegemaßnahmen.

Für die Biomassepotenzialermittlung für Holz und Energiepflanzen wird die Wald- und Schwachholznutzung wie im Jahr 2000 fortgeschrieben (ca. 220 PJ) und in der Variante „Basis“

noch das bisher ungenutzte Waldholz (140 PJ), das aus dem Gesamtvorrat abzüglich des tatsächlichen Rohholzeinschlags hergeleitet wird, dem energetischen Potenzial zugerechnet.

Daneben werden eine Vielzahl weiterer Sortimente in der Potenzialanalyse berücksichtigt, zu der die Energiepflanzen auf landwirtschaftlichen Flächen einen großen Beitrag leisten. Die Anbauflächen wurden folgendermaßen angenommen (Jahre in Klammern): 2,5 (2010), 3,4 (2020), 4,3 (2030), 5,2 (2040), 6,1 (2050) (Mio. ha). Insgesamt ergeben sich ein für BASIS ein Biomaspotenzial von 1.920 PJ in 2050 und in der Variante „NaturschutzPlus“ 1.440 PJ im Jahr 2050.

Zur Darstellung unterschiedlicher Ausbaustrategien und ihrer Wirkungen werden vier Szenarien entwickelt. Die Szenarien BASIS nutzen dazu die technisch-strukturellen Potenziale. Die durch weitere Anforderungen des Naturschutzes wirksam werdenden Potenzialrestriktionen werden in den Szenarien NaturschutzPlus abgebildet. Wesentlichen Einfluss auf die Gestaltung der Ausbaustrategie erneuerbarer Energien haben die unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten der Biomasse. Im Szenario BASIS I wird ihrer stationären Nutzung soweit Vorzug eingeräumt, wie es die strukturellen Möglichkeiten des Wärmemarktes zulassen, was zu rund 1.200 PJ/a Brennstoffangebot für KWK-Anlagen und Heizungsanlagen bis zum Jahr 2050 führt und gleichzeitig die Bereitstellung von 300 PJ/a an Biokraftstoffen erlaubt. Ein Ausbau, der neben der Erfüllung des Verdopplungsziels für Strom und Wärme für 2010 auch das Ziel eines möglichst rasch wachsenden Kraftstoffanteils erfüllt (Szenario BASIS II) würde im Jahr 2050 zu rund 420 PJ/a Kraftstoffen führen. Damit bleiben im Szenario BASIS II rund 1.000 PJ/a an Brennstoffen für die stationäre Nutzung übrig.

Die Szenarien NaturschutzPlus I und II sind ähnlich definiert. Will man die stationäre Nutzung in ähnlichem Umfang aufrechterhalten wie in BASIS I, so verbleiben nur noch rund 100 PJ/a an Kraftstoffen (Szenario NaturschutzPlus I). Soll der Umfang der Kraftstoffbereitstellung etwa so wie in BASIS I erhalten bleiben (Szenario NaturschutzPlus II), so reduziert sich der Beitrag an Brennstoffen auf 800 PJ/a. Da gleichzeitig größere Flächen praktisch erst nach 2010 zur Verfügung stehen, beginnt in diesen Szenarien der Einstieg in die Kraftstoffherstellung sehr verhalten. Bei allen Szenarien werden die Reststoffe ausschließlich im stationären Bereich genutzt.

Aus technischer Sicht sind noch sehr weitreichende Effizienzverbesserungen möglich, deren Potenziale in den Szenarien unterstellt werden. Die angenommene jährliche Effizienzsteigerung liegt für den Primärenergieverbrauch im Jahresmittel 2000 – 2050 bei 2,6 %/a (Primärenergie berechnet nach Substitutionsmethode), also bei einer knappen Verdopplung gegenüber der langjährigen Vergangenheitsentwicklung und für den Stromverbrauch bei 1,8 %/a, einer Steigerung um 50 % gegenüber der bisherigen Entwicklung. Unter diesen Annahmen wird infolge der Umsetzung der Effizienzstrategie etwa ein Drittel des heutigen Primärenergieeinsatzes überhaupt nicht mehr benötigt. Ein bedeutender Anteil der Effizienzsteigerung findet im Umwandlungsbereich durch die Kraft-Wärme-Kopplung statt. Bei nur noch leicht steigender Nutzwärme (von derzeit 180 TWh/a auf rund 200 TWh/a) kann die Stromausbeute bei deutlicher Steigerung der Stromkennzahlen von derzeit 80 TWh/a auf rund 200 TWh/a steigen.

Die Eckdaten der Szenarien für die Bereiche Stromerzeugung, Brennstoff- und Kraftstoffbereitstellung zeigen, dass in den Szenarien BASIS I und II die direkt nutzbaren Beiträge erneuerbarer Energien (44% an der gesamten Primärenergie; rund das 8,5-fache des heutigen Beitrags) ausreichen, um bis 2050 die angestrebte Reduktion der CO₂-Emissionen zu erreichen. Das liegt u. a. an den beträchtlichen Potenzialen der Biomasse in der Potenzialvariante BASIS, die voll-

ständig ausgeschöpft wird. Die Biomasse deckt in den Szenarien BASIS im Jahr 2050 rund 24 % des Endenergieverbrauchs (bezogen auf den derzeitigen Endenergieverbrauch sind es rund 12 %).

Die für die Szenarien NaturschutzPlus vorgegebene Reduktion der Biomassenutzung verlangt eine anderweitige Kompensation, wenn das gewünschte Ziel einer 80%igen Reduktion der Treibhausgase bei der hier berechneten Gesamtnachfrage nach Endenergie erreicht werden soll. Die Nutzung der weiteren noch in großem Ausmaß verfügbaren Potenziale der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zur Wasserstoffherstellung ist ab etwa 2030 die nächste vernünftig einsetzbare Option. Im Szenario NaturschutzPlus I werden dazu weitere 70 TWh/a Strom eingesetzt um daraus 190 PJ/a Elektrolysewasserstoff als Kraftstoff bereitzustellen. Im Szenario NaturschutzPlus II dienen 150 PJ/a Wasserstoff zur Versorgung dezentraler KWK-Anlagen.

Zu der zweiten Entwicklungslinie, in der auch der Ausbau der Kernenergie zugelassen ist, gehört insbesondere das Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ aus den Arbeiten der Enquete-Kommission.

Zwischen den einzelnen Energieträgern gibt es erhebliche Strukturverschiebungen. Die Kernenergie erfährt im Zeitablauf eine zunehmende Bedeutung und dominiert im Jahr 2050 mit rund 50 % den Primärenergieverbrauch. Der Kohleeinsatz geht zusehends zurück und beschränkt sich 2050 weitgehend auf technische Prozesse, in denen Kohle benötigt wird (Oxygenstahlerzeugung). Stark rückläufig ist bei WI der Verbrauch von Mineralöl, bei IER von Erdgas. Diese beiden fossilen Energieträger haben im Jahr 2050 mit rund 4.000 PJ noch einen Anteil am Primärenergieverbrauch von 37 % (WI) bzw. 28 % (IER). Der Anteil der regenerativen Energieträger nimmt einschließlich der REG-Importe von 2,5 % im Jahr 1998 auf 19,5 % (IER unter Einbeziehung der Umgebungswärme) bzw. 12,2 % (WI ohne Umgebungswärme) zu.

7.1.3. Szenarien zur zukünftigen Energieversorgung bis 2100

Die Entwicklungspfade bis zum Jahr 2100 sind weit weniger differenziert darstellbar und nur sehr grob skizzierbar. Als konsequente Weiterentwicklung der ersten Entwicklungslinie ist die solare Vollversorgung bis 2100 ein möglicher Pfad. Daneben werden Entwicklungen mit einem Mix aus fossilen und erneuerbaren Energieträgern möglich, wobei optional die Kernenergie ihren jetzigen Stellenwert für die Energieversorgung beibehält.

7.2. Verkehr

Der Verkehr weist von allen Sektoren die mit Abstand höchste einseitige Abhängigkeit von Erdölprodukten auf. Zu etwa 98 % werden Erdölprodukte zur Erbringung der Verkehrsleistungen eingesetzt. In der EU ist der Straßenverkehr mit etwa 30 % am Endenergieverbrauch beteiligt und dies mit steigender Tendenz. Der Verkehrssektor ist dafür verantwortlich, dass die EU ihre Kyoto-Ziele bis 2010 verfehlen wird (EC 2006). Rund 90 % des CO₂-Zuwachses zwischen 1990 und 2010 geht auf das Konto des Verkehrs. Nach einer Studie der EU „EU 25 – Energy and transport outlook to 2030“ (EC 2003) wird die Energienachfrage zwischen 2000 und 2030 im Personenverkehr um 14 % und im Güterverkehr um 74 % zunehmen. Der sprunghafte Anstieg der Fahrleistung der Lkw ist für die Umwelt besonders problematisch, da diese pro gefah-

renen Kilometer deutlich höhere Luftschadstoff- und Lärmemissionen als Pkw verursachen. Tabelle 5-1 zeigt die erwartete Energienachfrage aufgeteilt nach Treibstoffen.

Tabelle 7-2: Endenergienachfrage der EU 25 für Verkehr (PJ) nach Treibstoffen

	1990	2000	2010	2020	2030
Benzin	5.531	5.435	5.950	6.088	5.929
Kerosin	1.223	1.888	2.219	2.650	3.015
Diesel	4.313	6.184	7.624	8.692	9.362
Gesamt*	11.066	13.507	15.793	17.430	18.305

Quelle: EC 2006; * Differenzen durch Rundungen

Zur Verbesserung der Klimabilanz hat sich die EU ambitionierte Ziele gesetzt: Neben Maßnahmen zur verstärkten Nutzung umweltfreundlicher Verkehrsträger (ÖPNV, Fahrrad, Schiene), Regelungen zur Begrenzung von Schadstoffemissionen pro Serviceeinheit und Verbesserungen des Verkehrsmanagements soll bis zum Jahr 2010 der Marktanteil von Biotreibstoffen in der EU auf 5,75 % wachsen und im Jahr 2030 soll bis zu einem Viertel der in der EU benötigten Energie für den Straßenverkehr aus sauberen, CO₂-effizienten Biotreibstoffen bereitgestellt werden. Im Jahr 2004 belief sich die Produktion flüssiger Biotreibstoffe in der EU-25 auf gut 85 PJ oder etwa 0,7 % Marktanteil.

In der Verkehrsprognose 2015 des Bundesverkehrsministeriums¹¹ wird für Deutschland in allen betrachteten Szenarien („Laissez faire“, „Integration“ und „Überforderung“) beim Personenverkehr ebenfalls eine deutliche Zunahme der Verkehrsleistungen angenommen, während beim Güterverkehr von konstanten Verkehrsleistungen ausgegangen wird. Im Jahr 2005 betrug der Anteil des Verkehrs am Endenergieverbrauch 28,6 %. Die energiebedingten CO₂-Emissionen des Verkehrs sind die einzigen, die seit 1990 nicht gesunken sind (vgl. Tabelle 7-3).

Tabelle 7-3: Energiebedingte CO₂-Emissionen in Deutschland im Jahr 2005: Verkehr im Vergleich zu anderen Quellgruppen

Quellgruppe	Anteil in %	Veränderungen zu 1990 in %
Verkehr	20,6	1,1
darunter Straßenverkehr	19,1	1,2
Energiewirtschaft	45,5	-12,8
Haushalte	14,2	-12,7
Verarbeitendes Gewerbe	12,9	-33,5
Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	5,7	-29,5

Quelle: Umweltbundesamt, Emissionsberichterstattung der Bundesrepublik Deutschland 2007

¹¹ Die Verkehrsprognose 2015 dient als Grundlage für die Überarbeitung und Anpassung der derzeit gültigen Bundesverkehrsweplanung aus dem Jahr 1992

Kurz- und mittelfristig weisen die vorhandenen Szenarien ein weiteres Wachstum der Endenergienachfrage im Verkehrsbereich aus. Um die von EU und den Mitgliedsländern avisierten Zuwachsraten bei Biotreibstoffen zu erreichen, müssen die Biomassepotenziale in Europa verstärkt genutzt bzw. ausgebaut werden.

Die EU geht bei ihrer Biotreibstoff-Vision davon aus, dass die Hälfte des Biotreibstoffbedarfs im Jahr 2030 durch heimische Ressourcen, die andere Hälfte durch Importe gedeckt wird. Weiterhin wird unterstellt, dass die gesamten Biomassepotenziale für die Treibstoffproduktion zur Verfügung stehen, und dass die Importe aus nachhaltiger Produktion erfolgen.

Für Deutschland hat die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR 2005) in einem Szenario das Potenzial von Bioenergie mit 17,4 % am gesamten Energiebedarf für das Jahr 2030 beziffert, wobei von dem Bioenergieanteil 34 % auf Holz, 59 % auf Energiepflanzen und Stroh sowie 7 % auf Biogas entfallen (vgl. Abbildung 7-2). Danach würde für die Bereitstellung der Bioenergie eine Anbaufläche von 4,4 Mio. ha benötigt, was einem Anteil von 38 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (ca. 17 Mio. ha) entspricht.

Von den in den Jahren 2002 bis 2005 4,6 Mio. ha stillgelegten Flächen in Deutschland wurden annähernd 28 % (knapp 1,3 Mio. ha) für den Anbau nachwachsender Rohstoffe genutzt (Statistisches Bundesamt 2006). Mit dem Auslaufen von Stilllegungsprämien dürfte sich der Anteil der genutzten Flächen deutlich erhöhen. Erste Versuche mit Kurzumtriebsplantagen und darauf basierende Kostenberechnungen haben ergeben, dass diese gegenüber dem konventionellen Ackerfruchtbau bei Erträgen von $10 \text{ t}_{\text{atro}}/\text{ha}^*$, einem Marktpreis von $60 \text{ € t}_{\text{atro}}$, mittleren Verfahrenskosten und einer Nutzungsdauer der Plantage von mindestens 15 Jahren wettbewerbsfähig ist (Große 2006).

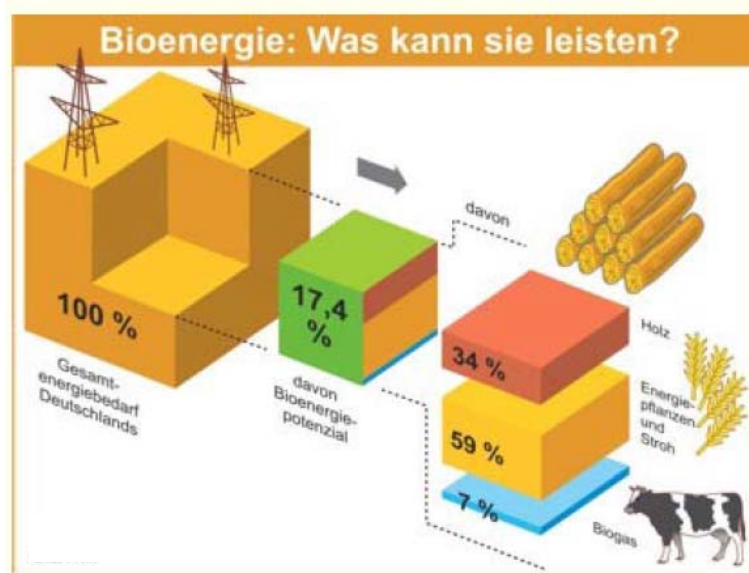


Abbildung 7-2: Was kann Bioenergie zur zukünftigen Energieversorgung leisten? (FNR 2005)

Wie schwierig jedoch die Einschätzung des Biomassepotenzials ist, zeigt bereits die Tatsache, dass nur noch ein Drittel des Rapses, der derzeit zu Biodiesel verarbeitet wird, von Stilllegungsflächen stammt (Schulte 2006). (Nitsch 2007) beziffert die faktisch schon heute vorhandene

Nutzung von landwirtschaftlicher Nutzfläche für Raps zur Erzeugung von Biodiesel und für Mais zur Vergärung in Biogasanlagen in einer Größenordnung von 1,2 bis 1,4 Mio. ha.

Um den steigenden Bedarf nach Holz für Energiezwecke abzudecken, sind Kurzumtriebsplantagen (KUP) im Gespräch, die insbesondere auf landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen angelegt werden sollen. Annahmen über den realisierbaren Beitrag des auf diesen Flächen produzierten Holzes für die künftige Energieversorgung hängen von unterschiedlichen Parametern, wie verfügbaren Flächen – in Konkurrenz zu anderen Energiepflanzen, zur Nahrungsmittelproduktion oder für Naturschutzzwecke – sowie Baumpflanzenmaterial für unterschiedliche Bodenbeschaffenheit und nicht zuletzt der Energiepreisentwicklung zusammen.

Langfristig werden bei VLEEM im Nachhaltigkeits-Szenario „Energy flows in nature“ im Verkehrssektor signifikante Veränderungen bei Treibstoffen und Antriebstechnologien angenommen. Erhebliche Nachfragereduktionen kommen über die Einführung von Hybridantrieben und den späteren Einsatz von Brennstoffzellen (ab 2015 in Passagierflotten) zustande. Bei den Brennstoffen vollzieht sich der Übergang von konventionellem Benzin und Diesel über Biotreibstoffe hin zu Wasserstoff (ab 2040) auf biogener Basis.

8. Bewertung der Robustheit von Szenarioannahmen und Tendaussagen

- Die in Kapitel 4 dargestellten Biomassepotenziale und andere Potenziale erneuerbarer Energieträger bilden die Ausgangsdatenbasis bei der Erstellung von Szenarien. Gerade in Szenarien, in denen das Potenzial ausgeschöpft wird, ist eine exakte Quantifizierung des Potenzials von großer Bedeutung. Die erwähnten deutschlandweiten Potenzialstudien liefern zwar einen ersten, groben Richtwert für den energetischen Einsatz von Waldholz, sind aber unter verschiedenen Gesichtspunkten als unzureichend zu betrachten:
 - Die Basis der angesprochenen Studien bildet das Derbholz. Energieholz ist jedoch nicht zwingend an die Derbholzgrenze gebunden, insbesondere wenn man den Schwerpunkt der Energieholzgewinnung auch in den Bereichen der Schwachholzernte bzw. der Nutzung von Baumkronen sieht. Deshalb stellt das Baumholz im Vergleich zum Derbholz die bessere Alternative für die Potenzialabschätzung dar.
 - Die herkömmlichen Modelle beschränken sich auf ausgewählte Bereiche der Holznutzung („klassische“ Einteilung in Schwachholz, Stockholz, Schlagabraum, Brennholz und Waldrestholz nach Kaltschmitt/ Hartmann (2001)). Unberücksichtigt bleibt häufig, dass ein beachtlicher Teil des für die stoffliche Verwertung vorgesehenen Holzes über verschiedene Wege direkt oder indirekt zur Energiegewinnung genutzt wird. Beispielsweise verkaufte das Land Brandenburg im Jahr 2005 insgesamt 815.000 Fm Kiefern-Industrieholz (kurz) an die Holzwerkstoffindustrie. Etwa 2 % davon wurden bereits direkt vor Ort in Form von Rinde, Spänen und Ausschussware in Produktionswärme und Strom umgewandelt. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass zusätzlich ein gewisser Industrieholzanteil auf direktem Wege in die thermische Verwertung eingeht. Nach den Angaben der Käuferstatistik in Brandenburg trifft das beispielsweise für über 50 % des Eichen-Industrieholzes zu, welches auf Grund des hohen Gerbstoffanteils nicht in der Zellstoffindustrie und nur in geringen Mengen in der Holzwerkstoffindustrie eingesetzt werden kann. Ein weiterer stark unterschätzter Fakt ist die Tatsache, dass im Kleinprivatwald zunehmend monetäre Erwägungen bei der Holzaushaltung hinter den Erhalt der

Fähigkeit der Versorgung mit Brennstoff zurücktreten. Selbst klassische Sägeholzsortimente wandern z.T. direkt in den heimischen Kamin.

- Starre Annahmen in den Potenzialanalysen (z.B. feste BHD-Grenzen für die Aufarbeitung von Energieholz, vordefinierte Anteile am Rohholzaufkommen für die stoffliche Verwertung, ökonomische Beschränkungen) führen bei der Änderung von Rahmenbedingungen, welche gleichzeitig eine Verlagerung der Grenze zwischen stofflicher und energetischer Verwertung bewirken (z.B. Holzpreis, Energiepreis, effizientere Ernteverfahren), rasch zur Ungültigkeit der jeweiligen Studie.
- Da es kein konsistentes Konzept zur Biomassenutzung gibt, sind die Einsatzzwecke von Biomasse relativ beliebig. Unter dem Blickwinkel Umweltentlastung und Klimaschutz, sind die Wirkungen bei KWK-Systemen und bei der Mitverbrennung am höchsten. Hinsichtlich der Versorgungssicherheit/Diversifizierung/Unabhängigkeit sind Treibstoffe von höchster Relevanz.
- Mögliche Nutzungskonkurrenzen um die Ressource Holz, wie sie heute schon zwischen stofflicher und energetischer Nutzung bzw. innerhalb der energetischen Nutzungsmuster sichtbar sind sowie Fragen der Nachhaltigkeit der Biomasseproduktion (Landnutzung, Verdrängung landwirtschaftlicher Produktion) werden in den Szenarien kaum thematisiert bzw. werden als gelöst vorausgesetzt. D.h. politische oder normative Zielwerte werden entsprechend modelliert.
- Die Ausbaustrategie der erneuerbaren Energien führt in (DLR 2004) zu einer Ausschöpfung des Biomassepotenzials. Die Realisierbarkeit wird dabei nicht thematisiert. Gerade im kleinteiligen Privatwald zeigen sich heute bei der Mobilisierung des Potenzials große Schwierigkeiten. Ob diese gänzlich überwunden werden können, ist fraglich.

9. Tableaus zur Szenarienintegration

9.1. Einflussfaktor: Energie- und Klimapolitik

9.1.1. Kurzbeschreibung

Energiepolitik zielt auf verbindliche Regelungen für das System der Aufbringung, Umwandlung, Verteilung und Verwendung von Energie und beeinflusst damit direkt oder indirekt durch staatliche Eingriffe die Energiewirtschaft. Dabei sollen die Ziele Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit der Energiewirtschaft gleichermaßen verfolgt werden. Wegen der großen Mengen klimarelevanter Gase, die bei der Umwandlung von Energieträgern emittiert werden, übt die Klimapolitik zunehmend Einfluss auf die Energiepolitik aus und hat in den letzten Jahren starke Veränderungen des Energiesystems herbeigeführt.

Die Nutzung erneuerbarer Energien (EE) ist wegen ihrer geringeren Umweltwirkungen als eine Strategie zur Klimagasreduktion von großer Bedeutung. Vor allem aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit politische Instrumente geschaffen, durch die ein wirtschaftlicher Betrieb der EE-Anlagen gewährleistet werden sollte und die in der Folge zu einem starken Ausbau geführt haben. Die zukünftige Energie- und Klimapolitik wird daher eine wichtige Steuerungsfunktion für die weitere Nutzung der erneuerbaren Energien übernehmen, insbesondere solange diese noch nicht wettbewerbsfähig zu anderen fossilen und nuklearen Energieträgern ist.

9.1.2. Indikatoren

- Anteile der verschiedenen Energieträger am Primärenergieträgermix und insbesondere Anteil der EE und der Biomasse am Mix
- Endenergienachfrage
- CO₂- und andere klima- und umweltrelevante Emissionen durch Energiebereitstellung
- Im- und Exporte von Energieträgern und Endenergie

9.1.3. Wirkungen

Allgemeine Wirkungen

Die Energie- und Klimapolitik kann durch Regulierung und politische Instrumente Einfluss auf die Endenergienachfrage insgesamt und die Zusammensetzung des Energieträgermixes zur Endenergiebereitstellung beitragen. Damit sind auch Wirkungen auf die Nachfrage nach Biomasse verbunden, der als eine erneuerbare Energiequelle eine wichtige Rolle zukommt. Dabei setzt sich die Biomasse aus verschiedenen Sortimenten zusammen, die zu einem großen Teil aus Waldrest- und Schwachholz besteht und somit unmittelbare Auswirkungen auf die direkte Holznachfrage hat. Da das Holz- und Biomasseangebot begrenzt ist und außerdem in Konkurrenz zu anderen Verwertungsmöglichkeiten steht, ist zur Steigerung des Biomasseangebots in den letzten Jahren der Anbau von nachwachsenden Rohstoffen (Nawaro) auf landwirtschaftlichen Flächen durch eine gezielte Förderpolitik bei der Flächenprämie forciert worden. Diesen Stellenwert genießt auch der Anbau von Agrarholz, das zur Zeit überwiegend lediglich auf Versuchsflächen angebaut wird, aber wegen der vielseitigen Einsatzmöglichkeiten als zukunftsrelevant anzusehen ist. Beide Anbaumöglichkeiten stehen zum einen in Konkurrenz zum Anbau von Lebens- und Futtermitteln und verändern, und das trifft vor allem auf das Agrarholz zu, das Landschaftsbild.

Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren

Demographische Entwicklung

Die Bevölkerungszahl bestimmt zusammen mit anderen Faktoren wie dem spezifischen Energieverbrauch pro Flächeneinheit die Endenergienachfrage der Haushalte und beeinflusst die wirtschaftliche Entwicklung und damit auch den Energiebedarf der Industrie. Eine geringere Bevölkerungszahl führt in der Tendenz zu einer geringeren Endenergienachfrage, wobei auch gegenläufige Wirkungszusammenhänge bestehen (z.B. spezifisch höhere Energieaufwendungen für die Infrastruktur), die aber in ihrer Wirkung nicht dominieren. Ein Wirkungszusammenhang zwischen der Bevölkerungszahl und der Struktur des Primärenergieträgermixes und damit einer Nachfrage nach Dendromasse besteht allerdings nicht unmittelbar.

Flächennutzungskonkurrenz

Der Anbau von Energiepflanzen oder andere Nawaro beansprucht landwirtschaftliche Flächen, die für eine andere Nutzung wie den Anbau von Lebens- und Futtermitteln dann nicht mehr zur Verfügung stehen. Derzeit wird der Anbau von Energiepflanzen und Nawaro durch die Agrarpolitik forciert, so dass sich die Anbaufläche für Energiepflanzen und andere Nawaro auf Stilllegungs- und Nicht-Stilllegungsflächen in Deutschland in 2006 auf bereits 1,6 Mio. ha erhöht hat. Steigt die Nachfrage nach Bioenergieträgern weiter, so erhöht sich bei unveränderter Nachfrage nach Nahrungsmitteln die Rentabilität des Anbaus von Energiepflanzen im Vergleich zu alterna-

tiven Agrarprodukten und damit auch der Anreiz, auf weiteren Flächen Nawaro anzubauen. Dies kann in der Folge zu einer Flächennutzungskonkurrenz führen. Umgekehrt beeinflusst jedoch auch das Preisniveau für Nahrungsmittel die relative Vorzüglichkeit der verschiedenen Anbauoptionen.

Stoffliche Verwertung & neue Technologien

Die stoffliche Verwertung von Holz stellte bei den meisten Sortimenten in der Vergangenheit keine Konkurrenz zu der energetischen dar, doch hat die große Nachfrage nach Energieholz in den letzten wenigen Jahren schon regional zu einer Verknappung bei Holz sowohl für die energetische als auch stoffliche Nutzung geführt. Zumeist wird das Schwach- und Waldrestholz für die energetische Nutzung verwendet, während das Stammholz der stofflichen Nutzung zugeführt wurde, allerdings kommen auch Durchmischungen in der Nutzung vor. Die Aufkommensmenge des Waldrestholzes ist eng an den Stammholzeinschlag geknüpft. Derzeit werden etwa 80 % des Rohholzes eingeschlagen, allerdings ist das noch theoretisch zur Verfügung stehende Potenzial sehr schwer oder gar nicht zu mobilisieren, so dass eine Angebotserhöhung durch einen zusätzlichen Einschlag des Rohholzes als gering einzuschätzen ist. Durch eine steigende Nachfrage nach Energieholz würde sich die Konkurrenzsituation zwischen der stofflichen und energetischen Nutzung weiter verschärfen.

Globalisierung & internationale Märkte

Bereits jetzt existieren mit konditionierten Energieträgern mit hoher Energiedichte Handelsbeziehungen über große Distanzen (z.B. Pellets aus Kanada). Ein Ausbau der EE, mit dem auch eine größere Biomassenutzung verbunden wäre, würde voraussichtlich einen Handel mit Bioenergieträgern mit sich bringen. Schon allein für die Zielerreichung der EU-Kraftstoffquoten müssten Bioenergieträger nach Deutschland importiert werden (SRU 2007a).

Arbeitskultur & Region

In Deutschland könnte der Ausbau von Biomasseanbau und -nutzung Effekte auf den Arbeitsmarkt haben. Verlässliche Prognosen zu dieser Annahme gibt es allerdings bisher nicht. Die Nettoarbeitsplatzbilanz ist als eher gering einzuschätzen. Es werden aber positive Effekte in erster Linie bei Bioenergienutzungsformen, die auf die Erschließung bisher nicht genutzter Energieträger abzielen und nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugungen stehen, vermutet. Grundsätzlich kann der verstärkte Anbau von Biomasse positive Effekte auf das landwirtschaftliche Einkommen zumindest einiger Betriebstypen haben, da unter Umständen bessere Chancen bestehen, die Wertschöpfung in der Region zu halten. Dies kann in Regionen, wie den Mittelgebirgsgebieten, in denen die Aufgabe der landwirtschaftlichen Nutzung unerwünschte Folgen für die Biotop- und Erholungsqualitäten hätten, indirekt auch positive Effekte für die Umwelt haben.

Fraglich ist, inwiefern eventuelle Vorteile durch gegenläufige Effekte kompensiert werden. Die Nachfrage nach Produktionsflächen für die Biomasse erzeugt Konkurrenzdruck auf andere Anbauarten. Dies führt zu einem Ansteigen der Flächenpreise, der Pachten und der Preise in der Nahrungs- und Futtermittelerzeugung. Während langfristig mit einer Angleichung der Pachten an das Marktniveau zu rechnen ist, können kurz- und mittelfristig Verzerrungen zuungunsten der landwirtschaftlichen Betriebe oder Verdrängungseffekte zulasten der Nahrungsmittelproduktion auftreten (SRU 2007a).

Wirkungen auf den Wald

siehe hierzu „Allgemeine Wirkungen“

9.1.4. Unsicherheiten

In fast allen Szenarien zur zukünftigen Energieversorgung in Deutschland wird eine stagnierende oder zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien ausgewiesen. Unsicherheiten beziehen sich vor allem auf die Höhe der Zunahme und den Anteil der Dendromasse an der Energieversorgung. Bis auf das Szenario, das Projektion A zu Grunde liegt, wird davon ausgegangen, dass keine größeren Mengen an Waldrest- und Schwachholz zusätzlich zu der jetzigen Nutzung mobilisierbar sind. Zusätzliches Potenzial könnte in größeren Mengen dann nur auf landwirtschaftlichen Flächen durch den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen erschlossen werden oder aber durch den Import von Bioenergieträgern.

9.1.5. Entwicklungen bis 2020/2050/2100

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2020

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Ambitionierte Klimapolitik auf EE-Basis (basierend auf (DLR et al. 2004))	Ambitionierte Klimapolitik mit fossil/nuklearer Ausrichtung (basierend auf (Enquete-Kommission 2002))	Moderater EE-Ausbau (basierend auf (EWI/ Prognos 2005))	Sichere Energieversorgung (basierend auf (ENERDATA 2005))
Indikatoren-Annahmen	Rückgang der CO ₂ -Emissionen um 80 % bis 2050 gegenüber 1990, Ausstieg aus der Kernenergie, Anteil EE am PEV in 2020 16 %	Rückgang der CO ₂ -Emissionen um 80 % bis 2050 gegenüber 1990; Fortsetzung und Ausbau der Nutzung der Kernenergie (Kernspaltung oder ggf. -fusion); Kohlenutzung mit CO ₂ -Abtrennung und Endlagerung, EE-Anteil am PEV beträgt etwa 7 %	EE-Anteil am PEV beträgt etwa 5 %, Ausstieg aus der Kernenergie	Schwerpunkt auf Versorgungssicherheit für Europa; großer Ausbau der Kohlenutzung mit CO ₂ -Abtrennung und Endlagerung, bis auf Biomasse spielen EE keine bedeutende Rolle; um eine sichere Nahrungsmittelversorgung zu gewährleisten, werden dafür Importgrenzen eingeführt, die den Energiepflanzenanbau behindern
Regionaler Bezug	keine Differenzierung	keine Differenzierung	keine Differenzierung	keine Differenzierung
Eintrittswahrscheinlichkeit	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Auswirkungen auf den Wald	sehr große Nachfrage nach Biomasse in Höhe von 1.600 PJ zur energetischen Nutzung, das gesamte theoretische Biomaspotenzial wird ausgeschöpft, davon 360 PJ aus Wald- und Schwachholz (entspricht etwa 19 Mio. t TS); 1,5 Mio. ha Agrarfläche für den Energiepflanzenanbau	etwa 400 PJ aus Biomasse, Bedarf kann aus den bereits heute genutzten Quellen gedeckt werden; keine Nutzung von Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau notwendig	etwa 500 PJ aus Biomasse zur energetischen Verwertung; davon 150 PJ aus Waldrest- und Schwachholz (entspricht etwa 8 Mio. t TS); 0,5 Mio. ha Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau	etwa 400 PJ aus Biomasse, Bedarf kann aus den bereits heute genutzten Quellen gedeckt werden; keine Nutzung von Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2050

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Ambitionierte Klimapolitik auf EE-Basis (basierend auf (DLR et al. 2004)	Ambitionierte Klimapolitik mit fossil/nuklearer Ausrichtung (basierend auf Enquete 2002, Szenario „...“)	Moderater EE-Ausbau (basierend auf ewi/Prognos 2006)	Sichere Energieversorgung (basierend auf (ENERDATA 2005)
Indikatoren-Annahmen	Rückgang der CO ₂ -Emissionen um 80 % bis 2050 gegenüber 1990, Ausstieg aus der Kernenergie, Anteil EE am PEV in 2050 50 %	Rückgang der CO ₂ -Emissionen um 80 % bis 2050 gegenüber 1990; Fortsetzung und Ausbau der Nutzung der Kernenergie; CO ₂ -Abtrennung und Endlagerung, Anteil EE am PEV 20 % (vor allem offshore-Wind)	EE-Anteil am PEV beträgt etwa 10 %, Ausstieg aus der Kernenergie	Schwerpunkt auf Versorgungssicherheit für Europa; großer Ausbau der Kohlenutzung mit CO ₂ -Abtrennung und Endlagerung, bis auf Biomasse spielen EE keine bedeutende Rolle; um eine sichere Nahrungsmittelversorgung zu gewährleisten, werden dafür Importgrenzen eingeführt, die den Energiepflanzenanbau behindern
Regionaler Bezug	keine Differenzierung	keine Differenzierung	keine Differenzierung	keine Differenzierung
Eintrittswahrscheinlichkeit	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
Auswirkungen auf den Wald	sehr große Nachfrage nach Biomasse zur energetischen Nutzung, 1.600 PJ aus Biomasse, das gesamte theoretische Biomassepotenzial wird ausgeschöpft, davon 360 PJ aus Wald- und Schwachholz (entspricht etwa 19 Mio. t TS); 4,5 Mio. ha Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau	etwa 700 PJ aus Biomasse, Bedarf kann aus den bereits heute genutzten Quellen gedeckt werden und zusätzlich noch 0,5 Mio. ha Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau	etwa 800 PJ aus Biomasse zur energetischen Verwertung; davon 150 PJ aus Waldrest- und Schwachholz (entspricht etwa 8 Mio. t TS); 1 Mio. ha Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau	etwa 400 PJ aus Biomasse, Bedarf kann aus den bereits heute genutzten Quellen gedeckt werden; keine Nutzung von Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau notwendig

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2100

	Projektion A	Projektion B	Projektion C
Kurzbeschreibung	Solare Vollversorgung	Auf Kernenergie basierende Energieversorgung	Auf Kohle basierende Energieversorgung
Indikatoren-Annahmen	ausschließliche Nutzung von EE		
Regionaler Bezug	keine Differenzierung	keine Differenzierung	keine Differenzierung
Eintrittswahrscheinlichkeit	k.A.	k.A.	k.A.
Auswirkungen auf den Wald	sehr große Nachfrage nach Biomasse zur energetischen Nutzung, das gesamte theoretische Biomassepotenzial wird ausgeschöpft, möglicherweise weiterer Ausbau des Energiepflanzenanbaus	Kein weiterer Ausbau der Biomassenutzung; Bedarf kann aus den bereits heute genutzten Quellen gedeckt werden; keine Nutzung von Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau notwendig	Kein weiterer Ausbau der Biomassenutzung; Bedarf kann aus den bereits heute genutzten Quellen gedeckt werden; keine Nutzung von Agrarflächen für den Energiepflanzenanbau notwendig

Abkürzungen:

EE	Erneuerbare Energien
PEV	Primärenergieverbrauch
TS	Trockensubstanz
Nawaro	Nachwachsende Rohstoffe

9.2. Einflussfaktor: Strategischer Wendepunkt von Ölproduktion und -nachfrage - „Peak-Oil“ (Fossile Energieverfügbarkeit)**9.2.1. Kurzbeschreibung**

Der „Peak-Oil“ wird definiert als Zeitpunkt, von dem an die Ölproduktion dauerhaft beginnt zu sinken. Ist dieser Zeitpunkt erreicht und besteht die Nachfrage nach Öl unvermindert oder erhöht sich sogar, ist nicht nur mit erheblichen Preissteigerungen und -schwankungen zu rechnen, sondern als Konsequenz sind gravierende weltweite Auswirkungen auf das Verhalten von Investoren und Konsumenten zu erwarten. Da der Rohstoff Öl weltweit der wichtigste Energieträger und auch Grundstoff vieler industrieller Werkstoffe ist, wird von erheblichen strukturellen Veränderungen in der Wirtschaft und in allen Bereichen, in denen Öl eine wichtige Funktion erfüllt hat (z.B. Transport), ausgegangen. Das Erschließen neuer und unkonventioneller Ölresourcen und das Ausweichen auf andere fossile Energieträger wie Gas und Kohle kann eine Übergangstrategie darstellen. Die grundsätzliche Problematik wird damit jedoch nicht bewältigt (s. Tabelle), allenfalls zeitlich herausgeschoben.

Tabelle 9-1: Reserven und Verbrauch fossiler Energierohstoffe (HWWA 2005)

	Erdöl¹	Erdgas²	Kohle³
1983			
Reserven	723,0	92,7	
Verbrauch	21,1	1,5	
Reichweite	34	62	
1993			
Reserven	1023,6	141,1	
Verbrauch	24,3	2,1	
Reichweite	42	68	
2003			
Reserven	1147,7	175,8	907,3
Verbrauch	28,5	2,6	4,9
Reichweite	40	68	184

¹ Mrd. Barrel; ² Billionen Kubikmeter; ³ Mrd. Tonnen

Andererseits liegt im „Peak Oil“ in Verbindung mit hohen Energiepreisen die Chance, die bestehenden Lücken zwischen technischen Innovationen und der Kommerzialisierung und der damit verbundenen großmaßstäblichen Nutzung der erneuerbaren Energiesysteme zu schließen.

Über den Zeitpunkt des „Peak-Oil“ gibt es kontroverse Diskussionen. An prominenter Stelle der Optimisten rangiert die IEA, die „Peak-Oil“ als Herausforderung in ihren Referenzszenarien bis 2030 vollkommen ignoriert. Allerdings zeigt der Vergleich zwischen dem IEA World Energy Outlook 2004 und dem von 2006, dass die angenommenen Zuwachsraten der Ölproduktion von ununterbrochen 1,6 % pro Jahr auf 1,3 % pro Jahr bereits sinken. Andere Prognosen gehen davon aus, dass Peak-Oil irgendwann vor dem Jahr 2020 erreicht sein wird (<http://www.aspo.ch/peakoil/index.htm>).

Ein vergleichbarer, wenngleich weltweit nicht so bedeutender Strukturbruch für Gesellschaft, Wirtschaft und Energieversorgung wird vom „Peak-Gas“ ausgelöst.

Unabhängig davon, wann Peak-Oil eintritt, stellt sich die Frage, ob genügend Zeit für eine sozialverträgliche, umwelt- und klimafreundliche sowie nachhaltige Transformation bleibt.

9.2.2. Indikatoren

- Dauerhaftes Sinken der Ölproduktion
- Lücke zwischen Ölproduktion und -nachfrage
- Dauerhaft steigende Rohölpreise

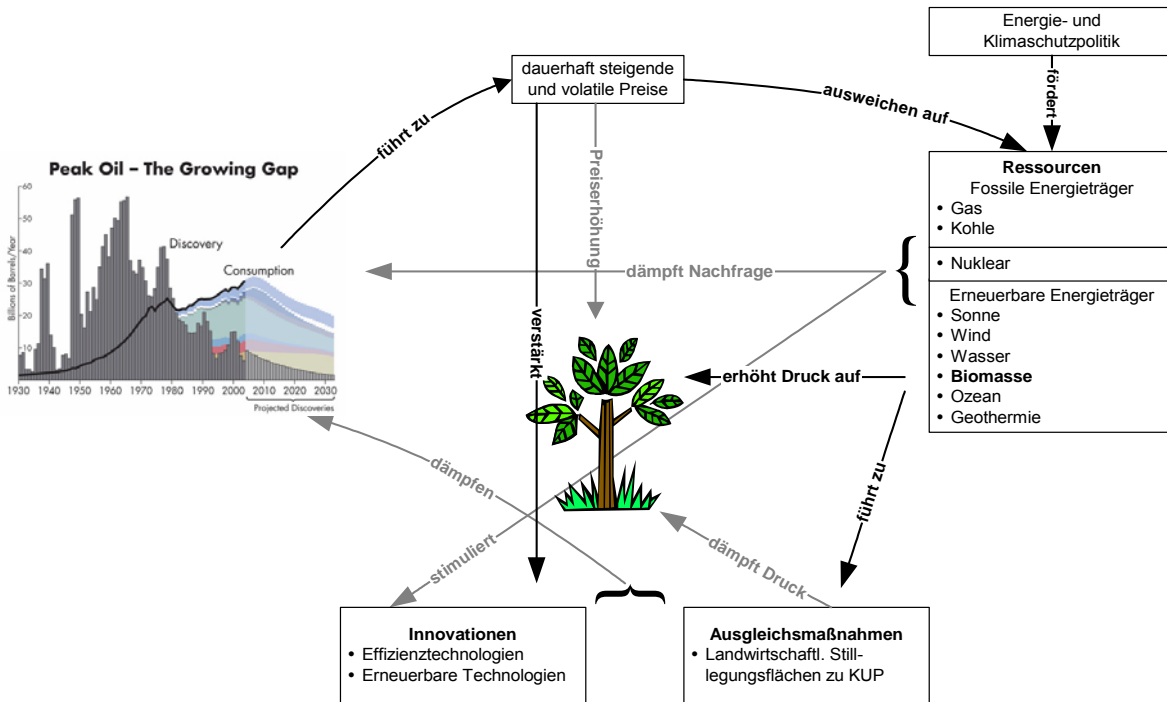
9.2.3. Wirkungen

Allgemeine Wirkungen

- Ausweichen auf andere fossile und nukleare Energieträger
- Erschließen unkonventioneller Energien (Ölsand und -schiefer, Methanhydrat)
- Ausweichen auf erneuerbare Energieträger

- Innovationsschub Energieeffizienz
- Dauerhaft steigende, volatile Energiepreise

Wechselwirkungen mit anderen Einflussfaktoren



Wirkungen auf den Wald

Die energetische Nutzung von Biomasse trägt mit etwa 10 % nach fossilen Energieträgern Öl, Gas und Kohle mit 83 % und noch vor Nuklear mit 6,4 % zum weltweiten Primärenergieverbrauch bei. Wenn Produktion und Verbrauch von Öl und Gas immer weiter auseinander klaffen, wird sich der Druck auch auf die energetische Holznutzung erhöhen. Dies kann zur Folge haben, dass der Holzeinschlag erhöht wird und indirekt zu Abholzungsmaßnahmen führen, um Flächen für die Energiepflanzenproduktion zu gewinnen. Darüber hinaus dürfte die Umwandlung von landwirtschaftlichen Stilllegungsflächen in Wald- oder naturbelassene Flächen kaum stattfinden. Wegen der höheren Effizienz von holzartigbasierten gegenüber ölartigen Treibstoffen wird es zu einer dauerhaften Nachfrage nach Holz kommen. Der Druck auf den Wald wird sich zusätzlich durch die Substitution erdölbasierter (Polymere, Ammoniak) durch Ligno-Zellulose basierter Werkstoffe erhöhen.

9.2.4. Unsicherheiten

Nicht die Tatsache, dass es zu einem Peak-Oil oder Peak-Gas kommen wird, ist Gegenstand der Diskussion, sondern wann der Zeitpunkt erreicht bzw. in das Bewusstsein von Entscheidungsträgern eingedrungen sein wird und damit Ausweichreaktionen zur Nutzung anderer Energieträger auslöst.

Insbesondere der Trend zur verstärkten Substitution von fossil-basierten Werkstoffen durch Biomasse-basierte Werkstoffe wird sich auch in Zukunft, nicht zuletzt vor dem Hintergrund von Klimaschutz induzierten Maßnahmen wie Emissionshandel, weiter fortsetzen.

9.2.5. Entwicklungen bis 2020/2050/2100

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2020

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Peak Oil wird bis 2020 erreicht (ECN-sustainable trade)	Peak-Oil wird bis 2020 nicht erreicht (ECN-fenceless Europe)	Peak-Oil wird durch scharfen Shift zu Kohle und unkonventionelle Energien bis über 2050 herausgezögert (VLEEM-fossil)	Peak-Oil wird durch scharfen Shift zu Kohle und unkonventionelle Energien bis über 2050 herausgezögert (VLEEM-energy flows in nature)
Indikatoren-Annahmen	Energiemix wie in EU Zielen verankert Boom Offshore Wind	Konsumenten werden zu Ko-Produzenten Dezentrale Energieerzeugung mit diversen erneuerbaren Ressourcen	In Europa CO2 Reduktion um 10% je Dekade Primärenergieverbrauch (2000): ca. 80 EJ Renaissance von Kohle (Sequestrierung) Nuklear bleibt in Europa bedeutend Biofuels für Transport	In Europa CO2 Reduktion um 10% je Dekade Primärenergieverbrauch (2000): ca. 80 EJ Sukzessive Ausbau Biomassennutzung
Regionaler Bezug	k. A.	k. A.	k. A.	
Eintrittswahrscheinlichkeit	Nicht unplausibel	Nicht unplausibel	Nicht unplausibel	Nicht unplausibel
Auswirkungen auf den Wald	Verstärkte Holznutzung zentrale Kraftwerke (Co-firing) dezentrale Wärme	Ausschöpfung von Dendro-Potenzialen Holznutzung für dezentrale Mikro-KWK		

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2050

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung	Peak Oil wird bis 2020 erreicht (ECN-sustainable trade)	Peak-Oil wird bis 2020 nicht erreicht	Peak-Oil wird durch scharfen Shift zu Kohle und unkonventionelle Energien bis über 2050 herausgezögert (VLEEM-fossil)	Peak-Oil wird durch scharfen Shift zu Kohle und unkonventionelle Energien bis über 2050 herausgezögert (VLEEM-energy flows in nature)
Indikatoren-Annahmen	Bilaterale Abkommen für Biomasse Importe Biokraftstoffe 2. Generation	Biokraftstoffe 2. Generation Zunehmender Einsatz Biowerkstoffe	Insbesondere Treibstoffe aus Biomasse für Transportzwecke Allmählicher Übergang zu Wasserstoff	Bis 2040 absolute Biomasse Volumen für Europa ausgeschöpft. Treibstoffe aus holzartiger Biomasse
Regionaler Bezug	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Eintrittswahrscheinlichkeit				
Auswirkungen auf den Wald	Keine Neuausweisung von Waldflächen Stilllegungsflächen in KUPs			Ressourcenbeschaffung unklar

Mögliche Ausprägungen/Entwicklungen bis 2100

	Projektion A	Projektion B	Projektion C	Projektion D
Kurzbeschreibung			Peak-Oil wird durch scharfen Shift zu Kohle und unkonventionelle Energien bis über 2050 herausgezögert (VLEEM-fossil)	Peak-Oil wird durch scharfen Shift zu Kohle und unkonventionelle Energien bis über 2050 herausgezögert (VLEEM-energy flows in nature)
Indikatoren-Annahmen			CO ₂ -Minderung auf 35% des Niveaus von 1990 Primärenergieverbrauch: ca. 110 EJ Primärenergieanteil Biomasse 2100 etwa 5%	CO ₂ -Minderung auf 35% des Niveaus von 1990 Primärenergieverbrauch: ca. 80 EJ Etwa 55 % Primärenergie aus erneuerbaren Energien, davon 25% Biomasse
Regionaler Bezug	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.
Eintrittswahrscheinlichkeit	Nicht möglich	Nicht möglich	Nicht möglich	Nicht möglich
Auswirkungen auf den Wald				

10. Übersicht zu Studien der zukünftigen Energieversorgung**Internationale Entwicklung der Energieversorgung**

ECN [Energy Research Centre of the Netherlands] (2005): The next 50 years – Four European Energy Futures. <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2005/c05057.pdf>

Enerdata; ECN; Verbundplan; IPP; STE Jülich (2005): Very Long Term Energy-Environment Model (VLEEM), Grenoble. <http://www.vleem.org/PDF/final-report.pdf>

EU [Europäische Kommission] (2006): European Energy and Transport Trends to 2030 – update 2005. http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/figures/trends_2030_update_2005/index_en.htm

EU [Europäische Kommission] (2004): Bio-energy's role in the EU energy market: A view of developments until 2020 http://ec.europa.eu/energy/res/sectors/bioenergy_publications_en.htm

EU [Europäische Kommission] (2003): World Energy, technology and climate outlook 2030 (WETO). http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto_final_report.pdf

EU [Europäische Kommission] (2006): World Energy Technology Outlook – 2050 WETO-H₂. http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/weto-h2_en.pdf

EREC [European Renewable Energy Council] (2004): Renewable Energy Scenario to 2040. http://www.erec-renewables.org/documents/targets_2040/EREC_Scenario%202040.pdf

IEA [International Energy Agency] (2006): Energy Technology Perspective – Scenarios and Strategies to 2050. http://www.iea.org/textbase/speech/2006/ap_etp.pdf

IEA [International Energy Agency] (2006): World Energy Outlook 2006. http://www.iea.org/Textbase/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1898

- IEA [International Energy Agency] (2003): Energy to 2050: Scenarios for a Sustainable Future. http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/2050_2003.pdf
- IEEJ [The Institute of Energy Economics, Japan] (2006): Results of the Energy Supply and Demand Forecast for the World, Asia and Asian Countries. <http://eneken.iej.or.jp/en/index.html>
- IER [Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung] (2004): Energy trends for Europe in a global perspective. http://www.ier.uni-stuttgart.de/publikationen/pb_pdf/pub2004.pdf
- IZT [Institute for Futures Studies and Technology Assessment] (2006): The EurEnDel Scenarios. Europe's Energy System by 2030. http://www.izt.de/scripts/downloadmanager/files/file_1143035614.pdf
- HWWI [Hamburgerisches Weltwirtschaftsinstitut] (2005): Energierohstoffe – Strategie 2030. http://www.hwwi.org/fileadmin/hwwi/Publikationen/Partnerpublikationen/Berenberg/Strategie_2030_Energierohstoffe_kurz.pdf, http://www.berenberg.de/fileadmin/assets/pdf/Strategie_2030_Energierohstoffe.pdf
- OECD / IEA [Organisation for Economic Cooperation and Development, International Energy Agency] (2004): World Energy Outlook 2004. <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/weo2004.pdf>
- OECD / IAE [Organisation for Economic Cooperation and Development, International Energy Agency] (2003): Energy to 2050: Scenarios for a sustainable Future. http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2000/2050_2003.pdf
- RFF [Resources for the future] (2002): A Global Energy Perspective. <http://www.rff.org/>
- Shell (2001): Energy Needs, Choices and Possibilities. http://www.cleanenergystates.org/CaseStudies/Shell_2050.pdf
- UNDP [United Nations Development Programme] (2000): Energy and the challenge of Sustainability. <http://www.energyandenvironment.undp.org/undp/index.cfm?module=Library&page=Document&DocumentID=5037>
- WBGU [Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen] (2003): Welt im Wandel - Energiewende zur Nachhaltigkeit. http://www.wbgu.de/wbgu_jg2003.pdf
- WEC/Iiasa (1998): Global Energy Perspectives. http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/docs/wec_orderbook.html „Global Bioenergy Potentials through 2050“ bzw. „Biomass Scenarios, Present and Future: Evaluation of WEC's and Hall's Projections and Comparisons to IEW Poll Responses“ <http://www.iiasa.ac.at/cgi-bin/pub/pubsrchKK>

Nationale Entwicklung der Energieversorgung

- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2007): Leitszenario 2007: Ausbaustrategie Erneuerbare Energien.
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2006): Energieversorgung für Deutschland. http://www.bmu.de/files/download/application/pdf/statusbericht_0603.pdf
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland. http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/nutzung_ee_lang.pdf
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2002): Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland. http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Ziele/Studie_UBA_Langfristszenarien.pdf
- BMWA [Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit] (2005): EWI/Prognos – Studie / Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. http://www.wind-energie.de/fileadmin/dokumente/Themen_A-Z/Ziele/ewi-prognos_EnergierreportIV_Energiem%20rkte.pdf

- ewi [Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln] (2006): Auswirkungen höherer Ölpreise auf Energieangebot und –nachfrage.
<http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/Studien/auswirkungen-hoeherer-oelpreise-auf-energieangebot,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>
- ewi, EEFA [Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Energy Environment Forecast Analysis]: Energiewirtschaftliches Konzept 2030. Köln, 2007.
- DNK [Deutsches Nationales Komitee des Weltenergiesrates] (2002): Energie für Deutschland.
<http://www.worldenergy.org/wec-geis/global/downloads/edc/EFD2002.pdf>
- DPG [Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.] (2005): Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland 1990-2020. http://www.dpg-physik.de/info/broschueren/klimastudie_2005.pdf
- Enquete Kommission (2002): Nachhaltige Energieversorgung.
<http://www.bundestag.de/parlament/gremien/kommissionen/archiv14/ener/schlussbericht/index.htm>
- Greenpeace: SolarGeneration – Der Fahrplan für eine saubere Energieversorgung. Hamburg, 2003.
- Greenpeace; Nitsch, Joachim: SolarGeneration 2100: 100% Erneuerbare Energien bis 2100 - Fahrplan für eine vollständig regenerative Energieversorgung bis 2100 in Deutschland, Update der Greenpeace-Studie „SolarGeneration – Der Fahrplan für eine saubere Energieversorgung“, 2003. Hamburg, 2004.
- MWV [Mineralölwirtschaftsverband e.V.] (2006): MWV-Prognose 2025 für die Bundesrepublik Deutschland. <http://www.mwv.de/Download/prognose.pdf>
- FZJ [Forschungszentrum Jülich] (2004): Politiksznarien für den Klimaschutz. Langfristszenarien und Handlungsempfehlungen
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2005): Aktualisierung und Detaillierung des Ausbaus erneuerbarer Energien im Stromsektor bis 2020 mit Ermittlung der Vergütungszahlungen und Differenzkosten durch das EEG

11. Literatur

- AG Energiebilanzen (2007): Auswertungstabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland 1990 bis 2006.
- Aretz, A./ Hirschl, B. (2007): Biomassepotenziale in Deutschland - Übersicht maßgeblicher Studienergebnisse und Gegenüberstellung der Methoden; [Institut für ökologische Wirtschaftsforschung]: 1. DENDROM-Diskussionspapier, Berlin.
- Banschbach, Volker (2003): Einflussgrößen des Energieverbrauchs. Heidelberg.
- BioKraftQuG (2006): Gesetz zur Einführung einer Biokraftstoffquote durch Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und zur Änderung energie- und stromsteuerrechtlicher Vorschriften (Biokraftstoffquotengesetz) vom 18.12.2006; Bundesgesetzblatt Jg. 2006 Teil I Nr. 62, ausgegeben zu Bonn am 21.12.2006, S. 3180-3188; <http://217.160.60.235/BGBL> (9.6.2007).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2007a): Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung. Stand: Juni 2007; Reihe Umweltpolitik, <http://www.erneuerbare-energien.de> (01.08.2007).
- BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit] (2007b): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Stand: Januar 2007 (Internet-Update); Umweltpolitik, Berlin, www.erneuerbare-energien.de (1.2.2007).
- BMWi (2007): Rahmendaten für die Energieversorgung;
<http://www.bmwi.de/BMWi/Navigation/Energie/energiestatistiken,did=177842.html> (29.08.2007).
- BP (2007): BP Statistical Review of World Energy June 2007; <http://www.bp.com>.
- Bundesrat (2006): Mitteilung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften über einen Aktionsplan für Biomasse; Drucksache 914/1/05, 06.08.2007.
- Bundesregierung (2002): Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung; <http://www.bundesregierung.de>.

- CDU/CSU/SPD (2005): Gemeinsam für Deutschland – mit Mut und Menschlichkeit. Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD; <http://koalitionsvertrag.spd.de>.
- David I. Stern and Cutler J. Cleveland (2004): Energy and Economic Growth.
- Dieter, Matthias/ Englert, Hermann et al.] (2001): Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland; Hamburg, internet, pdf.
- DLR/ IFEU et al. [Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt/ Institut für Energie- und Umweltforschung/ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie] (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Umweltpolitik, Berlin, <http://www.erneuerbare-energien.de/inhalt/5650/35338/>.
- ECN [Energy Research Centre of the Netherlands] (2005): The next 50 years – Four European Energy Futures; Grenoble, <http://www.ecn.nl>.
- EEG [Erneuerbare-Energien-Gesetz] (2004): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG) vom 21. Juli 2004 (BGBl. I S. 1918), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 7. November 2006 (BGBl. I S. 2550); <http://bundesrecht.juris.de> (12.3.2007).
- ENERDATA, ECN, VERBUNDPLAN, IPP, STE Juelich, Universiteit Utrecht (2005): Very Long Term Energy-Environment Model (VLEEM); Grenoble, <http://www.vleem.org/PDF/final-report.pdf>.
- Enquete-Kommission [Enquete-Kommission Nachhaltige Energieversorgung] (2002): Schlussbericht der Enquete-Kommission Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung; Deutscher Bundestag, Drucksache 14/9400.
- EnWG [Energiewirtschaftsgesetz] (2005): Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) - Artikel 1 des Zweiten Gesetzes zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts vom 7.7.2005, BGBl I, Nr. 42, S. 1970, Inkrafttreten am 13.7.2005; <http://bundesrecht.juris.de>.
- Europäische Kommission (1997): Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan; KOM(97) 599; <http://ec.europa.eu>.
- Europäische Kommission (2005): Aktionsplan für Biomasse (Mitteilung der Kommission); KOM(2005) 628 endgültig, SEK(2005) 1573, 7.12.2005, Brüssel; <http://ec.europa.eu/energy> (14.1.2007).
- Europäische Kommission (2006): Eine europäische Strategie für nachhaltige, wettbewerbsfähige und sichere Energie (Grünbuch); KOM(2006) 105, SEK(2006) 317, 8.3.2006, Brüssel; <http://ec.europa.eu>.
- Europäische Kommission (2007a): Eine Energiepolitik für Europa (Mitteilung der Kommission an den Europäischen Rat und das Europäische Parlament); KOM(2007) 1 endgültig, SEK(2007) 12, 10.1.2007, Brüssel; <http://ec.europa.eu/energy> (16.1.2007).
- Europäische Kommission (2007b): Fahrplan für erneuerbare Energien - Erneuerbare Energien im 21. Jahrhundert: Größere Nachhaltigkeit in der Zukunft (Mitteilung der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament); KOM(2006) 848 endgültig, SEK(2006) 1719, SEK(2006) 1720, SEK(2007) 12, 10.1.2007, Brüssel; <http://ec.europa.eu/energy> (20.1.2007).
- European Commission, Energy and Transport Directorate-General (2007): Biofuel issues in the new legislation on the promotion of renewable energy. In: Nr. S.
- EWI, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln/ Prognos (2005): Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030 - Energiewirtschaftliche Referenzprognose; BMWA.
- FNR [Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe] (2005): Leitfaden Bioenergie - Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen; Gülzow.
- Fritsche, Uwe R./ Dehoust, Günter et al. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Endbericht; BMU Verbundprojekt gefördert vom BMU im Rahmen des ZIP, Darmstadt, Berlin, Oberhausen, Leipzig, Heidelberg, Saarbrücken, Braunschweig, München.
- Kaltschmitt, Martin/ Hartmann, Hans] (2001): Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren; Heidelberg.
- Kaltschmitt, Martin/ Merten, Dieter et al. (2003): Energiegewinnung aus Biomasse. Externe Expertise für das WBGU-Hauptgutachten 2003 "Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit"; Berlin.
- Kyoto-Protokoll (1997): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Deutsche Fassung; www.bmu.de (20.3.2007).
- Leible, Ludwig/ Art, Andreas et al.] (2003): Energie aus biogenen Rest- und Abfallstoffen. Bereitstellung und energetische Nutzung organischer Rest- und Abfallstoffe sowie Nebenprodukte als Einkommensalternative für die Land- und Forstwirtschaft – Möglichkeiten, Chancen und Ziele; FZK [Forschungszentrum Karlsruhe]: Wissenschaftliche Berichte, Karlsruhe, <http://bibliothek.fzk.de/zb/berichte/FZKA6882.pdf>.

- Nitsch, Joachim (2007): Leitstudie 2007 "Ausbaustrategie Erneuerbare Energien"; BMU [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit]: <http://www.erneuerbare-energien.de>.
- Panayotou, Theodore (2003): Economic growth and the environment; Volume www.unecce.org.
- Rat der Europäischen Union (2006): Schlussfolgerungen des Vorsitzes des Europäischen Rates der Tagung des Ministerrates vom 23./24. März 2006 in Brüssel; 7775/06, CONCL 1, Brüssel, 24. März 2006.
- Richtlinie (2001): Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. September 2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt; Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, L 283/33, 27.10.2001, Brüssel; <http://europa.eu>.
- Richtlinie (2003a): Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor; Amtsblatt der Europäischen Union, L 123/42, 17.5.2003, Brüssel; <http://europa.eu>.
- Richtlinie (2003b): Richtlinie 2003/96/EG des Rates vom 27. Oktober 2003 zur Restrukturierung der gemeinschaftlichen Rahmenvorschriften zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom (Text von Bedeutung für den EWR); Amtsblatt der Europäischen Union L 283/51, 31.10.2003, <http://europa.eu.int>.
- Scheuermann, Anne/ Thrän, Daniela et al.] (2003): Monitoring zur Wirkung der Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). In: Umweltsicht, Nr. S.
- Schlesinger, M. et al. (1999): Die längerfristige Entwicklung der Energiemärkte im Zeichen von Wettbewerb und Umwelt; Prognos Basel.
- Schütte, Andreas (2007): Biomasse zur Stromerzeugung und Kraftstoffbereitstellung – Perspektiven in und für Deutschland; Thermo-chemische Biomasse-Vergasung - Erkenntnisstand 2007, Gülzow.
- SRU [Rat von Sachverständigen für Umweltfragen] (2007a): Klimaschutz durch Biomasse; Sondergutachten, Berlin, <http://www.umweltrat.de>.
- SRU (2007b): Klimaschutz durch Biomasse - Sondergutachten des Sachverständigenrats für Umweltfragen; www.umweltrat.de (25.07.07).
- Statistisches Bundesamt (2006a): Datenreport 2006. Zahlen und Fakten über die Bundesrepublik Deutschland; Bonn.
- Statistisches Bundesamt (2006b): Statistisches Jahrbuch 2006.
- Statistisches Bundesamt (2006c): Statistisches Jahrbuch 2006 für die Bundesrepublik Deutschland; Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006d): Umwelnutzung und Wirtschaft, Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen; www.destatis.de.
- Thrän, Daniela/ Kaltschmitt, Martin (2005): Wirtschaftliche Perspektiven erneuerbarer Energien & Energieeffizienz; Energetik, Institut für: Evangelische Akademie Tutzing.
- ufop (2007): Die aktuelle Biokraftstoff-Gesetzgebung. <http://www.ufop.de>.
- Umweltbundesamt (2007): Umweltdaten Deutschland.
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften (2005): Grünbuch über Energieeffizienz oder Weniger ist mehr. KOM(2005) 265 endgültig, Brüssel
- European Commission (2006): Biofuels in the European Union. A vision for 2030 and beyond. Final report of the Biofuels Advisory Council. Bruxelles
- European Commission (2003): EU 25 – Energy and Transport Outlook to 2030. (DG TREN), Bruxelles
- European Environmental Agency (EEA) (2005): How much biomass can Europe use without harming the environment, briefing 2/2005
- Große, Werner (2006): Holzbereitstellung mittels schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb auf stillgelegten Ackerflächen, Statement auf dem Workshop des IZT „Perspektiven der energetischen Nutzung von Holz“, 14.12.2006), Berlin
- Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung; Frost & Sullivan (2006): The State and Prospects of European Energy Research: Comparison of Commission, Member and Non-Member States' R&D Portfolios. Final Report to the European Commission - Research Directorate General, Berlin/London
- Rat für Nachhaltige Entwicklung (2004): Effizienz und Energieforschung als Bausteine einer konsistenten Energiepolitik. Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung an die Bundesregierung, texte Nr. 14, Berlin

Schulte A. (2006): Lösen Barrel-Äquivalente Raum- und Festmeter ab?; In: Holz-Zentralblatt 40/2006 (132. Jg.)

EU [Europäische Kommission] (2007): Eine Energiepolitik für Europa http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/de/com/2007/com2007_0001de01.pdf

Publikationen des Projekts „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Download unter: www.waldzukuenfte.de

Aretz, Astrid, IÖW; Knoll, Michael, IZT (2007): **Zukunftsfeld „Perspektiven energetischer Nutzung von Holz“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Brüggemann, Beate; Riehle, Rainer, INFIS (2007): **Zukunftsfeld „Arbeitskultur, Region und Innovation“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Brüggemann, Beate; Riehle, Rainer, INFIS (2007): **Zukunftsfeld „Gesellschaftlicher und kultureller Wandel“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

von Detten, Roderich, IFP (2007): **Zukunftsfeld „Märkte für Forst- und Holzwirtschaft vor dem Hintergrund globalisierter Marktbedingungen“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

von Egan-Krieger, Tanja; Ott, Konrad, Universität Greifswald (2007): **Normative Grundlagen nachhaltiger Waldbewirtschaftung. Ethik-Gutachten** im Rahmen des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Erdmann, Lorenz; Behrendt, Siegfried, IZT (2007): **Zukunftsfeld „Wald und Klimawandel“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Henseling, Christine, IZT (2008): **Jugendkonferenz „Zukünfte und Visionen Wald 2100“**. Ergebnisbericht des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Hirschfeld, Jesko; Buchholz, Frank, IÖW (2007): **Zukunftsfeld „Flächennutzungskonkurrenzen“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Marwede, Max; Erdmann, Lorenz; Behrendt, Siegfried, IZT (2007): **Leitbild-Assessment. Normative Orientierungen der Wald- und Landnutzung**. Arbeitspapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Memmler, Michael; Schraml, Ulrich, IFP (2008): **Akteurslandkarte. Bericht über die Analyse relevanter Akteure der Waldpolitik in Deutschland**. Arbeitspapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Mickler, Tobias; Behrendt, Siegfried; et al., IZT (2008): **Delphi-Report: Die Zukunft der Waldnutzung in Deutschland**. Ergebnisse einer Expertenbefragung zur Entwicklung von Wald, Forstwirtschaft und Landnutzung im Rahmen des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Moser, Karl, K.M. Consulting (2007): **Zukunftsfeld „Stoffliche Verwertung von Holz“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Steinmüller, Karlheinz; Schulz-Montag, Beate; Veenhoff, Sylvia, Z_punkt (2008): **Waldzukünfte 2100 – Szenarioreport**. Arbeitspapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Wurz, Antje, IFP (2007): **Zukunftsfeld „Demographische Entwicklung“**. Basispapier des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

Zukünfte und Visionen Wald 2100 (Hrsg.) (2008): **Waldzukünfte: Herausforderungen für eine zukunftsfähige Waldpolitik in Deutschland. Policy Paper** des Projektes „Zukünfte und Visionen Wald 2100“

www.waldzukunft.de