



universität
wien

MAGISTERARBEIT

Titel der Magisterarbeit

„Klimaschutz mit besonderer Betrachtung nachhaltiger
Energieerzeugung“

Verfasser

Christian Fenz Bakk.
Wolfgang Weißensteiner Bakk.

angestrebter akademischer Grad

Magister der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften
(Mag.rer.soc.oec)

Wien, im November 2007

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 066 915
Betreuer: Univ.-Prof. Dr. Gerhard Clemenz

Eidesstattliche Erklärung

Wir erklären hiermit an Eides Statt, dass wir die vorliegende Magisterarbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt haben. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, im November 2007

Christian Fenz

Wolfgang Weißensteiner

Danksagung

An dieser Stelle möchten wir Univ.-Prof. Dr. Gerhard Clemenz unseren Dank aussprechen, denn durch Ihn wurde es uns ermöglicht, diese Diplomarbeit gemeinsam zu verfassen. Sehr herzlich möchten wir uns bei allen bedanken, die uns bei technischen Schwierigkeiten, beim wiederholten Korrekturlesen und mit nützlichen Ratschlägen zur Seite standen.

Vorab möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, welche mich während meiner gesamten Studienzeit stets geduldig unterstützt und mein Studium dadurch erst ermöglicht hat. Ich möchte Wolfgang dafür danken, dass unsere Zusammenarbeit so freundschaftlich und konstruktiv erfolgte. Aber auch allen anderen, welche mich während meiner Diplomarbeitszeit auf welchem Wege auch immer unterstützten, möchte ich hiermit meinen Dank aussprechen.

Christian Fenz

Auch ich möchte mich zuerst bei meiner Familie bedanken, denn nur durch sie wurde mir das Studium ermöglicht. Ich möchte mich ganz besonders bei Daniela bedanken, da sie mich während meines Studiums ständig unterstützte und mir in allen anderen Lebenslagen mit Rat und Tat zur Seite steht. Außerdem möchte ich Christian für die gute Freundschaft und produktive Zusammenarbeit meinen Dank aussprechen. Zum Schluss möchte ich mich bei allen bedanken, welche zur erfolgreichen Beendigung dieser Arbeit beigetragen haben.

Wolfgang Weißensteiner

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	7
2. Klimawandel (Christian Fenz).....	8
2.1 Allgemein	8
2.2 Zusammensetzung der Atmosphäre	9
2.3 Treibhauseffekt	12
2.3.1 Natürlicher Treibhauseffekt.....	13
2.3.2 Anthropogener Treibhauseffekt	13
2.4 Klimaentwicklung in den nächsten 100 Jahren	16
3. Erneuerbare Energien.....	21
3.1 Allgemein (Wolfgang Weißensteiner).....	21
3.2 Wasserkraft (Wolfgang Weißensteiner)	24
3.2.1 Beschreibung	24
3.2.2 Ökonomische Betrachtung	26
3.2.3 Umwelteffekte	26
3.3 Biomasse (Wolfgang Weißensteiner)	28
3.3.1 Beschreibung	28
3.3.2 Ökonomische Betrachtung	30
3.3.3 Umwelteffekte	31
3.4 Abfall (Wolfgang Weißensteiner)	32
3.4.1 Beschreibung	32
3.4.2 Ökonomische Betrachtung	34
3.4.3 Umwelteffekte	35
3.5 Windkraft (Christian Fenz)	36
3.5.1 Beschreibung	36
3.5.2 Ökonomische Betrachtung	38
3.5.3 Umwelteffekte	39
3.6 Solarenergie (Christian Fenz)	40
3.6.1 Beschreibung	40
3.6.2 Ökonomische Betrachtung	44
3.6.3 Umwelteffekte	45
3.7 Geothermie (Wolfgang Weißensteiner)	46
3.7.1 Beschreibung	46
3.7.2 Ökonomische Betrachtung	49
3.7.3 Umwelteffekte	50
3.8 Potential der erneuerbaren Energien (Wolfgang Weißensteiner)	51
3.8.1 Theoretisches Potential	51
3.8.2 Technisches Potential.....	51
3.8.3 Wirtschaftliches Potential.....	54

4.	Alternative Kraftstoffe und Antriebe (Christian Fenz)	56
4.1	Allgemein	56
4.2	Biogene Kraftstoffe	59
4.2.1	Biodiesel	59
4.2.2	Pflanzenöl	60
4.2.3	Bioethanol	62
4.2.4	Biomass to Liquid (BtL)	63
4.2.5	Biogas	65
4.2.6	Sinnhaftigkeit von biogenen Kraftstoffen	66
4.3	Weitere alternative Kraftstoffe	66
4.3.1	Flüssiggas	66
4.3.2	Erdgas	67
4.3.3	Wasserstoff	68
4.3.4	Methanol	69
4.4	Alternative Antriebe	70
4.4.1	Hybridantrieb	70
4.4.2	Brennstoffzellenantrieb	72
5.	Energieeffizienz (Wolfgang Weißensteiner)	75
5.1	Allgemein	75
5.2	Maßnahmen	75
5.2.1	Wirkungsgraderhöhung bei der Stromerzeugung	76
5.2.2	Raumwärme, Warmwasser und Klimatisierung	76
5.2.3	Elektrogeräte im Haushaltssektor	78
5.2.4	Mobilität	79
5.2.5	Industrie, Gewerbe und Handel	80
5.2.6	Wiederverwertung von Materialien	81
5.2.7	Vermeidung	82
5.3	Instrumente für die Umsetzung	83
5.3.1	Least-Cost-Planning (LCP)	83
5.3.2	Energie-Contracting	85
5.3.3	Politische Instrumente	87
6.	Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Klimawandels	90
6.1	Allgemein (Christian Fenz)	90
6.2	Stern-Report (Wolfgang Weißensteiner)	93
6.2.1	Wirtschaftliche Aspekte des Klimawandels	94
6.2.2	Herausforderungen an die Politik	99
6.3	Beschäftigungseffekte (Christian Fenz)	104
6.4	Versorgungssicherheit (Christian Fenz)	107
6.4.1	Physische Risiken	107
6.4.2	Wirtschaftliche Risiken	108
6.4.3	Gesellschaftliche Risiken	108
6.4.4	Ökologische Risiken	109
7.	Schlussbetrachtung	110
	Literaturverzeichnis	112
	Anhang	118

Abkürzungsverzeichnis

a	Anno
Abb.	Abbildung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BtL	Biomass to Liquid
bzw.	Beziehungsweise
CH ₄	Methan
cm	Zentimeter
CNG	Compressed Natural Gas
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalent
d.h.	das heißt
EROI	Energy Return on Investment
EU	Europäische Union
F&E	Forschung und Entwicklung
FCKW	Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe
GJ	Gigajoule
Gt	Gigatonne
h	Stunde
ha	Hektar
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
Jhdt.	Jahrhundert
kg	Kilogramm
km/h	Kilometer pro Stunde
kW	Kilowatt

kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l	Liter
LCP	Least-Cost-Planning
LPG	Liquefied Petroleum Gas
m	Meter
Mio.	Million
Mrd.	Milliarde
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
N ₂ O	Distickstoffoxid (Lachgas)
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NO _x	Stickoxide
O ₃	Ozon
OPEC	Organisation of the Petroleum Exporting Countries
PAFC	Phosphorsaure Brennstoffzelle
PEMFC	Polymermembran Brennstoffzelle
PJ	Petajoule
ppb	parts per billion
ppm	parts per million
sec.	Sekunde
SRES	Special Report on Emission Scenarios
t	Tonne
tkm	Tonnenkilometer
UNO	United Nations Organization
usw.	und so weiter
z.B.	zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Treibhausgase und ihre Klimawirksamkeit (HOUGHTON, 1997)	9
Abb. 2:	Treibhauseffekt (KNOW-LIBRARY, 2006).....	12
Abb. 3:	Atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid (ALLEY et al., 2007) ...	14
Abb. 4:	Atmosphärische Konzentration von Methan (ALLEY et al., 2007).....	15
Abb. 5:	Atmosphärische Konzentration von Lachgas (ALLEY et al., 2007)	15
Abb. 6:	Zukunftsszenarien (KREIENKAMP et al., 2006).....	17
Abb. 7:	SRES-Szenarien (ALLEY et al., 2007)	18
Abb. 8:	Struktur des Weltenergieverbrauchs im Jahr 2004 (STAISS et al., 2007).....	22
Abb. 9:	Vergleich fossiler und regenerativer Energieträger (LAUER, 2002)	23
Abb. 10:	Systematik der biogenen Brennstoffe (HARTMANN und STREHLER, 1995).....	29
Abb. 11:	Mittlere Windgeschwindigkeit in 80 m Höhe (PEHNT et al., 2006).....	37
Abb. 12:	Verteilung der jährlichen Sonneneinstrahlung (DGS, o.J.)	41
Abb. 13:	Natürliches Angebot erneuerbarer Energien (PEHNT et al., 2006)	53
Abb. 14:	Stromgestehungskosten (REICHMUTH et al., 2006) und (QUASCHNING, 2003)	54
Abb. 15:	Anteil der Treibstoffverbrennung an Gesamtemissionen in Deutschland (HEINLOTH, 2003)	57
Abb. 16:	Zielquoten alternativer Kraftstoffe in der EU (SPECHT et al., 2003)	58
Abb. 17:	Rohstoffe für die Bioethanolherstellung in Europa (AGRANA, 2007)	62
Abb. 18:	Länderanteile an der Bioethanol-Weltproduktion 2006 (AGRANA, 2007)	63
Abb. 19:	Verfahren BtL-Herstellung (FACHAGENTUR NACHWACHSENDER ROHSTOFFE, 2006).....	64
Abb. 20:	Systemskizze eines Autogasfahrzeuges (DEUTSCHER VERBAND FLÜSSIGGAS, o.J.).....	67
Abb. 21:	Skizze Hybridfahrzeug (POLLAK, 2004).....	72

Abb. 22:	NECAR 5 (DIEBRENNSTOFFZELLE.DE, o.J.).....	73
Abb. 23:	Jährliches Einsparungspotential eines Zweipersonenhaushaltes (ROGALL, 2004).....	78
Abb. 24:	Kostenverlauf beim Einspar-Contracting (RENNER und PLÖBST, 2007).....	87
Abb. 25:	Einteilung von Gütern (WÖLLER, 2006)	91
Abb. 26:	Stabilisierungsniveau und Wahrscheinlichkeitsbereiche für Temperaturanstiege (HM TREASURY, 2006).....	94
Abb. 27:	Illustrative Emissionswege zum Stabilisieren bei 550 ppm CO ₂ e (HM TREASURY, 2006).....	98
Abb. 28:	Kostenentwicklung von Technologien der Stromerzeugung (HM TREASURY, 2006)	101
Abb. 29:	Beschäftigungseffekte in Deutschland bei einem 40 %-Reduktionsszenario (SCHEELHAASE, 2001).....	106

1. Vorwort

Anfang des 19. Jhdts. begann sich die Erde dramatisch zu verändern. Grund dafür war der verstärkte Einsatz von Maschinen, welcher die so genannte industrielle Revolution auslöste. Aufgrund der zunehmenden Industrialisierung erreichten die Menschen in den westlichen Ländern einen noch nie da gewesenen Wohlstand. Einhergehend mit der Steigerung des Wohlstandes stieg der Energieverbrauch ständig an, und hat noch nie erreichte Ausmaße angenommen. Dadurch wurde die Umwelt immer stärker in Anspruch genommen. Würden alle Menschen auf der Erde die gleiche Energie verbrauchen wie jene in den Industriestaaten, so wären die Umweltauswirkungen katastrophal und der Planet Erde würde in kürzester Zeit unbewohnbar werden. Grund dafür ist, dass der Energiebedarf bis heute fast ausschließlich mit fossilen Energieträgern abgedeckt wird und deren energetische Nutzung die Hauptquelle von Treibhausgasen darstellt.

WissenschaftlerInnen haben herausgefunden, dass der Ausstoß von Treibhausgasen einen Großteil zum gegenwärtigen Klimawandel beiträgt. Werden keine Maßnahmen gegen den Klimawandel gesetzt, wird es nach heutigem Stand des Wissens unweigerlich zu dramatischen gesundheitlichen und materiellen Schäden kommen, und schlussendlich zu einem Rückgang des Wohlstands führen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass eine nachhaltige Lebensweise angestrebt wird. Darunter versteht man eine Anpassung der Lebensweise in einer Art und Weise, um auch die Bedürfnisse der zukünftigen Generationen befriedigen zu können. Wenn man der nachhaltigen Lebensweise gerecht werden will, wird es nötig sein, alle möglichen Klimaschutzmaßnahmen zu setzen um dem Klimawandel Einhalt zu bieten. Ein rasches Handeln ist hier von besonderer Bedeutung, da nur auf diesem Weg unwiderrufbare Schäden verhindert werden können.

Diese Arbeit versucht diese Problematik aufzugreifen und den LeserInnen einen Einblick in dieses aktuelle Thema zu geben. Da es sich beim Klimaschutz um ein sehr komplexes Gebiet handelt, wird sich die vorliegende Arbeit speziell auf die nachhaltige Energieerzeugung fokussieren, da in diesem Bereich die meisten Treibhausgase emittiert werden.

2. Klimawandel

2.1 Allgemein

In den letzten Jahren häufen sich Berichte über extreme Wetterereignisse auf der ganzen Welt. So war im Jahr 2007 der wärmste und trockenste April in Österreich seit es Wetteraufzeichnungen gibt. Aber nicht nur Hitze und Dürre setzen der Menschheit zu, auch Überschwemmungen, Hurrikans, etc. nehmen immer dramatischere Ausmaße an. Wird es in Zukunft nur mehr extreme Wetterereignisse geben oder hat es solche Ereignisse nicht auch schon früher gegeben? (LATIF, 2007)

Die Klimageschichte war schon immer von Wetterextremen geprägt und gleicht einer Achterbahnfahrt. Viele natürliche Prozesse können auf das Klima einwirken und es in weiterer Folge auch verändern. So hat es in der Geschichte der Erde schon einige Klimawechsel gegeben. Beispiele für solche natürlichen Prozesse sind Veränderungen in der Sonnenstrahlung, große Vulkanausbrüche, welche die Erde jahrelang abkühlen ließen oder auch Meteoriteneinschläge. Des Weiteren waren in den Eiszeiten große Regionen von einer dicken Eisschicht überzogen und der Meeresspiegel um bis zu 100 m niedriger als zum gegenwärtigen Zeitpunkt. Diese Eiszeiten und dazwischen liegende Warmzeiten hatten einen Zyklus von rund 100.000 Jahren. Solche natürlichen Klimaschwankungen erschweren es, Aussagen darüber zu treffen, ob der Mensch Einfluss auf das Klima hat. (LATIF, 2007)

Erfolgt ein Klimawechsel in einer relativ langen Zeitspanne, ist es der Fauna und Flora möglich, sich an die neuen Gegebenheiten anzupassen. Geschieht dieser Prozess jedoch in einer kürzeren Zeit, als die Tiere und Pflanzen benötigen um sich darauf einstellen zu können, wird es unweigerlich zu einer Verringerung der Biodiversität der Erde kommen. In den letzten 100 Jahren hat der Temperaturanstieg so rasch stattgefunden, wie er in den letzten 400.000 Jahren mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. (KROMP-KOLB und FORMAYER, 2005)

Laut dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), einem Gremium der UNO und der Weltorganisation für Meteorologie, wurde bereits 1995 festgestellt, dass der Mensch zu diesem Temperaturanstieg einen großen Anteil beiträgt. Dies wurde im letzten Sachstandsbericht des IPCC von 2007 bekräftigt. (LATIF, 2007)

2.2 Zusammensetzung der Atmosphäre

Unsere Atmosphäre besteht aus rund 78 % Stickstoff, 21 % Sauerstoff und 1 % verschiedenster Spurengase. (WILLIAMS, 2007) Obwohl die Spurengase nur einen sehr geringen Anteil ausmachen, haben einige dieser Gase enormen Einfluss auf das Klima. Diese Gase werden Treibhausgase genannt. In der folgenden Abbildung werden die wichtigsten Treibhausgase inklusive Klimawirksamkeit und deren Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt (vom Menschen verursachter Treibhauseffekt) angeführt.

Spurengase	Klimawirksamkeit	Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt
Kohlendioxid (CO ₂)	1	50 – 60 % (zusammen mit Kohlenmonoxid)
Methan (CH ₄)	21	15 – 20 %
Distickstoffoxid (N ₂ O)	310	5 %
FCK und FCKW	14.000 – 17.000	17 %
Ozon (O ₃)	2.000	7 %

Abb. 1: Treibhausgase und ihre Klimawirksamkeit (HOUGHTON, 1997)

Die Klimawirksamkeit bezieht sich auf das Treibhausgas CO₂, da dies den größten Anteil am anthropogenen Treibhauseffekt einnimmt. So ist beispielsweise eine Einheit Methan 21mal so klimaschädlich wie eine Einheit CO₂. Die chemische Zusammensetzung der Atmosphäre ist ausschlaggebend für das Klima der Erde und das darauf befindliche Leben. An dieser Stelle wird kurz auf die Treibhausgase Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Distickstoffoxid, Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe und Ozon eingegangen.

Das bedeutendste Treibhausgas ist Wasserdampf. Die Konzentration von Wasserdampf wird von Temperatur und relativer Feuchte bestimmt. Mit steigender Temperatur wird mehr Wasser verdampft und die Konzentration nimmt zu. Der Ausstoß an Wasserdampf durch den Menschen ist im Vergleich zur Wasserdampfmenge, welche im natürlichen Kreislauf von Verdunstung und Niederschlag umgesetzt wird, nur sehr gering. Menschliche Aktivitäten führen also nicht zu einer spürbaren Zunahme von Wasserdampf. (KROMP-KOLB und FORMAYER, 2005)

Das bekannteste klimarelevante Gas ist Kohlendioxid (CO_2), welches laut ALLEY et al. (2007) in einer Konzentration von 379 ppm (0,0379 %), in der Atmosphäre vorhanden ist. Zum Vergleich: Die Atmosphäre der Venus besteht beinahe zur Gänze aus CO_2 . Dadurch können die langwelligen Wärmestrahlen nicht entweichen und es kommt zu einem enormen Treibhauseffekt, welcher zu einer Oberflächentemperatur von mehreren hundert Grad Celsius führt. CO_2 ist seit jeher ein natürlicher Bestandteil der Erdatmosphäre und bildet die Grundlage für das Leben der Pflanzenwelt. Die Pflanzen nehmen CO_2 aus der Atmosphäre auf und produzieren mittels Photosynthese Sauerstoff. (LATIF, 2007)

Das drittichtigste Treibhausgas ist Methan (CH_4), welches auch Sumpfgas genannt wird. Diesen Beinamen bekam es, da dieses Gas bei der Zersetzung von organischem Material unter Luftabschluss entsteht. Feuchtgebiete sind die größte natürliche Methanquelle. Die direkt oder indirekt von menschlichen Aktivitäten geschaffenen Methanquellen sind unter anderem undichte Erdgaspipelines, Ölquellen, Reisfelder, Wiederkäuerzucht und Mülldeponien. Des Weiteren kann Methan auch bei der Torf- und Holzverbrennung freigesetzt werden. (HOUGHTON, 1997)

Distickstoffoxid (N_2O) ist auch unter dem Namen Lachgas bekannt und wird unter anderem als Anästhetikum verwendet. Als Treibhausgas nimmt Distickstoffoxid eine eher untergeordnete Stelle ein. Die gegenwärtige Konzentration in der Atmosphäre beträgt 0,319 ppm und ist somit 8 % höher als vor dem industriellen Zeitalter. (HOUGHTON, 1997) Distickstoffoxid wird vor allem bei der Kunstdüngerproduktion, der Verbrennung von fossilen Energieträgern und von Biomasse freigesetzt. (HUPFER, 1991)

Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKWs) wurden in den 20er Jahren des 19. Jhdts. entwickelt. Sie wurden in Kühlgeräten, Klimaanlage und als Treibgas in Spraydosen eingesetzt. Zunächst ist man davon ausgegangen, dass FCKWs aufgrund ihrer hohen Dichte in der unteren Schicht der Atmosphäre (Troposphäre) verbleiben. Das stellte sich jedoch später als Irrtum heraus. Durch Luftverwirbelungen gelangten sie in die oberen Schichten der Atmosphäre (Stratosphäre), wo sie sehr wohl eine Gefahr darstellen. FCKWs bauen dort Ozon (O_3) ab und zerstören damit die Ozonschicht, welche die Erde vor schädlichen UV-Strahlen schützt. (LATIF 2007) Neben der Ozonzerstörung absorbieren FCKW-Moleküle die langwelligen Wärmestrahlen und tragen so zur globalen Erwärmung bei. (HOUGHTON, 1997) Die FCKW-Konzentrationen nehmen dank dem Montrealer Protokoll von 1987, einem internationalen Abkommen zum Schutz der Ozonschicht, kontinuierlich ab. (LATIF, 2007)

2.3 Treibhauseffekt

Bestimmte Gase in der Atmosphäre haben eine ähnliche Wirkung wie das Glas eines Gewächshauses, deshalb spricht man vom so genannten Treibhauseffekt. Sowohl durch das Glas als auch durch die Atmosphäre kommt die kurzwellige Sonnenstrahlung fast ungehindert zur Erdoberfläche. Hingegen wird die langwellige Wärmestrahlung der Erdoberfläche von den Treibhausgasen in der Atmosphäre bzw. vom Glas stark absorbiert und das Entweichen der Wärme wird behindert. (BRÄUER et al., 1999) Die Treibhausgase absorbieren die langwelligeren Wärmestrahlen und emittieren sie anschließend gleichmäßig in alle Richtungen. Neben der kurzwelligen Globalstrahlung erhält die Erdoberfläche somit auch langwellige Strahlung und wird dadurch wärmer. (HUPFER, 1991)

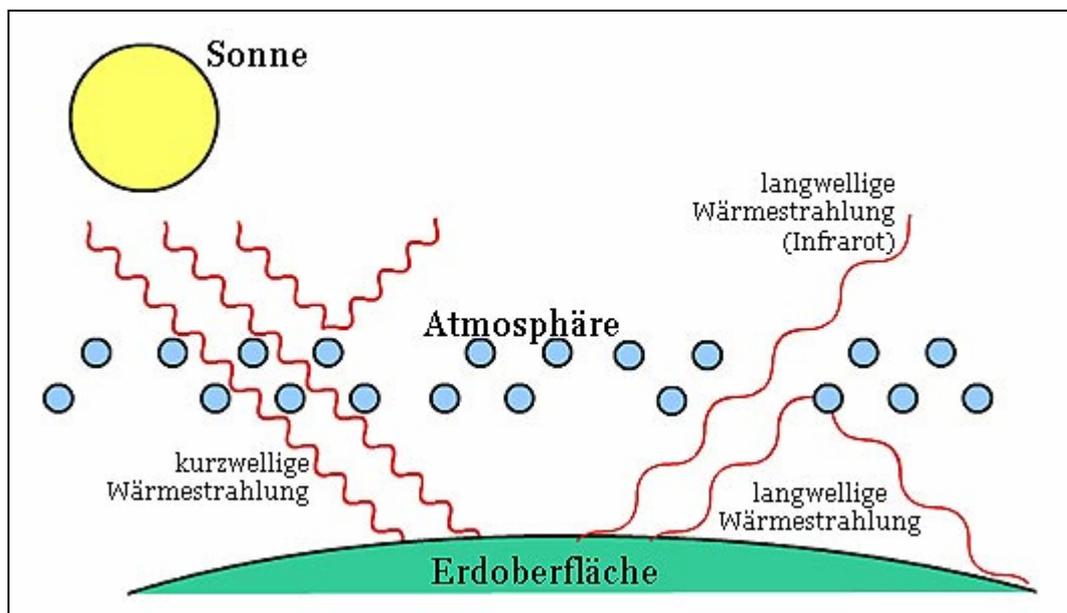


Abb. 2: Treibhauseffekt (KNOW-LIBRARY, 2006)

Wenn man von Treibhauseffekt spricht, hat dies immer einen bitteren Beigeschmack, obwohl erst durch den natürlichen Treibhauseffekt Leben auf der Erde möglich ist. Davon abzugrenzen ist der vom Menschen verursachte Treibhauseffekt (anthropogener Treibhauseffekt).

2.3.1 Natürlicher Treibhauseffekt

Durch den natürlichen Treibhauseffekt herrscht auf der Erde ein mildes und lebensfreundliches Klima. Ohne diese natürliche Erwärmung hätte es eine Oberflächentemperatur von rund -18 °C . Hingegen beträgt die derzeitige Temperatur im globalen Mittel ungefähr 15 °C . Dies heißt, dass der natürliche Treibhauseffekt eine Erwärmung von rund 33 °C bewirkt. Interessant ist, dass für diese 33 °C Differenz einzig und allein die klimarelevanten Spurengase, welche weniger als 1 % der Atmosphäre ausmachen, verantwortlich sind. (LATIF, 2007) Zu den natürlichen Quellen von Treibhausgasen zählen Vulkanismus, die Tier- und Pflanzenwelt (Biosphäre), der Boden, der Ozean sowie die Atmosphäre selbst, wo Treibhausgase durch chemische Umsetzungsvorgänge produziert werden. (HUPFER, 1991)

2.3.2 Anthropogener Treibhauseffekt

Unter anthropogenem Treibhauseffekt wird die Emission von Treibhausgasen durch den Menschen verstanden. Wie schon in Kapitel 2.2 erwähnt, ist Wasserdampf das bedeutendste Treibhausgas. Bei diesem ist der Einfluss des Menschen aber sehr gering, deswegen wird hier nicht näher darauf eingegangen.

Die wichtigste Rolle unter den vom Menschen geschaffenen Treibhausgasen nimmt CO_2 ein. Die Anreicherung mit diesem Gas ist vor allem auf die Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Erdöl, Erdgas und Kohle zurückzuführen. (LATIF, 2007) Seit Beginn der industriellen Revolution im 18. Jhdt. stieg der weltweite Energieverbrauch und somit auch die Freisetzung von CO_2 . Wie in Abbildung 3 ersichtlich, lag die CO_2 -Konzentration vor der industriellen Revolution noch bei etwa 280 ppm. Im Jahre 2005 lag sie schon bei 379 ppm, wobei in den letzten 30 Jahren ein Anstieg von 50 ppm zu verbuchen war. Im Zeitraum von 1971 bis 1998 haben sich der weltweite Energieverbrauch als auch die Freisetzung von CO_2 beinahe verdoppelt. (KROMP-KOLB und FORMAYER, 2005)

Mithilfe von Bohrkernen aus Grönland und der Antarktis ist es mit moderner Technik möglich, die CO₂-Konzentrationen bis 650.000 Jahre zurückzuverfolgen. Dies erfolgt durch die Analyse von eingeschlossenen Luftbläschen, anhand derer die Luftzusammensetzungen gemessen werden können. Es konnte festgestellt werden, dass bis zur industriellen Revolution der CO₂-Gehalt immer zwischen 180 und 300 ppm schwankte. (ALLEY et al., 2007) Wie man in Abbildung 3 sieht, scheinen wir mit den jetzigen 379 ppm den natürlichen Schwankungsbereich von CO₂ verlassen zu haben.

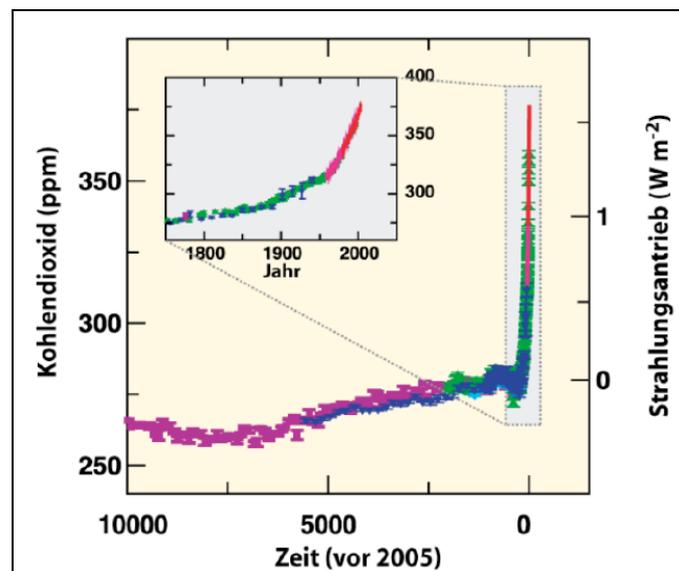


Abb. 3: Atmosphärische Konzentration von Kohlendioxid (ALLEY et al., 2007)

Laut dem IPCC Sachstandsbericht von 2007 ist es sehr wahrscheinlich, dass menschliche Aktivitäten die Ursache für den beobachteten Anstieg der Methan-Konzentration sind. Es ist jedoch sehr schwer, die jeweiligen Beiträge den verschiedenen Quellentypen zuzuordnen. Durch Eisbohrungen konnte festgestellt werden, dass vor der industriellen Revolution die globale atmosphärische Methan-Konzentration bei 715 ppb (entspricht 0,715 ppm) lag. Dieser Wert hat sich bis 2005 auf 1.774 ppb (entspricht 1,774 ppm) erhöht und somit mehr als verdoppelt. Es hat sich gezeigt, dass sich der Methangehalt bis zur industriellen Revolution immer zwischen 320 und 790 ppb bewegte und seit der Industrialisierung den natürlichen Schwankungsbereich der vergangenen 650.000 Jahren verlassen hat.

Abbildung 4 zeigt den Verlauf der letzten 10.000 Jahre, wobei ein sprunghafter Anstieg seit dem 18. Jhdt. zu bemerken ist. (ALLEY et al., 2007)

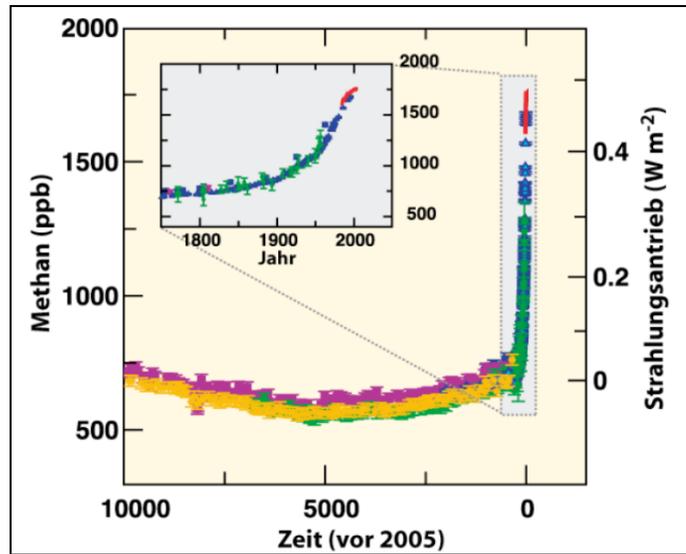


Abb. 4: Atmosphärische Konzentration von Methan (ALLEY et al., 2007)

Laut dem IPCC Sachstandsbericht von 2007 wurde festgestellt, dass sich die globale atmosphärische Lachgas-Konzentration von 270 ppb (0,270 ppm) vor der industriellen Revolution auf 319 ppb (0,319 ppm) im Jahre 2005 erhöht hat. Auch hier ist in Abbildung 5 klar zu erkennen, dass ein sprunghafter Anstieg seit dem 18. Jhdt. zu verzeichnen ist. (ALLEY et al., 2007)

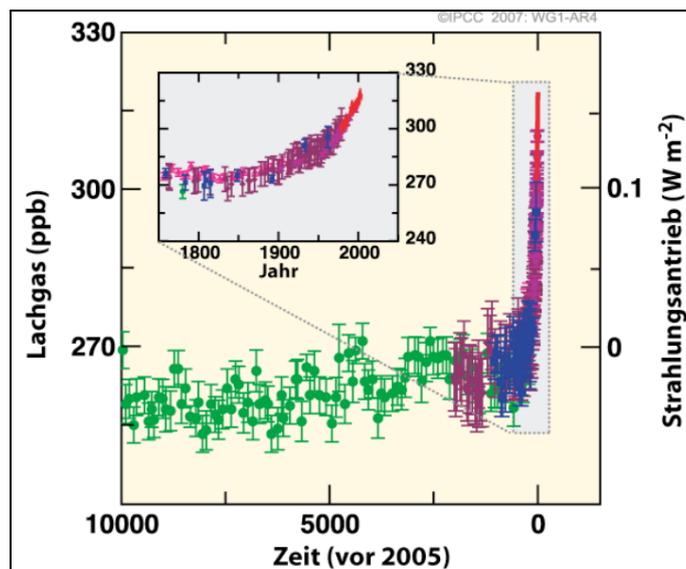


Abb. 5: Atmosphärische Konzentration von Lachgas (ALLEY et al., 2007)

Da Treibhausgase relativ lange in der Atmosphäre verweilen, ist es nicht von Bedeutung, wo diese Gase emittiert werden. Durch die lange Verweildauer haben Treibhausgase somit nicht nur eine lokale, sondern auch globale Wirkung, denn der globale Luftmassenaustausch ist in maximal 2 Jahren abgeschlossen. (BEILKE und UHSE, 2000)

2.4 Klimaentwicklung in den nächsten 100 Jahren

Wie in Kapitel 2.3.2 verdeutlicht wurde, hat der Mensch erheblichen Einfluss auf das Klima. Doch wie wirken sich diese Einflüsse auf die Temperaturentwicklung bis zum Jahr 2100 aus?

Um dieser Frage nachzugehen, erstellte der IPCC die so genannten „Special Report on Emission Scenarios“ (SRES-Emissionsszenarien). Diese SRES-Emissionsszenarien unterscheiden sich darin, dass jeweils verschiedene Annahmen über Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, die Berücksichtigung ökologischer Aspekte, soziale Gerechtigkeit, Technologiefortschritt sowie die internationale Zusammenarbeit getroffen worden sind. (KREIENKAMP et al., 2006) Durch diese Szenarien wird versucht, die zukünftigen anthropogenen Treibhausgasemissionen abzuschätzen, wodurch sich Schlüsse auf die Temperaturentwicklungen ableiten lassen.

Grundsätzlich lassen sich die SRES-Emissionsszenarien in vier Familien einteilen. Diese werden mit A1, A2, B1 und B2 bezeichnet, welche jeweils eine eigene Richtung beim Umweltbewusstsein und beim Wissenstransfer einschlagen. Dies wird in Abbildung 6 verständlich dargestellt. (KREIENKAMP et al., 2006)

Szenario A1 nimmt an, dass die Bevölkerung bis Mitte des 21. Jhdts. stark zunimmt und danach wieder rückläufig ist. Weiters geht man von einem raschen Wirtschaftswachstum und einer raschen Einführung von neuen und effizienten Technologien aus. Es wird eine steigende Globalisierung angenommen, was eine verstärkte globale Interaktion zwischen den Staaten im Kampf gegen den Klimawandel bedeutet. Familie A1 wird in die drei Untergruppen A1FI, A1T und A1B unterteilt. Diese unterscheiden sich in der technologischen Hauptstoßrichtung. So kommen im Szenario A1FI verstärkt fossile Energieträger zum Einsatz, im Szenario

A1T werden großteils nichtfossile Energiequellen verwendet und beim Szenario A1B ist eine ausgewogene Nutzung aller Quellen vorgesehen.

Szenario B1 unterscheidet sich von Szenario A1 durch ein geringeres Wirtschaftswachstum, da eine Änderung von der traditionellen Wirtschaft in Richtung Dienstleistungs- und Informationswirtschaft angenommen wird. Zusätzlich werden ein Rückgang des Materialverbrauchs und die Einführung von ressourcenschonenden Technologien angenommen. Es werden jedoch keine zusätzlichen Klimainitiativen getroffen.

Beim Szenario A2 handelt es sich um eine sehr heterogene Welt. Die Bevölkerung wächst stetig und die wirtschaftliche Entwicklung spielt sich vorwiegend regional ab. Im Vergleich zu anderen Szenarien sind das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und die technologische Veränderung bedeutend langsamer. Das Szenario zeichnet sich durch Autarkie und der Bewahrung lokaler Identitäten aus.

Im Szenario B2 wächst die Bevölkerung stetig, jedoch geringer als bei A2. Wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit werden regional gelöst. Der technologische Fortschritt schreitet weniger rasch voran als bei den anderen Szenarien, dafür ist er aber umso vielfältiger. Im Allgemeinen liegt der Schwerpunkt im lokalen und regionalen Bereich. (ALLEY et al., 2007)

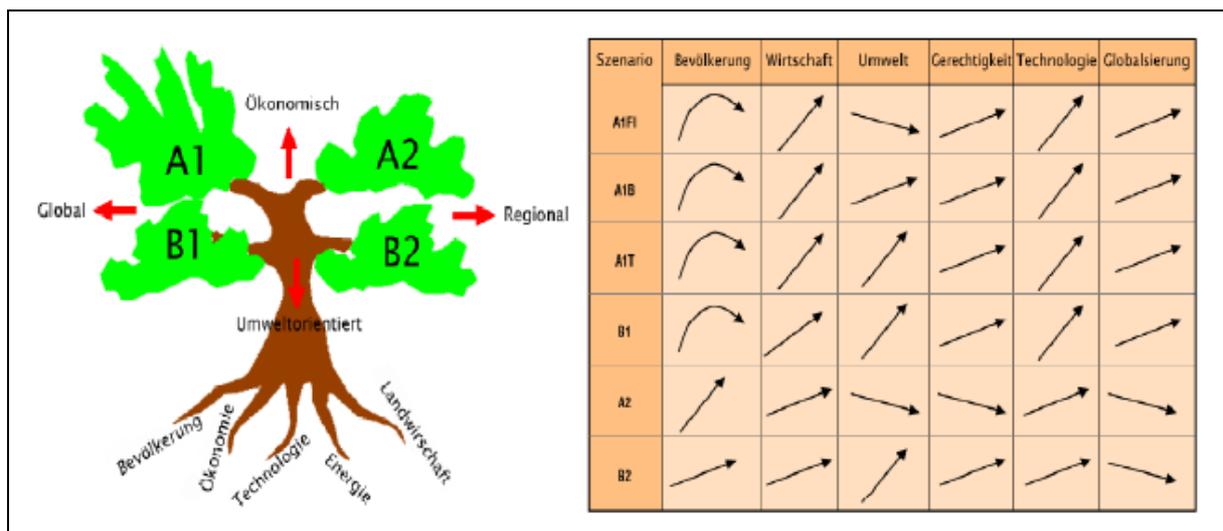


Abb. 6: Zukunftsszenarien (KREIENKAMP et al., 2006)

Um einen Überblick darüber zu bekommen, welche Auswirkungen die einzelnen Szenarien zur Folge haben können, wurden mithilfe von Klimamodellen die möglichen Temperaturanstiege berechnet. In der unten angeführten Abbildung werden die Szenarien gegenübergestellt. Zusätzlich ist der Temperaturverlauf abgebildet, welcher sich ergeben würde, wenn man die Treibhausgas-Konzentration auf dem Niveau des Jahres 2000 eingefroren hätte.

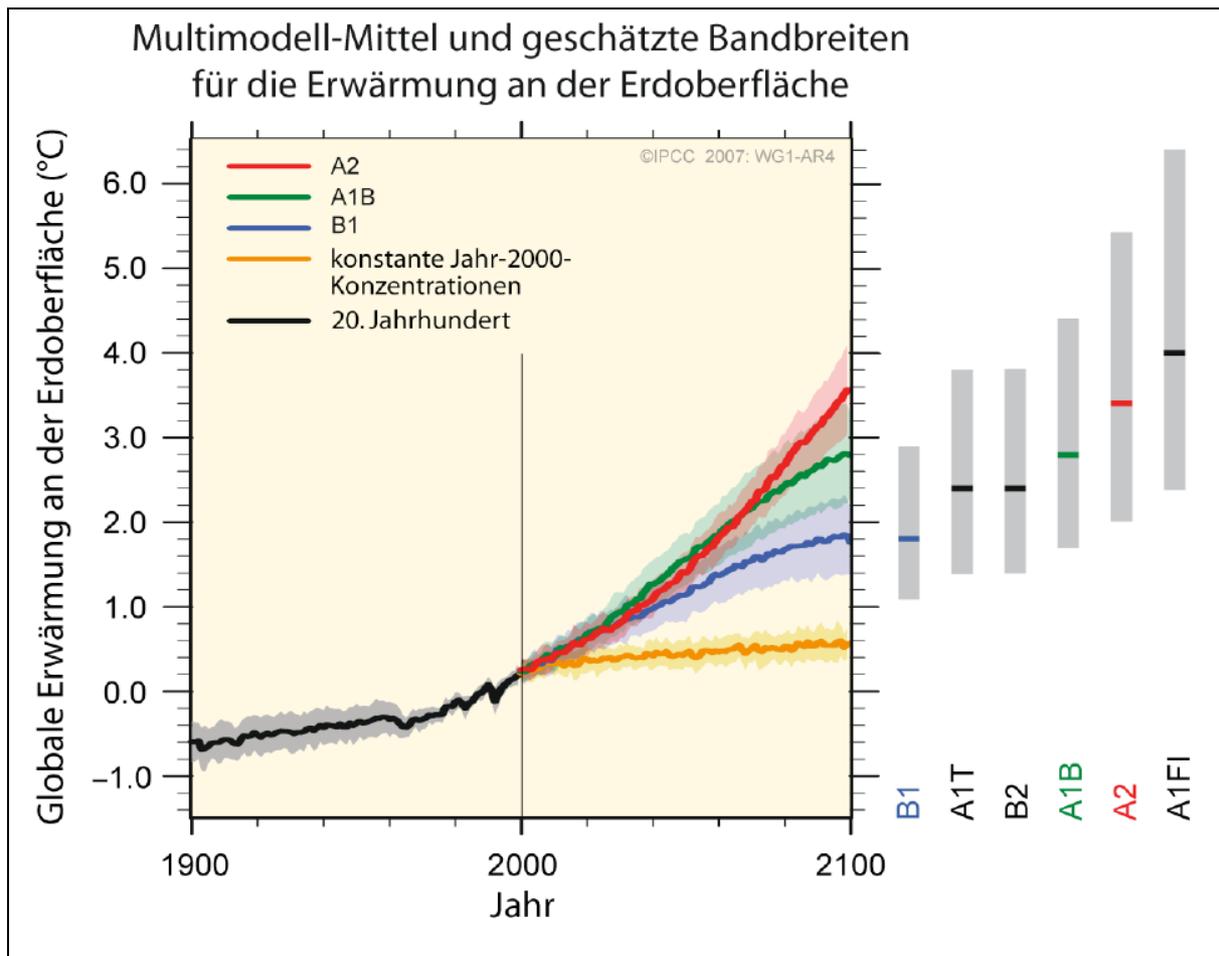


Abb. 7: SRES-Szenarien (ALLEY et al., 2007)

Wie im rechten Teil der Abbildung 7 ersichtlich, reicht die wahrscheinliche Bandbreite des Temperaturanstieges von 1,1 bis 6,4 °C. Die besten Schätzungen rechnen jedoch mit einer Zunahme von 1,8 °C bei Szenario B1, bis 4 °C bei Szenario A1FI. Im IPCC-Sachstandsbericht aus dem Jahre 2007 wird des Weiteren die Bandbreite des Meeresspiegelanstiegs angegeben. Dieser reicht je nach Szenario von 18 cm beim Szenario B1 bis 59 cm beim Szenario A1FI. (ALLEY et al., 2007)

Die globale Klimaänderung kann lokale Ausprägungen haben, welche nicht dem globalen Trend entsprechen. Lokal kann die Ausprägung verstärkt oder abgeschwächt auftreten. Klimamodellergebnisse bestätigen, dass der Alpenraum ein besonders sensibles Gebiet ist. Im Vergleich zum globalen Temperaturanstieg dürfte die lokale Erwärmung durch den anthropogenen Einfluss um den Faktor 1,5 bis 2 höher sein. So ist ein deutlicher Temperaturanstieg seit Mitte des 19. Jhdts. zu erkennen. Der Anstieg beträgt im Alpenraum 1,8 °C und ist im Vergleich zum globalen Mittel doppelt so hoch. Es wird davon ausgegangen, dass die Erwärmung in diesen Gebieten 4 bis 5 °C innerhalb der nächsten 80 Jahre betragen wird. (KROMP-KOLB und FORMAYER, 2005)

Ein weiterer Grund für die stärkere Erwärmung des alpinen Raumes ist das Abschmelzen der Schneemassen. Schnee reflektiert rund 90 % der eingestrahnten Energie. Dadurch kann sich die darunter liegende Erde erst dann erwärmen und Energie aufnehmen, wenn der Schnee geschmolzen ist. Dies wird auch als Schnee-Albedo-Rückkoppelung bezeichnet. Die Folge einer globalen Erwärmung ist eine Reduzierung der schneebedeckten Flächen. Dadurch wird mehr Sonnenenergie absorbiert und in Wärme umgewandelt. Im Alpenraum könnte es durch die Schnee-Albedo-Rückkoppelung zumindest im Winter und Frühjahr zu einem zusätzlichen Temperaturanstieg in mittlerer Seehöhe kommen. Auch für Gletscher stellt der Klimawandel eine Bedrohung dar. Durch das Zurückziehen der Gletscher entstehen Gletscherseen. Diese können instabil werden und eine Gefahr für die Menschen in den darunter liegenden Tälern darstellen. Auch die so genannte Gletscherspende, welche die Flüsse mit Wasser versorgt, könnte zurückgehen, was enorme Auswirkungen auf manche Flüsse hätte. (KROMP-KOLB und FORMAYER, 2005)

Es zeigt sich, dass der Klimawandel massive Auswirkungen für Menschen, Tiere und Umwelt hat. Um diese negativen Auswirkungen des anthropogenen Klimawandels zumindest abschwächen zu können, ist es nötig, rasche effektive Maßnahmen zu setzen. Fakt ist, dass nur das IPCC-Szenario mit einer stark eingeschränkten Nutzung fossiler Energieträger zu einer spürbaren Verringerung des Temperaturanstiegs führen kann.

Man sollte also von der umweltschädlichen fossilen Energieerzeugung in ein Konzept wechseln, welches auf eine zukunftsgerichtete, nachhaltige Energieversorgung abgestimmt ist. Genau hier sind die erneuerbaren Energieformen von großer Bedeutung und werden aus diesem Grund im folgenden Kapitel näher behandelt.

3. Erneuerbare Energien

3.1 Allgemein

Neben den Bemühungen, den CO₂-Ausstoß aufgrund der Klimaänderung zu verringern, gibt es noch weitere Treiber für die Entwicklung von erneuerbaren Energien. Durch den ungebremst steigenden Energiehunger der Welt werden auch die Preise für Öl, Gas und Kohle immer weiter steigen. Dies wird durch den Umstand verstärkt, dass weniger Erdöl gefunden als verbraucht wird. So werden für 3 verbrauchte Barrel Öl nur eines durch Neufunde ersetzt. Ein weiterer Punkt für die Forcierung von erneuerbaren Energien ist der Wille zur Loslösung von der Abhängigkeit öl- und gasfördernder Länder. Der Grund dafür ist, dass sich ein Großteil der Ölreserven in verletzlichen geopolitischen Lagen befindet. (VAHRENHOLT, 2006)

Im Zeitraum von 1995 bis 2004 hat die weltweite Primärenergiebereitstellung von erneuerbaren Energien um 15 % auf rund 60.600 PJ zugenommen. Ein Grund für diesen Anstieg dürften unter anderem verschiedene Klimaschutzziele bzw. Abkommen wie das Kyoto-Protokoll sein. Trotz dieses Anstieges darf nicht außer Acht gelassen werden, dass in diesem Zeitraum auch der weltweite Primärenergieverbrauch um 15,9 % auf 462.600 PJ stark angestiegen ist. Da der weltweite Primärenergieverbrauch stärker als der Einsatz von erneuerbaren Energien zugenommen hat, verringerte sich der relative Anteil von erneuerbaren Energien um 0,7 %. Ein großer Teil dieser Zunahme des Primärenergieverbrauches ist auf die Entwicklungsländer mit hohem Wirtschaftswachstum zurückzuführen. Doch alleine die Entwicklungsländer dafür verantwortlich zu machen, wäre zu einfach. Selbst Länder, welche einen großen wirtschaftlichen und technologischen Vorsprung haben, verbrauchen immer mehr Energie. Die unten angefügte Abbildung gibt einen Überblick, mit welchen Energieträgern der Primärenergieverbrauch im Jahre 2004 abgedeckt wurde. (STAISS et al., 2007)

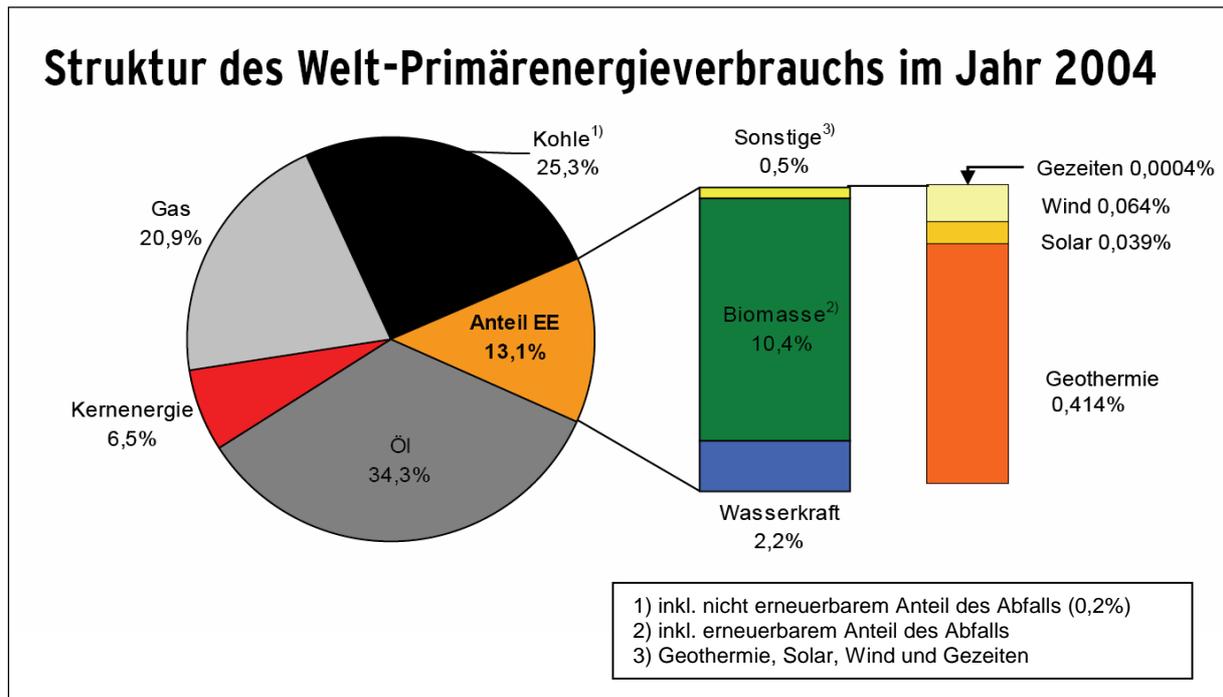


Abb. 8: Struktur des Weltenergieverbrauchs im Jahr 2004 (STAISS et al., 2007)

Aus Abbildung 8 ist ersichtlich, dass rund 87 % des Welt-Primärenergieverbrauches aus nicht erneuerbaren Energien abgedeckt werden. Bei den erneuerbaren Energieträgern nimmt Biomasse eine übergeordnete Rolle ein, obwohl bei Solarenergie das größte Potential vorhanden wäre. Auf das Potential der erneuerbaren Energieträger wird in Kapitel 3.8 näher eingegangen.

Bei der Überlegung, ob fossile oder erneuerbare Energieträger zum Einsatz kommen sollen, gibt es viele Faktoren (siehe Abbildung 9) die beim Entscheidungsprozess berücksichtigt werden. Von der Betrachtungsweise des Umweltschutzes ist es naheliegend, dass den erneuerbaren Energieträgern der Vorzug gegeben werden müsste. Dennoch gibt es wirtschaftliche Aspekte, die den Durchbruch von erneuerbaren Energien verzögern.

	FOSSILE ENERGIETRÄGER	ERNEUERBARE ENERGIETRÄGER
Klimawirkung:	Starke Beeinträchtigung des Klimas durch Emissionen	Klimaneutral
Umweltschutz:	Hohe Beeinträchtigung in allen Phasen der Ausbeute, des Transportes, der Lagerung und der Nutzung	Keine objektiven, direkten Beeinträchtigungen
Ressourcenschutz:	Verbrauch wertvoller Ressourcen	Kein Verbrauch von Ressourcen
Sicherheit:	Transport und Lagerung stellen grundsätzlich ein großes Sicherheitsrisiko dar	Eingeschränktes Sicherheitsrisiko bei großtechnischen Anlagen (z.B. Wasserkraft, Biogas)
Verfügbarkeit:	Endlich, abhängig von Erschließungskosten	Unendlich, abhängig von der Nutzungstechnik
Versorgungssicherheit:	Abhängigkeit von wenigen Großlieferanten (insb. Erdöl, Erdgas)	Abhängig von klimatischen Verhältnissen (Regen, Wind, Sonneneinstrahlung, Vegetation)
Technik:	Geringes Innovationspotential	Hohes Innovationspotential
Logistik:	Hohe Versorgungslogistik	Niedrige Versorgungslogistik
Investitionskosten (Technik):	Niedrig	Hoch
Varibale Kosten (Energieträger):	Hoch	Niedrig

Abb. 9: Vergleich fossiler und regenerativer Energieträger (LAUER, 2002)

Da die Verknappung von fossilen Energieträgern eine Tatsache ist und die Preise langfristig ansteigen werden, ist es nur eine Frage der Zeit, bis erneuerbare Energieträger konkurrenzfähig sind. Dies kann aber noch etwas dauern. Laut J. Taylor vom Cato-Institut hält das Ölzeitalter, was den derzeitigen Ressourcenbestand betrifft, noch einige Zeit an:

„Die nachgewiesenen Ölreserven sind heute 15mal größer als 1948, und werden noch 230 Jahre reichen. Danach werden Ölschiefer und Teersande nochmals für 580 Jahre Energie liefern...“ (RECHSTEINER, 2003)

Würde man externe Kosten wie beispielsweise Kosten für Waldsterben, Gesundheitsschäden oder Klimaveränderung berücksichtigen, wären einige erneuerbare Energieträger bereits heute konkurrenzfähig. Auf die externen Kosten wird in Kapitel 3.8.3 näher eingegangen.

Grundsätzlich kann gesagt werden, dass die Preiserhöhungen der fossilen Energieträger zu mehr Energieeffizienz und zu einem verstärkten Einsatz von erneuerbaren Energien führen wird. Besonders in jenen Ländern, in welchen bereits gute Rahmenbedingungen vorherrschen, wird sich der Boom verstärken. Jedoch gibt es auch Anzeichen dafür, dass Länder wie die USA der Nachhaltigkeit keine Priorität einräumen. Vielmehr kommt es infolge der Verknappung der Ressourcen zu einer Öffnung von Naturreservaten, um auch diese kommerziell nutzen zu können. (RECHSTEINER, 2003)

3.2 Wasserkraft

3.2.1 Beschreibung

Die Wasserkraft hat eine sehr lange Geschichte und reicht bis in das Jahr 3500 vor unserer Zeit zurück. Bereits in Mesopotamien wurde sie in Schöpfwerken zur Bewässerung genutzt. Auch die Römer benutzten Wasserräder zum Betrieb von Getreidemühlen. In weiterer Folge fand die Wasserkraft für Säge- und Hammerwerke ihre Anwendung. Im 19. Jhdt. begann man die Wasserkraft für die Gewinnung von Elektrizität zu nutzen. (WIGAND und OUD, 2002)

Rund 3/4 der Erdoberfläche ist mit Wasser bedeckt. Die Energie der Sonne bewegt einen Wasserkreislauf, welcher die gesamte Erde umfasst. So wird Wasser aus Flüssen, Seen und Meeren verdunstet, wodurch Wolken entstehen. Durch Niederschläge gelangt dieses Wasser zurück zur Erdoberfläche, wo es sich wieder in Flüssen, Seen und Meeren sammelt und erneut verdunstet. Auf diese Art und Weise werden jährlich in etwa 577.000 km³ Wasser bewegt. Dazu ein verdeutlichendes Beispiel: Ein Gefäß mit einer km² Grundfläche müsste bis zum Mond und noch einmal die halbe Strecke darüber hinaus reichen, um diese gigantische Wassermenge fassen zu können. Durch den Abfluss des Wassers zum Meer kann die freigesetzte Energie, welche durch den Höhenunterschied entsteht, genutzt werden. Mit den Kriterien Stau- bzw. Fallhöhe wird zwischen Nieder- (bis 15 m Fallhöhe), Mittel- (bis 100 m Fallhöhe) und Hochdruckkraftwerken (bis 1.500 m Fallhöhe) unterschieden. (LEHMANN und REETZ, 1995) Weiters kann zwischen Laufwasser-, Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken unterschieden werden.

Bei den Laufwasserkraftwerken wird das Wasser durch Wehren gestaut und so genutzt, wie es das natürliche Abflussgeschehen ermöglicht. Bei Speicherkraftwerken verwendet man Wasserreservoirs, um den ungleichmäßigen Energieverbrauch (je nach Jahres- bzw. Tageszeit) auszugleichen. (WIGAND und OUD, 2002) Diese kommen vor allem als Talsperrenkraftwerke zum Einsatz und nutzen den natürlichen Wasserzufluss. Anders verhält es sich bei Pumpspeicherkraftwerken. Hier wird überschüssige Energie dazu verwendet, um Wasser in höher gelegene Speicherbecken zu pumpen. (LEHMANN und REETZ, 1995) Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke haben daher gegenüber der Wind- und Solarenergie aber auch gegenüber von Laufkraftwerken den großen Vorteil, dass die Energie zeitlich flexibel produziert werden kann.

Beim Bau einer Wasserkraftanlage gilt es auf eine Vielzahl von Wechselwirkungen zu achten. So können ober- und unterhalb gelegene Wasserkraftwerke, bi- oder multinationale Projekte sowie die Umweltverträglichkeit des Bauprojekts einen Einfluss auf die Standortwahl haben. Von der Weltbank und der World Conservation Union wurde die World Commission on Dams gegründet. Diese Kommission setzt sich aus VertreterInnen von Regierungen, Nichtregierungsorganisationen, der Industrie und der Wissenschaft zusammen. Ziel dieser Kommission ist es darauf zu achten, dass die negativen Einflüsse auf die Umwelt und den betroffenen Menschen möglichst gering bleiben. Im Jahr 2000 erstellte die Kommission einen Abschlussbericht, indem sie Empfehlungen für Planung, Bau und Betrieb großer Talsperren abgab. Nach diesem Bericht soll auf folgende Kriterien besonders geachtet werden:

- Akzeptanz des Projekts in der Bevölkerung
- Umfangreiche Bewertung der Optionen zum Projekt
- Miteinbeziehung bestehender Dämme
- Erhaltung von Flüssen und Lebensräumen
- Festlegung von Ansprüchen und Beteiligung der Betroffenen am Nutzen des Projektes
- Gemeinsame Nutzung internationaler Flüsse (WIGAND und OUD, 2002)

3.2.2 Ökonomische Betrachtung

Wasserkraftwerke zeichnen sich durch hohe Investitionskosten aus. Diese variieren je nach Standort, Typ und Größe der Anlage zwischen 4.100 und 12.800 €/kWh installierter Leistung. Tendenziell kann gesagt werden, dass kleinere Kraftwerke höhere Investitionskosten je kWh verursachen. (KALTSCHMITT et al., 2003) Durch die lange Zeit von der Planung bis zur Durchführung fallen hohe Vorinvestitionskosten an. Allein die Bauzeit liegt zwischen 3 und 6 Jahren. Im Gegensatz zu den Investitionskosten sind die Betriebskosten relativ gering. Diese können mit 1,5 bis 2 % der Investitionskosten beziffert werden. Wie bei den Investitionskosten sind auch die Betriebskosten bei kleinen Anlagen in der Regel höher als bei größeren Anlagen. Wasserkraftwerke haben wegen ihrer hohen Investitionskosten eine lange Amortisationszeit. Diese hohen Kosten rechnen sich jedoch langfristig gesehen aufgrund der langen Nutzungsdauer und der geringen Betriebskosten. So beträgt die Nutzungsdauer von Wasserkraftwerken 50 bis 100 Jahre und für die technischen Einrichtungen liegt sie bei 25 bis 30 Jahren. (WIGAND und OUD, 2002)

3.2.3 Umwelteffekte

Bei Wasserkraftanlagen fällt der größte Teil der Schadstoffemissionen (etwa 87 %) durch den Bau der Anlagen an, da hier der größte Materialeinsatz gegeben ist. Wie bei den Kosten kann auch hier grundsätzlich gesagt werden, dass mit steigender Größe der Anlage der Material- und Energieeinsatz je kW installierter Leistung sinkt und somit die Schadstoffemissionen reduziert werden. Der geringere Teil der Schadstoffemissionen (etwa 13 %) wird durch den Betrieb (z.B. Wartung und Instandhaltung, Entsorgung von Rechengut), Abriss und durch die Entsorgung der Kraftwerkskomponenten verursacht. Neben den hier angeführten Schadstoffemissionen ist noch zu erwähnen, dass durch den Bau eine Gewässerverschmutzung durch das Wegspülen von Materialien, Verschmutzung durch Erdarbeiten, unsachgemäße Reinigung von Baumaschinen und Ölverluste stattfinden kann. Beim Betrieb der Anlage ist darauf zu achten, dass biologisch abbaubare Schmierstoffe verwendet werden, um die Wasserqualität nicht zu gefährden. (KALTSCHMITT et al., 2003)

Durch die Errichtung von Staudämmen ist es möglich, eine Reihe von zusätzlichen Nutzungsmöglichkeiten zu schaffen. Dazu zählen: die Nutzung für Wassersport, Fischerei, Bewässerung, Hochwasserschutz sowie als Trinkwasserspeicher. Diese können auch positive Umwelteffekte bewirken. So kann der Grundwasserspiegel stromaufwärts positiv beeinflusst werden, ein neuer Lebensraum für Wassertiere entstehen und durch den Turbinenbetrieb Sauerstoff in das Wasser eingebracht werden. Des Weiteren wird durch Rechenanlagen Schwemmgut aus den Gewässern entfernt. (KALTSCHMITT et al., 2003)

Neben den positiven gibt es auch eine Reihe von negativen Umwelteffekten, die berücksichtigt werden müssen. So ändern sich die Lebensbedingungen für die Tier- und Pflanzenwelt. Gründe dafür sind vor allem die langsameren Fließgeschwindigkeiten und die Staumauer, welche ein unüberbrückbares Hindernis darstellt. Bei der Planung und beim Betrieb ist deshalb darauf zu achten, dass ein möglichst naturnaher Betrieb gewährleistet wird. So sollen Fischtreppen bzw. Umgehungsgerinne eingeplant werden, um den Wanderfischen eine Überquerung dieser Barriere zu ermöglichen. Um eine Verlandung des Speicherbeckens zu verhindern, werden durch das Öffnen von tiefer liegenden Schleusen Stauraumspülungen durchgeführt. Dabei ist es wichtig, den geeigneten Zeitpunkt zu wählen, damit es nicht zu einer starken Beeinträchtigung des Unterlaufes kommt. Durch das Aufstauen wird auch „grobkörniges Geschiebe“ zurückgehalten. Dadurch ist es möglich, dass unterhalb der Wehranlage eine Soleerosion stattfindet und somit der Grundwasserspiegel sinkt. Dies kann z.B. zur Veränderung der Auenvegetation oder sogar zur Trockenlegung von Auenlandschaften führen. (KALTSCHMITT et al., 2003)

3.3 Biomasse

3.3.1 Beschreibung

Unter Biomasse versteht man die Gesamtmenge aller organischen Materie, welche durch Photosynthese erzeugt wurde. Somit wären auch Kohle, Erdöl und Erdgas in ihrer ursprünglichsten Form der Biomasse zuzurechnen. Dieses Kapitel widmet sich jedoch der erneuerbaren Biomasse. Bei der erneuerbaren Biomasse liegt der Kohlenstoffkreislauf in einem überschaubaren Zeitrahmen. Fossile Brennstoffe haben jedoch einen Kohlenstoffkreislauf von mehreren Millionen Jahren, weshalb sie auch nicht als erneuerbar einzustufen sind. (PONTENAGEL et al, 1995)

Die Nutzung von Biomasse durch den Menschen begann mit der Entdeckung des Feuers. Sie ist also die traditionellste Methode Energie zu gewinnen. Grundsätzlich kann man mithilfe von Biomasse sowohl Wärme als auch Strom produzieren. Heute beträgt der weltweite Anteil von Biomasse an erneuerbarer Energie rund 80 %. Vor allem in der Dritten Welt wird Biomasse sehr intensiv genutzt, doch diese Nutzung hat auch ihre Schattenseiten. So führt die Verbrennung von Biomasse an offenen Feuern durch die Rußentwicklung häufig zu Gesundheitsproblemen. Des Weiteren führt der verstärkte Einsatz von Biomasse zu massiven Problemen der Umwelt, da oft ganze Landstriche abgeholzt werden. So passiert in Uganda, wo heutzutage nur noch rund 3 % des ursprünglichen Waldbestandes stehen. (MORRIS, 2005)

Wenn man Biomasse als erneuerbare Energie versteht, geht man davon aus, dass die Gewinnung dieser Energiequelle nachhaltig und umweltfreundlich geschieht. Ein entscheidender Vorteil der Biomasse liegt darin, dass sie gespeichert werden kann und dadurch jederzeit abrufbar ist. Biomasseanlagen eignen sich auch für eine Kombination mit anderen erneuerbaren Energiequellen. Dadurch wird es beispielsweise möglich, zu windstillen oder sonnenarmen Zeiten Energie zu produzieren. (MORRIS, 2005)

Biomasseverfahren haben den Vorteil, dass für die Biomasseproduktion eine vergleichsweise große Vielfalt von Verfahrensvarianten zur Verfügung steht und das Spektrum der Energieträger (feste, flüssige und gasförmige Bioenergieträger) sowie die möglichen Aufbereitungsformen sehr groß sind. Der Energiegehalt der Biomasse kann durch Verbrennung, Vergärung, Vergasung oder Pyrolyse freigesetzt werden. Öl-, zucker- oder stärkehaltige Pflanzen können als Rohstoffe zur Öl- oder Alkoholerzeugung verwendet, sowie direkt als Energieträger genutzt werden. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die wichtigsten biogenen Energieträger. (HARTMANN und STREHLER, 1995)

ROHSTOFF-GRUPPE	QUELLE/ROHSTOFF	HAUPTSÄCHLICHE NUTZUNGSFORM		NEBENPRODUKTE
		Brennstoffart	Aufbereitung	
Energie-Pflanzen	<i>Einjahreskulturen:</i>			
	Triticale	Festbrennstoff	Häckselgut, Ballen, Briketts, Pellets	-
	Roggen	Festbrennstoff		-
	Weizen	Festbrennstoff		-
	Gerste	Festbrennstoff		-
	Zuckerrüben	Kraftstoff	Ethanol	Schnitzel
	Zuckerhirse	Kraftstoff		Bagasse
	Raps	Kraftstoff	Öl, Methylester, Mischungen	Stroh, Rapskuchen, Extraktionsschrot, Glycerin
	<i>Mehrjahreskulturen:</i>			
	Pappeln	Festbrennstoff	Hackschnitzel	-
	Weiden	Festbrennstoff	Hackschnitzel	-
	Miscanthus	Festbrennstoff	Häckselgut, Ballen, Briketts, Pellets	-
Naturschutz-aufwuchs	Landschaftspflege-Wiesen	Festbrennstoff, Biogas	Häckselgut, Ballen, Briketts, Pellets	-
Reststoffe	Wald- und Landschaftspflege-restholz	Festbrennstoff	Hackschnitzel, Scheitholz	-
	Rinde	Festbrennstoff	Schüttgut	-
	Grünschnittreststoffe	Festbrennstoff	Häckselgut, Ballen, Briketts, Pellets	-
	Stroh	Festbrennstoff		-
	Tierische Reststoffe (Gülle, etc.)	Biogas	Entschwefelung, Trocknung	-

Abb. 10: Systematik der biogenen Brennstoffe (HARTMANN und STREHLER, 1995)

Ein weiterer Vorteil gegenüber anderen erneuerbaren Energien liegt in der Stärkung der regionalen Strukturen. Um eine Biomasseanlage wirtschaftlich und ökologisch zu betreiben, wird die benötigte Biomasse aus den umliegenden Gebieten bezogen. Auf diesem Weg bleibt die Wertschöpfung in der Region und die Beschäftigung erhält neue Impulse. Zusätzlich wird durch eine nachhaltige Bewirtschaftung des Waldes dessen Schutzfunktion sichergestellt. Problematisch ist jedoch die relativ geringe Energiedichte der Brennstoffe, besonders der halmgutartigen Brennstoffe (z.B. Getreidestroh). Für einen breiteren Biomasseeinsatz ist daher die Nutzung und Weiterentwicklung von Techniken zur Erhöhung der Energiekonzentration eine zwingende Voraussetzung, sofern nicht flüssige Biomasseenergieträger mit hoher Energiedichte (z.B. Pflanzenöl, Methanol, Ethanol) verwendet werden. Für Zwecke der Verdichtung und Reduktion des Transportaufkommens wurde eine breite Palette von Aufbereitungstechniken entwickelt. Beispielsweise benötigen Pellets nur 1/8 des Platzbedarfes von gehäckseltem Stroh. (HARTMANN und STREHLER, 1995)

Wenn es möglich wäre, 20 % der Biomasse aus den Waldflächen energetisch zu nutzen, so würde man daraus rund 120.000 PJ gewinnen können. Dies würde rund 30 % des Welt-Primärenergieverbrauchs 2004 entsprechen oder 17 % des geschätzten Welt-Primärenergieverbrauchs im Jahr 2100 (700.000 PJ). (WOKAUN, 1999)

3.3.2 Ökonomische Betrachtung

Bei den festen Bioenergieträgern wird Holz als Hauptenergiequelle verwendet und großteils zur Wärmeerzeugung genutzt. Diese Art der Nutzung wird auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Neben der Wärmergewinnung werden feste Bioenergieträger immer öfter zur Stromerzeugung verwendet. Dies kann durch Verbrennung oder Vergasung erfolgen, wobei sich die Holzvergasung noch in einem Stadium befindet, indem die genauen Kosten nicht abgeschätzt werden können. Bei der Stromerzeugung durch Holzkraftwerke kann gesagt werden, dass größere Anlagen geringere Kosten je kWh verursachen. Durch die Nutzung der Abwärme können zusätzliche Einnahmen lukriert werden. Bei größeren Anlagen kann sich die Wärmeabnahme schwierig gestalten, da oftmals nicht genügend Nachfrage vorhanden ist. Größere Kraftwerke benötigen mehr Brennstoff und dies bewirkt einen höheren Transportaufwand. Ein wichtiger Kostenfaktor sind die Brennstoffkosten.

Bei diesen ist durch die steigende Nachfrage mit einer Erhöhung der Preise zu rechnen, wodurch die Energiegestehungskosten steigen werden. (HIRSCHL et al, 2002)

Flüssige Bioenergieträger kommen hauptsächlich als Treibstoffe zum Einsatz, da dadurch höhere Erlöse erzielt werden können. Auf diese wird in Kapitel 4 näher eingegangen. Eine Verwendung zur Stromerzeugung wäre ohne größere technische Probleme möglich. (HIRSCHL et al, 2002) Wie in Kapitel 3.3.1 erwähnt, steht Biomasse in direkter Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Dies betrifft vor allem die Erzeugung von flüssigen Bioenergieträgern, da deren Rohstoffe nur auf landwirtschaftlich genutzten Flächen angebaut werden können. Durch diese Konkurrenzsituation ist in Zukunft mit steigenden Rohstoffkosten zu rechnen.

Bei der Erzeugung von gasförmigen Bioenergieträgern sinken die Investitionskosten je kWh installierter Leistung mit der Größe der Anlage. Diese liegen in einem Bereich von 3.700 €/kWh (>250kW Anlage) bis 5.100 €/kWh (<50kW Anlage). In diesem Betrag ist auch das Wärmenetz enthalten welches notwendig ist, um die Abwärme nützen zu können. Zur Biogaserzeugung wird hauptsächlich Gülle verwendet, für die keine Kosten angesetzt werden. In letzter Zeit etablieren sich aber immer mehr so genannte Kofermentationsanlagen, bei denen neben Gülle auch nachwachsende Rohstoffe und Bioabfälle verwendet werden können. Im Gegensatz zur Gülle fallen für nachwachsende Rohstoffe Kosten an. Ganz anders sieht es bei Bioabfällen aus, denn hier können aufgrund der Entsorgungabgaben zusätzlich Einnahmen erwirtschaftet werden. In Summe gesehen ist die Stromerzeugung durch Biogas trotz Zuschüssen meist nicht kostendeckend. (HIRSCHL et al., 2002)

3.3.3 Umwelteffekte

Wie schon erwähnt, hat Biomasse einen Kohlenstoffkreislauf, welcher in einem überschaubaren Zeitrahmen liegt. Deswegen wird Biomasse unter Voraussetzung von nachhaltiger Nutzung als sehr umweltfreundlich eingestuft. Man sollte also von den Zinsen und nicht vom Kapital des Waldes leben. Nutzt man jedoch den Wald zu intensiv und lebt somit vom Kapital, so kann sich dieser nicht mehr regenerieren, wodurch die Waldfläche abnimmt. Dadurch kann es zur Gefährdung des ökologischen Gleichgewichts kommen und somit zur Verwüstung führen.

Es darf nicht außer Acht gelassen werden, dass auch bei Biomassenutzung zusätzlich fossile Energieinputs nötig sind. So werden beispielsweise bei der energetischen Holznutzung fossile Rohstoffe für Holzschlägerung, Bringung, Verarbeitung und Transport benötigt. In diesem Fall beträgt der Anteil von fossilen Energieträgern allerdings nur wenige Prozente der gewonnenen Endenergie. Ganz anders sieht es bei der Biotreibstoffherzeugung aus. Hier ist vor allem durch Düngung, Pflanzenschutz, Transport und Aufbereitung ein hoher prozentueller fossiler Energieinput notwendig. In solchen Prozessen stellt sich die Frage, ob noch ein positiver „Energy Return on Investment“ (EROI) erzielbar ist. Ein positiver EROI sagt aus, dass die gesellschaftlichen Energieinputs im jeweiligen Prozess nicht höher sind als der gesellschaftliche Ertrag. (HABERL et al., 2001)

3.4 Abfall

3.4.1 Beschreibung

Abfall wird aufgrund des hohen biogenen Anteils der Biomasse zugerechnet und als erneuerbar bezeichnet. Dies trifft aber nur für den Teil des Abfalls zu, der nicht aus fossil biogenem oder fossil mineralischem Ursprung stammt. Da mit dem raschen Bevölkerungswachstum die Güterproduktion angekurbelt wird, steigt gleichzeitig das Abfallaufkommen an. (KALTSCHMITT et al., 2003) Umso wichtiger ist es, in der modernen Konsumgesellschaft diese hohe Vielfalt an Materialien und Wirkstoffen umweltgerecht zu entsorgen. Durch die Förderung der getrennten Abfallsammlung wurde die Restabfallmenge reduziert. Dies geschieht allerdings nicht in dem Ausmaß, in dem die Bevölkerung und somit auch der Abfall zunimmt – der Restabfall wird tendenziell mehr. (NEUBACHER und HIMMEL; 1999) Anhand dieser Entwicklung scheint eine Energiegewinnung aus Abfall eine interessante „Entsorgungsmöglichkeit“ zu sein. Laut NEUBACHER und HIMMEL (1999) entspricht 1 t Restabfall 385 kg Heizöl bzw. 293 m³ Erdgas. Früher wurde sämtlicher Abfall unbehandelt deponiert. Heute geht der Trend in die Richtung, dass der Abfall vor seiner Deponierung behandelt wird. Somit wird auch der biogene Anteil stark reduziert, welcher für das klimawirksame Deponiegas verantwortlich ist. In Österreich ist aufgrund der Deponieverordnung seit 1.1.2004 zwingend vorgeschrieben, dass der Abfall einen Gesamtkohlenstoffgehalt von 5 % nicht übersteigen darf und somit

vorbehandelt werden muss. Dies kann durch biologische (Vergasung) oder thermische Verfahren (Verbrennung) stattfinden. (WÜRDINGER et al., 1998)

Beim biologischen Verfahren werden biogene Abfälle mithilfe von Bakterien unter anaeroben Bedingungen, also unter Luftabschluss, abgebaut. Auf diese Weise entsteht Biogas, welches aus rund zwei Dritteln Methan und einem Drittel CO₂ besteht. Durch die thermische Verwertung kann Biogas zur Erzeugung von Strom und Wärme genutzt werden. Während bei der thermischen Behandlung ein niedriger Wassergehalt optimal ist, verhält es sich beim biologischen Verfahren gegenteilig. Bei diesem eignen sich besonders hochorganische, flüssige Abfälle, welche die Vergärung begünstigen. Die Reststoffe, welche nach der Vergasung übrig sind, können nach einer Trocknung der thermischen Behandlung zugeführt werden. (WÜRDINGER et al., 1998)

Die zweite Art der Abfallbehandlung ist die thermische Behandlung von Abfällen. Hier wird einerseits die Abfallbehandlung durchgeführt und andererseits kann die entstehende Wärme verwendet werden. Die Abfallbehandlung hat zum Ziel, dass die deponierte Masse verringert, Schadstoffe zerstört und der Deponiegasanfall unterbunden werden. Durch die Wärme ist es möglich, Strom zu erzeugen und die Versorgung mit Fernwärme zu ermöglichen. (NEUBACHER und HIMMEL, 1999) Grob gesagt besteht der Restabfall zu je einem Drittel aus Wasser, aus mineralischen und metallischen Stoffen und aus brennbaren organischen Stoffen. Durch den hohen Wassergehalt liegt die Überlegung nahe, ob Restabfall vor der Verbrennung einer mechanisch-biologischen Behandlung unterzogen werden sollte. Bei diesem Verfahren wird eine Aufteilung in eine heizwertreiche und eine heizwertarme Fraktion vorgenommen. Die heizwertarme Fraktion besteht zum Großteil aus der feuchten Biomasse. Sie kann einer Vergärung unterzogen werden, wodurch Biogas gewonnen wird. Nach diesem Vorgang scheint es sinnvoll zu sein, die verbleibenden Reststoffe mit der heizwertreichen Fraktion zu verbrennen, um die Schadstoffbelastung in den Deponien möglichst gering zu halten. (WÜRDINGER et al., 1998)

Wenn Abfall vor seiner Deponierung keiner Vorbehandlung unterzogen wurde und somit noch einen relativ hohen organischen Anteil besitzt, entsteht unter anaeroben Bedingungen Deponiegas. Dieses Gas kann ebenfalls für die Energieerzeugung genutzt werden. Der Nachteil dieser Energiegewinnung liegt darin, dass dieses Verfahren sehr aufwändig und langwierig ist. Des Weiteren kann lediglich rund 50 % des emittierten Gases genutzt werden. Der Rest wird klimawirksam in die Atmosphäre freigesetzt. Im Vergleich zur Vergärung rein biogener Abfälle ist beim Deponiegas ein viel höherer Gehalt an leichtflüchtigen, toxisch-organischen Komponenten vorhanden. (WÜRDINGER et al., 1998)

3.4.2 Ökonomische Betrachtung

Früher wurde die Abfallbehandlung unabhängig von wirtschaftlichen Prozessen durchgeführt. Mithilfe von Stoff- bzw. Ressourcenmanagement ist man von der reinen Abfallbeseitigung zur Ressourcengewinnung aus Abfall übergegangen. Gründe dafür sind beispielsweise Einsparungen bei den Deponiekosten und eine Verringerung der Umweltgefährdung. Des Weiteren wird es aufgrund steigender Rohstoffpreise immer interessanter, Wertstoffe aus Abfall rückzugewinnen. (BILITEWSKI et al., 2005)

Bei der Erzeugung von elektrischer Energie kann der Wärmeverlust bis zu 55 % betragen. Durch diesen hohen Wert ist es sinnvoll, diese Wärme nicht ungenutzt in die Atmosphäre abzugeben, sondern ebenfalls zu verwerten. Dies kann durch die Einspeisung in ein Fernwärmenetz erfolgen. Durch diese zusätzliche Energiegewinnung kann die Wirtschaftlichkeit wesentlich erhöht werden. Voraussetzung dafür sind private bzw. industrielle AbnehmerInnen, welche einen dementsprechenden Wärmebedarf haben. (WÜRDINGER et al., 1998)

Die Deponiegasnutzung zeichnet sich durch einen geringeren energetischen Wirkungsgrad aus. Laut NEUBACHER und HIMMEL (1999) ist der energetische Nutzen durch Deponiegasverbrennung um den Faktor 5 bis 6 geringer als bei der Restabfallverbrennung. Dies ist vor allem auf die schlechte Erfassbarkeit von Deponiegas zurückzuführen.

3.4.3 Umwelteffekte

Durch die Energiegewinnung aus Abfall ist der relative Beitrag zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes im Vergleich zur spezifisch hergestellten Biomasse wesentlich höher. Grund dafür ist, dass Abfall ein unerwünschtes Nebenprodukt ist und in Folge entsorgt werden muss. Im Gegensatz dazu muss die spezifisch erzeugte Biomasse erst produziert werden. (WÜRDINGER et al., 1998)

Bei der thermischen Abfallbehandlung werden auch Schadstoffemissionen freigesetzt, welche ohne entsprechende Abgasreinigung die Umwelt belasten würden. Aus diesem Grund ist es wichtig, leistungsstarke Rauchgasreinigungsanlagen zu installieren. Optimal ist die Gewinnung von Energie mithilfe von Abfall in dicht besiedelten Regionen, da dadurch die Transportwege verkürzt werden können. Dies wird von den AnrainerInnen oft kritisch betrachtet, da sie eine erhöhte Schadstoffbelastung befürchten. Aus diesem Grund ist es wichtig, sämtliche AkteurInnen bei der Planung einer solchen Anlage miteinzubeziehen, um eventuelle Befürchtungen aus dem Weg zu räumen. Durch die thermische Abfallbehandlung kann sichergestellt werden, dass die anfallenden Rückstände schlussendlich reaktionsarm und konditioniert deponiert werden können. Somit ist eine Grundwasserbelastung unwahrscheinlicher und es wird kein Deponiegas emittiert. (NEUBACHER und HIMMEL, 1999)

3.5 Windkraft

3.5.1 Beschreibung

Windkraft wird schon seit vielen Jhdt. genützt. So wurde sie laut historischen Aufzeichnungen bereits vor 3.000 Jahren zur Bewässerung und später, um die Zeit 700 nach Christus, erstmals zum Mahlen von Getreide herangezogen. Anfangs hatten die Windmühlen einen sehr schlechten Wirkungsgrad, welcher sich mit der Zeit kontinuierlich verbesserte. So gewannen die Windmühlen immer mehr an Bedeutung. Im 17. und 18. Jhdt. waren in Holland bereits zehntausende von Windmühlen zur Entwässerung im Einsatz. Im Laufe der industriellen Revolution verlor die Windkraft immer mehr an Bedeutung, da sie von der Dampfmaschine und den Verbrennungsmotoren zurückgedrängt wurde. Ihr vorläufiges Ende fand sie durch die Verbreitung des elektrischen Stroms. Durch die Erdölkrise der 70er Jahre des vorigen Jhdts. wurde die Windkraft wieder entdeckt. Heutzutage wird die Windkraft fast ausschließlich zur Stromerzeugung genutzt und erlebt seit Jahren einen regelrechten Aufschwung. (QUASCHNING, 2003)

Windkraft ist wie Wasserkraft eine indirekte Art der Sonnenenergie. Sonnenstrahlen erwärmen die Erdoberfläche durch deren unterschiedliche Beschaffenheit ungleichmäßig. So speichert beispielsweise Wasser weit mehr Wärme als Eis. Dadurch kommt es zu sehr unterschiedlichen Temperaturen und Luftdrücken. Da Luft immer nach einem Druckausgleich strebt, entstehen Kräfte, welche die Luft in Bewegung versetzen. Diese Luftbewegungen können dazu genutzt werden, um mithilfe eines Rotors mechanische oder elektrische Energie zu erzeugen. (LEHMANN und REETZ, 1995) Die Erzeugung von mechanischer Energie spielt heute eine eher untergeordnete Rolle. Mithilfe von Windkraftanlagen wird fast ausschließlich Strom erzeugt. Zurzeit befinden sich die meisten Windkraftanlagen an Land (Onshore). Küstenregionen eignen sich aufgrund ihrer Topographie besonders gut für den Einsatz von Windrädern. Dies liegt vor allem daran, dass der Wind aufgrund der glatten Wasseroberfläche so gut wie keinen Widerstand hat. Weiters kommt es an der Küste zu verstärkten Ausgleichsströmungen, da das Wasser bei Weitem mehr Sonnenenergie als das Land aufnimmt. (QUASCHNING, 2003)

Um zu prüfen, in welchen Gebieten die Nutzung von Windenergie überhaupt sinnvoll erscheint, bietet sich die mittlere Windgeschwindigkeit als geeigneter Parameter an. Wirtschaftlich sinnvoll sind Gebiete, in denen der Wind durchschnittlich schneller als 4 bis 5 m/sec. bläst. (LEHMANN und REETZ, 1995) Wie aus Abbildung 11 ersichtlich, sind Zonen in Äquatornähe wie Teile Südamerikas, Afrikas und Südasiens eher ungeeignet.

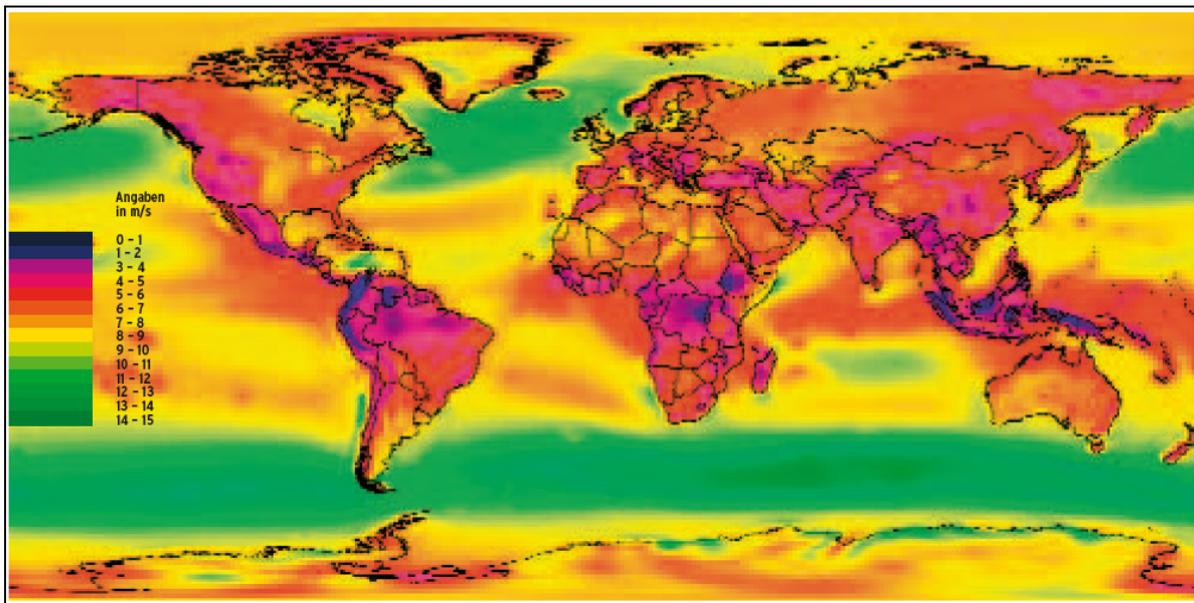


Abb. 11: Mittlere Windgeschwindigkeit in 80 m Höhe (PEHNT et al., 2006)

Durch die noch ungenutzten hohen Potentiale in der Küstenregion geht der Trend dazu, Windkraftanlagen auch im Wasser (Offshore) zu errichten. Offshore-Nutzung befindet sich im Gegensatz zu Onshore-Nutzung noch im Stadium der Entwicklung. (HERHOLZ, 2005) Mit herkömmlichen 2 bis 3 MW-Anlagen ist eine Offshore-Nutzung unwirtschaftlich, da hier die Kabel- und Fundamentkosten mehr als 50 % der Investition ausmachen. Deswegen werden 5 MW-Anlagen entwickelt, damit Offshore-Anlagen wirtschaftlich betrieben werden können. (VAHRENHOLT, 2006) Der Vorteil von Offshore- gegenüber Onshore-Anlagen liegt darin, dass Offshore-Anlagen die doppelte Anzahl an Volllaststunden erzielen. Außerdem liefern sie durch die gleichmäßigeren Windgeschwindigkeiten auch gleichmäßiger Energie und erleichtern somit die Planbarkeit von Energieeinspeismengen. (HERHOLZ, 2005) Unsicherheit herrscht noch bei den Betriebskosten, da nicht genau abgeschätzt werden kann, wie wartungsfrei solche Anlagen betrieben werden können. Es ist davon auszugehen, dass etwas höhere Betriebskosten für Wartung und Instandsetzung anfallen werden. (HAU, 2003)

Wenn man an allen geeigneten Standorten der Welt Windkraftanlagen errichten würde, ergäbe sich laut WOKAUN (1999) ein technisches Potential von 20 Mrd. MWh. Das würde rund 1/7 des Weltprimärenergieverbrauchs von 2004 entsprechen.

Eine weitere Möglichkeit Strom aus Windenergie zu nützen sind Aufwind- und Fallwindkraftwerke. Aufwindkraftwerke bestehen aus einer riesigen Glasfläche und einem zentral gelegenen Turm. Aufgrund der Sonneneinstrahlung entsteht ein Treibhauseffekt, welcher die Luft unter der Glasfläche stark erwärmt. Durch die sich daraus ergebende Dichtedifferenz entsteht eine Auftriebskraft (Kamineffekt), wodurch die Luft einen Generator antreibt, welcher sich im Turm befindet. Bis heute gibt es noch kein einzig kommerziell genutztes Aufwindkraftwerk. Es gibt jedoch einen Prototyp, welcher sich in Manzanares (Spanien) befindet. Dieser hat eine Glasfläche von rund 47 ha und eine Turmhöhe von 200 m mit einer jährlichen Stromproduktion von 42 MWh. Aufgrund des geringen Wirkungsgrades ist man bestrebt, größere Anlagen für die kommerzielle Nutzung zu errichten, um den Wirkungsgrad auf diese Weise zu erhöhen. So gibt es Projekte über Anlagen, welche weit größer dimensioniert werden sollen. Die Glasfläche eines solchen Aufwindkraftwerkes soll 10 km² groß werden und der Turm eine Höhe von 950 m erreichen. Dadurch wäre eine jährliche Stromproduktion von 295.000 MWh möglich. (WOKAUN, 1999)

Fallwindkraftwerke bestehen aus einem Turm, an dessen unterem Ende kreisförmig Turbinen angeordnet sind. Bei diesen Kraftwerken wird am oberen Ende des Turmes Wasser versprüht, wodurch der Luft durch das verdampfende Wasser Wärme entzogen wird. Durch diese Methode ist es möglich, die Luft um rund 15 °C abzukühlen, worauf diese aufgrund der Schwerkraft im Turm abfällt. Diese Luft treibt schlussendlich die unten angeordneten Turbinen an. (WOKAUN, 1999) Für diese Form der Energiegewinnung gibt es noch keine Pilotanlagen.

3.5.2 Ökonomische Betrachtung

Windenergie teilt mit allen anderen regenerativen Energieerzeugungssystemen ein Schicksal. Alle haben relativ hohe Herstellungskosten und somit einen hohen Kapitaleinsatz. Durch diese hohen Kosten sind die erneuerbaren Energieformen oft unwirtschaftlich, obwohl sie keine Brennstoffkosten verursachen. Die Produktion ist meist sehr individuell, material- und arbeitsintensiv und daher auch sehr teuer.

Windenergie scheint die am schnellsten voranschreitende Technologie zu sein, wenn es darum geht, Strom aus erneuerbaren Energien zu gewinnen. IngenieurInnen und TechnikerInnen ist es in den letzten 15 Jahren gelungen, die Herstellungskosten pro kWh installierter Leistung um 2/3 zu senken. Sie liegen bei Onshore-Anlagen zur Zeit bei rund 800 €/kWh installierter Leistung. Bei Offshore-Anlagen muss man mit der 1,5 fachen Investitionssumme je kWh installierter Leistung rechnen. Diese haben, wie schon erwähnt, aber die doppelten Volllaststunden und mangels Erfahrung eine gewisse Unsicherheit bei den Betriebskosten. Es wird prognostiziert, dass zukünftig jedes Jahr eine Einsparung von 2 % pro installierter Leistung möglich ist. Dies ist vor allem durch technische Entwicklung und durch die Fertigung in größeren Stückzahlen möglich. Für die Stromgestehungskosten aus Windenergie ist, wie schon im vorigen Kapitel erwähnt, die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit ein sehr wichtiger Einflussfaktor, da nur durch eine ausreichende mittlere Jahreswindgeschwindigkeit eine Windkraftanlage wirtschaftlich rentabel betrieben werden kann. (HAU, 2003) Weltweit betrug die Windkraftanlagenleistung im Jahr 2006 rund 60.000 MW. Für die nächsten 10 Jahre wird ein Anwachsen der Leistung auf 230.000 MW prognostiziert. Dies entspricht einer Investitionssumme von 150 bis 200 Mrd. €. (VAHRENHOLT, 2006)

Da zurzeit Aufwindkraftwerke nur als Pilotanlagen installiert sind, ist es sehr schwer, die reellen Kosten zu identifizieren. Durch entsprechende Größen der Anlagen sollte es aber möglich sein, mit diesen Strom zu erzeugen, der mit anderen Energiequellen konkurrenzfähig ist. Bei Fallwindkraftwerken kann noch keine Aussage über die Wirtschaftlichkeit getroffen werden, da diese erst in Planung sind.

3.5.3 Umwelteffekte

Windkraftanlagen sind im Betrieb grundsätzlich schadstoffneutral. Lediglich durch die im Herstellungsprozess verwendeten Materialien und Energieträger fallen Schadstoffe an. Als Maß für die Umweltfreundlichkeit einer Technologie kann die energetische Amortisationszeit herangezogen werden. Mithilfe dieser Kennzahl kann berechnet werden, wie lange eine Anlage Energie erzeugen muss, um die während ihrer Lebensdauer (Herstellung, Betrieb, Wartung und Entsorgung) verbrauchte Energie zu kompensieren. Windkraftanlagen schneiden hier sehr gut ab. Beispielsweise wird für eine 600 kW-Anlage ein Gesamtenergieaufwand von 821 MWh benötigt. Demgegenüber steht eine jährliche Stromproduktion von rund

1.260 MWh. Daraus ergibt sich eine energetische Amortisationszeit von weniger als 8 Monaten. Laut QUASCHNING (2002) liegt die energetische Amortisationszeit je nach durchschnittlicher Windgeschwindigkeit zwischen 3 und 23 Monaten. Ein solcher Vergleich ist bei fossilen und nuklear betriebenen Kraftwerken wenig sinnvoll, da durch den Einsatz von nicht erneuerbaren Energien die Amortisationszeit gegen unendlich geht. (REEKER, 2004)

Trotz der positiven Umwelteffekte der Windkraftanlagen gibt es auch Effekte, welche sich negativ auswirken können. Beispielsweise kann durch die Rotorblätter die Strömung des Windes beeinflusst werden und es kann zu Lärmemissionen kommen. Aus diesen Gründen ist die Wahl des Standortes, unter Einbeziehung sämtlicher betroffener AkteurlInnen, besonders wichtig. Einen hohen Stellenwert nehmen hier Wohngebiete ein. Um bei tiefstehender Sonne einen Schattenwurf auf die Wohnanlagen zu verhindern, ist ein entsprechender Mindestabstand zu wählen. Auch die optische Veränderung der Landschaft nimmt bei steigender Nutzung der Windenergie zu. Deswegen geht der Trend zur Errichtung von wenigen großen Standorten, so genannten Windparks. Durch die Geräuschemissionen kommt es zu einer weit geringeren Zahl von tödlichen Unfällen von Vögeln, als diese bei ähnlich hohen Bauwerken gegeben sind. Selbstverständlich sind Aufstellungsverbote in Vogelflugrouten und Mindestabstände zu Natur- und Landschaftsschutzgebieten einzuhalten. (REEKER, 2004)

3.6 Solarenergie

3.6.1 Beschreibung

Die unerschöpfliche Energie der Sonne wurde schon in frühen Zeiten erkannt. Bereits die alten Ägypter nutzten die Sonne als Energiequelle. Durch die Erfindung des Glases wurde es ihnen möglich, dieses dazu zu verwenden, Sonnenlicht und Sonnenwärme in das Innere von Gebäuden zu bringen. Den Arabern gelang es schließlich, die Sonne für technische Zwecke zu verwenden, da sie erkannten, dass man mit Hilfe eines dünnen Glases Wasser destillieren kann. (KARAMANOLIS, 1993)

Seit den 60er Jahren des vorigen Jhdts. nutzt die NASA Sonnentechologie als Energiequelle für Satelliten und Sonden im Weltall. Japan war eines der ersten

Länder, welches die großen ökonomischen Chancen dieser neuen Technologie erkannte. So war Japan Mitte der 90er Jahre des vorigen Jhdts. der Weltmarktführer der solaren Energiegewinnung. In Japan wurde diese Art der Energiegewinnung als Chance gesehen, ganz im Gegensatz zu vielen westlichen Ländern, wo die Sonnenenergie von den Energieversorgenden als Konkurrenz betrachtet wurde. (ASBECK, 2006)

Die Sonne spielt nicht nur aus energiepolitischer Sicht eine wichtige Rolle. Würde sie nicht Tag für Tag enorme Energiemengen auf unsere Erde senden, wäre ein Leben überhaupt nicht möglich. Der Nutzung des Fixsterns als Energiequelle sind keine Grenzen gesetzt, denn der Brennstoff der Sonne wird noch mehrere Milliarden Jahre reichen. (ASBECK, 2006) Die Sonne strahlt pro Jahr das 10.000-fache an Energie ab, welche die gesamte Erdbevölkerung verbraucht. In Deutschland treffen beispielsweise jährlich mehr als 1.000 kWh Solarenergie pro m² auf, was umgerechnet rund 100 l Heizöl entspricht. (OGOREK, 2002) Die Werte können auch auf über 2.100 kWh/m²a ansteigen. Am höchsten sind die Werte in Äquatornähe, etwa im Bereich von 30° Süd bis 40° Nord, und nehmen tendenziell in Richtung der Pole ab. Einen weiteren Einfluss auf die Strahlungswerte haben Gebirge, Küstennähe und die vorherrschende Windrichtung wegen der Wolkenbildung. (BLATTER, 2006) Das theoretische Potential ist also sehr hoch, es kann jedoch nur ein Bruchteil davon genutzt werden. Gründe dafür sind Ungleichmäßigkeiten der Einstrahlung in Bezug auf die Tageszeiten (Tag/Nacht) und der Jahreszeiten (im Winter sind die Sonnenstunden geringer) sowie die Probleme der Speicherung. (OGOREK, 2002)

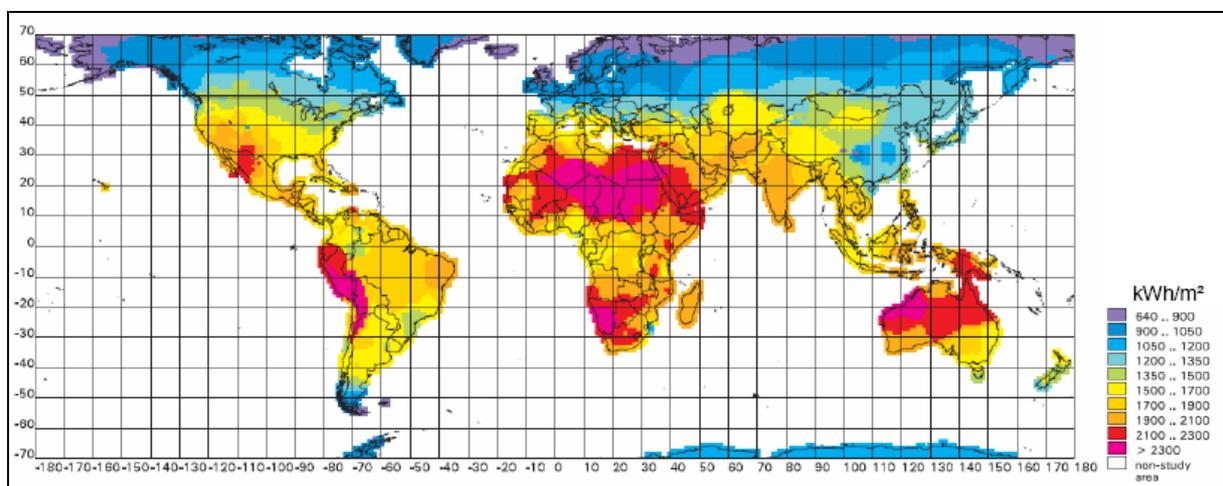


Abb. 12: Verteilung der jährlichen Sonneneinstrahlung (DGS, o.J.)

Bei den erneuerbaren Energien Wasserkraft, Windenergie und Biomasse handelt es sich im Prinzip um eine indirekte Nutzung der Sonnenenergie. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der direkten Nutzung der Sonnenstrahlung. Grundsätzlich kann man zwischen zwei Nutzungsarten der Sonnenenergie unterscheiden. Einerseits ist es möglich, mithilfe von Photovoltaikanlagen Strom zu erzeugen. Andererseits kann man Sonnenenergie nutzen, um mithilfe der Solarthermie Wärme als auch Strom zu gewinnen. (KARAMANOLIS, 1993)

Unter Solarthermie versteht man die thermische Nutzung der Sonnenenergie, welche man zur Bereitstellung von Wärme, für Kühlungszwecke aber auch zur Stromerzeugung durch solarthermische Kraftwerke verwenden kann. Die Solarthermie findet vor allem in folgenden Bereichen ihre Anwendung:

- Solare Schwimmbädererwärmung
- Solare Brauchwassererwärmung
- Solare Niedertemperaturwärme für Raumheizung
- Solare Prozesswärme
- Solarthermische Stromerzeugung (QUASCHNING, 2003)

Die Schwimmbädererwärmung mittels Sonnenenergie ist ohne großen technischen Aufwand möglich. Dazu benötigt man lediglich Kollektoren, ein Rohrsystem und eine Umwälzpumpe. Sobald die Sonne scheint, erwärmen sich die Kollektoren und warmes Wasser wird in das Schwimmbad gepumpt. Bei der Brauchwassererwärmung bzw. Niedertemperaturwärme für Raumwärme benötigt man zusätzlich einen Speicher für das warme Wasser. Dieser Speicher ist notwendig, da die Erzeugung und der Verbrauch oft zeitlich getrennt sind. Eine Abdeckung des gesamten Wärmebedarfes ist durch dieses System selten möglich, wodurch meist ein Zusatzheizsystem benötigt wird. Durch die relativ einfache Anwendung nehmen Schwimmbäder- und Brauchwassererwärmung den größten Stellenwert bei der Solarthermie ein. (QUASCHNING, 2003)

Solare Prozesswärme findet bei Industriebetrieben Anwendung. Diese verwenden thermische Solaranlagen um ihren Wärmebedarf für verschiedenste Prozesse (z.B. waschen, trocknen, heizen, destillieren) abzudecken. Wenn sehr hohe Temperaturen gefordert sind, werden anstatt der Flachkollektoren so genannte

Parabolrinnenkollektoren verwendet. Durch diese können Temperaturen bis 250 °C erzeugt werden. (WEISS, 2005)

Bei der solarthermischen Stromerzeugung wird mittels lichtfokussierender Spiegel Licht durch Absorption zu Wärme gewandelt. Der Wärmeträger Gas bzw. Dampf erreicht im Regelfall eine Temperatur von 300 bis 1.000 °C und wird zur Stromerzeugung durch Gasturbinen- bzw. Dampfturbinen-Generatoren verwendet. Die Anwendung von solarthermischen Kraftwerken beschränkt sich um den Äquator von 30° Süd bis 40° Nord. Damit eine Stromerzeugung auch in der Nacht möglich ist, können Hochtemperatur-Wärmespeicher verwendet werden. (HEINLOTH, 2003)

Bei Photovoltaikanlagen wird Licht (Photo) in elektrische Spannung (Volt) umgewandelt, und somit Energie gewonnen. Nach diesem photovoltaischen Effekt, welcher bereits 1839 von Becquerel entdeckt wurde, arbeitet die Solarzelle. Sie stellt das Kernelement einer Photovoltaikanlage dar. Zum Bau dieser Zellen werden entweder Galliumarsenid, Cadmiumtellurid, Kupfer-Indium-Diselenid oder Silizium verwendet, wobei dem Silizium die mit Abstand größte Bedeutung zukommt. Das Photovoltaiksystem setzt sich aus mehreren Solarzellenmodulen zusammen, in denen die einzelnen Zellen miteinander verbunden sind. (REEKER, 2004) Die Solarzellen befinden sich zwischen zwei Glasplatten, welche sie vor Umwelteinflüssen schützen. (OGOREK, 2002) Photovoltaikanlagen erzeugen für viele Kleinverbraucher wie Taschenrechner, Uhren, etc. geeigneten Gleichstrom. Da die meisten Geräte jedoch Wechselstrom benötigen, wird ein Wechselrichter eingesetzt, der Gleichstrom in Wechselstrom umwandeln kann. Bei einer Photovoltaikanlage wird mit einer Lebensdauer von mind. 30 Jahren gerechnet. (KALTSCHMITT et al., 2003)

Photovoltaikanlagen finden in unterschiedlichsten Gebieten ihre Anwendbarkeit zur Stromversorgung. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Anlagen, mit Anschluss zum Stromnetz und netzfern errichtete Anlagen (so genannte Inselanlagen). Inselanlagen sind vor allem für Gebiete geeignet, in denen ein relativ geringer Strombedarf besteht und es keine Möglichkeit gibt bzw. es einfach zu teuer wäre, einen Netzanschluss vorzunehmen. Beispiele hierfür wären kleine Inseln, Berghütten, abgelegene Wochenendhäuser, Solarmobile, Wasserpumpen für Brunnen in Entwicklungsländern oder Notrufsäulen. Netzverbundene Anlagen weisen je nach Größe eine Leistung von einem bis zu mehreren 100 kW auf. Für die

kleineren Anlagen werden vor allem Dachflächen für die Aufstellung genutzt. Große Anlagen werden auf eigenen Landflächen aufgestellt. (DIEKMANN et al, 1995)

3.6.2 Ökonomische Betrachtung

Bei der Solarthermie stellen die Investitionskosten den größten Kostenanteil dar. Diese können vor allem durch die verschiedenen Kollektortypen sehr unterschiedlich sein. Tendenziell sinkt die Investitionssumme je m² mit zunehmender Größe der Anlage. Die geringen Betriebskosten haben so gut wie keinen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage. Es kann gesagt werden, dass bei einer Errichtung ohne Zuschüsse die solarthermische Wärmebereitstellung im Normalfall wesentlich teurer ist, als die Raum- und Brauchwassererzeugung mit Öl oder Gas. Eine Ausnahme ist die Beheizung von Freibädern. Bei diesen benötigt man keinen Speicher und die Zeiten des hohen Strahlungsangebotes und der hohen Nachfrage fallen zusammen. (KALTSCHMITT et al., 2003)

Bei solarthermischen Kraftwerken, die ausschließlich zur Stromerzeugung genutzt werden, ist der Standort ein wichtiger Einflussfaktor auf die Wirtschaftlichkeit. So ist in der kalifornischen Mojawewüste die Sonneneinstrahlung etwa 2,5mal so hoch wie in Deutschland und immerhin noch um 25 % höher als in Südspanien. Unter der Annahme, dass für die Erzeugung von Strom aus Windkraftwerken, Photovoltaikanlagen und solarthermischen Anlagen die jeweils idealen Bedingungen herrschen, kann gesagt werden, dass solarthermische Stromerzeugung etwa doppelt so teuer wie die Stromerzeugung aus Windenergie und halb so teuer wie die Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen ist. (BÜHRKE und WENGENMAYR, 2007) Solarthermische Anlagen haben eine energetische Amortisationszeit von 5 bis 32 Monaten. Diese wird durch die Sonneneinstrahlung und der Art der Anlage beeinflusst. (QUASCHNING, 2002)

Photovoltaik zeichnet sich wie die meisten anderen erneuerbaren Energien durch hohe Investitions- und geringe Betriebskosten aus. Die Investitionskosten sind aber verglichen mit anderen erneuerbaren Energien sehr hoch und liegen je nach Anlagengröße zwischen 4.900 und 7.600 € je kW installierter Leistung. Auch hier ist zu beobachten, dass die Kosten je kW mit zunehmender Anlagengröße sinken. Die meisten Kosten fallen für die Module an. Bei der Entwicklung von neuen Verfahren versucht man, vor allem bei den Siliziumkosten Einsparungen zu erzielen. Den

größten Einfluss auf die Stromgestehungskosten einer Anlage haben die Investitionskosten und die Sonneneinstrahlung. Ein wirtschaftlicher Betrieb ohne zusätzliche Förderungen ist nur selten möglich. (KALTSCHMITT et al., 2003) Es gibt jedoch Anlagen, bei denen Photovoltaikanlagen schon heute die billigste Alternative sind, um Strom zu erzeugen. So ist es oftmals billiger eine dezentrale Photovoltaikanlage zu installieren, als die Stromversorgung über einen konventionellen Netzanschluss vorzunehmen. Gute Beispiele wären Parkautomaten und Autobahnkameras. Da diese Geräte relativ wenig Strom benötigen, ist es oft nicht sinnvoll, teure bauliche Maßnahmen für den Anschluss vorzunehmen. (MORRIS, 2005)

3.6.3 Umwelteffekte

Bei solarthermischen Anlagen wird der Schadstoffausstoß hauptsächlich beim Bau und beim Betrieb der Umwälzpumpe verursacht. Die Umwälzpumpe verursacht je nach verwendetem System zwischen 30 und 60 % der Emissionen. Eine Ausnahme ist die solarthermische Nutzung zur Raumwärme und Brauchwassererwärmung. Bei diesem Verfahren ist es notwendig, eine Kombination mit anderen Heizsystemen vorzunehmen. Durch diese Kombination fallen im Betrieb zusätzlich Schadstoffe an. Es kann aber gesagt werden, dass solarthermische Anlagen eine positive Energiebilanz haben und somit zum Klimaschutz beitragen. Durch den geräuschlosen Betrieb ist keine unmittelbare Beeinflussung der näheren Umgebung gegeben. Ob am Dach montierte Anlagen das Erscheinungsbild von Häusern negativ oder positiv beeinflussen, liegt im Auge der Betrachtenden. (KALTSCHMITT et al., 2003)

Bei Photovoltaikanlagen werden praktisch nur beim Herstellungsprozess Schadstoffe freigesetzt. Negative Auswirkungen auf die Umwelt können sich durch die vielen toxischen Stoffe ergeben, welche bei der Produktion der Anlage verwendet werden. Diese toxischen Stoffe haben jedoch so gut wie keine Auswirkungen auf Mensch und Umwelt, da eine fachgerechte Entsorgung gesetzlich vorgeschrieben ist. (REEKER, 2004) Weiters ist Solarsilizium ein Abfallprodukt der Halbleiterindustrie und kann für die Produktion von Solarzellen herangezogen werden. Solarsilizium kann darüber hinaus von alten Photovoltaikanlagen wiederverwertet werden, da es keine Abnützung aufweist. Die einzigen abnutzbaren Bestandteile von Photovoltaikanlagen sind die Glasplatten und Lamine, welche als Schutz vor der Witterung dienen.

(MORRIS, 2005) Photovoltaikanlagen weisen eine sehr hohe energetische Amortisationszeit auf. Diese schwankt je nach Herstellungsart und Sonneneinstrahlung zwischen 8 und 55 Monaten. (QUASCHNING, 2002)

Photovoltaikanlagen setzen im Betrieb keine Geräusch- und Schadstoffemissionen frei und sind somit eine sehr umweltfreundliche Art der Stromerzeugung. Durch den Betrieb werden jedoch elektromagnetische Strahlen freigesetzt. Diese niederfrequenten magnetischen Felder sind in ihrer Intensität vergleichbar mit herkömmlichen Haushaltsgeräten. Durch die Forschungsaktivitäten der Hersteller wird damit gerechnet, dass diese Emissionen reduziert werden können. Auch hier beeinflussen am Dach montierte Anlagen das Erscheinungsbild von Häusern. Photovoltaikanlagen, die auf freier Fläche aufgestellt werden, führen aufgrund der Fundamente nur zu einer teilweisen Versiegelung des Bodens. Die restliche Fläche kann begrünt und anderweitig genutzt werden. (KALTSCHMITT et al., 2003)

3.7 Geothermie

3.7.1 Beschreibung

Geothermie ist besser unter dem Begriff Erdwärme bekannt. Diese unterirdischen Wärmequellen bzw. Wasseradern wurden schon in der Antike genutzt – damals noch vorwiegend für Heilzwecke. Weiters ist bekannt, dass bereits 1500 vor Christi Geburt ein Thermalbad existierte. (KARAMANOLIS, 1993) Zur ersten industriellen Nutzung einer geothermischen Quelle kam es jedoch erst im Jahre 1913 in Italien. Diese 250 kW-Anlage wurde an der Larderello-Quelle errichtet und dient zur Stromerzeugung. (MATARÉ und FABER, 1993) Genau genommen stellt Geothermie keine erneuerbare Energiequelle dar, da eine Abkühlung im Laufe der Nutzung stattfindet und dadurch nicht beliebig regenerativ ist. Wenn man jedoch die Zeiträume des menschlichen Denkens betrachtet, spielt dies kaum eine Rolle. (BENNEWITZ, 1991)

Grundsätzlich entsteht Erdwärme durch den Zerfall von radioaktiven Elementen und dem Wärmefluss vom heißen Erdkern zur Erdoberfläche und kann zur Energie- und Wärmeerzeugung genutzt werden. Die Temperatur steigt mit zunehmender Tiefe unter der Erdoberfläche um durchschnittlich 3 °C je 100 m. Abweichungen von diesem Wert werden als Anomalien bezeichnet. Anomalien, welche sich besonders

gut für die Energiegewinnung eignen, sind Heißwasserquellen oder Magmaherde in vulkanischen Gebieten. (DIEKMANN et al, 1995) In folgenden Gebieten treten vermehrt Anomalien auf:

- Gesamte Westküste von Nord- und Südamerika
- Von den Aleuten über Japan, den Philippinen bis nach Indonesien
- Der mittelatlantische Graben inklusive Island
- Ostafrika, nördlich von Tansania bis in den Bereich des Roten Meeres und der Golfstaaten
- Die Linie Iran, Türkei, Mittelmeer inklusive Italien (BENNEWITZ, 1991)

Der große Vorteil der Geothermie gegenüber anderen erneuerbaren Energieträgern liegt darin, dass die Energiegewinnung im Normalfall keinen Schwankungen ausgesetzt ist. Weiters ist die Nutzung durch den Erdwärmestrom praktisch überall auf der Erde möglich, wodurch sich eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten ergeben. (DIEKMANN et al., 1995) Trotz dieses Potentials hat Geothermie im Jahr 2004 einen Anteil von nur 0,414 % des Welt-Primärenergieverbrauchs (siehe Abbildung 8) eingenommen.

In Island nimmt Geothermie einen sehr hohen Stellenwert ein. Rund 86 % der isländischen Haushalte werden mit Erdwärme versorgt. Grund für diese besonders intensive Nutzung ist der vulkanisch-aktive Boden, der in Island vorzufinden ist. Die Philippinen nützen Erdwärme ebenfalls als Hauptenergiequelle. (Morris, 2005)

In Gebieten, wo keine vulkanische Aktivität vorherrscht, kann zwischen drei Arten der Nutzung unterschieden werden:

- Untiefe Geothermie
- Hydrothermale Geothermie
- Hot-Dry-Rock-Systeme (DIEKMANN et al., 1995)

Bei der untiefen Geothermie wird die Erdwärme des erdoberflächennahen Bereichs genutzt, welcher nicht von der Sonneneinstrahlung beeinflusst wird. Bevorzugte Anwendung findet sie in Einfamilienhäusern zur Raumheizung und Brauchwasserbereitung. Dies geschieht entweder durch Erdkollektoren, Erdwärmesonden oder Grundwasserbohrungen. Erdkollektoren werden relativ nahe an der Erdoberfläche (rund 1 bis 2 m Tiefe) installiert. Im Gegensatz dazu können

Erdwärmesonden je nach örtlichen Verhältnissen bis zu einer Tiefe von 150 m zum Einsatz kommen. Was diese Systeme jedoch gemeinsam haben, ist die Verwendung einer Wärmepumpe. Eine Wärmepumpe funktioniert im Grunde genommen nach dem gleichen Prinzip wie ein herkömmlicher Kühlschrank. So können vereinfacht gesagt auf der einen Seite niedrigere Temperaturen aufgenommen werden und auf der anderen Seite höhere Temperaturen (zum Heizen) abgegeben werden. Die aus dem Boden entzogene Wärme liegt im Normalfall unter 20 °C. Durch die Wärmepumpe kann die Temperatur auf etwa 50 °C angehoben und somit zur Erzeugung von Raumwärme bzw. Warmwasser verwendet werden. Mithilfe eines Kältemittels kann dieser Vorgang auch in die entgegengesetzte Richtung (zum Kühlen) durchgeführt werden. (DIEKMANN et al., 1995)

Die hydrothermale Geothermie unterscheidet sich von der untiefen Geothermie darin, dass sie die Wärme aus Thermalwässern gewinnt. Grundsätzlich wird das heiße Wasser durch Bohrung bis in eine Tiefe von 3.000 m erschlossen. Es kommt jedoch auch vor, dass das Thermalwasser auf natürlichem Wege aus einer Quelle entspringt. Der Vorteil von Tiefenbohrungen liegt darin, dass man dadurch wärmeres Wasser erreicht, welches sich besser zur Energiegewinnung eignet. (DIEKMANN et al., 1995) Die Temperatur des Wassers liegt bei rund 90 °C und kann somit direkt zu Heizzwecken verwendet werden. Mittels Dampfkraftprozessen mit organischen Medien ist es möglich Strom zu erzeugen. Dieses Verfahren wird aber erst in Pilotversuchen angewandt. (TIMPE, 2006) Damit das Wasserreservoir im Untergrund nicht leergepumpt wird, führt man das Wasser nach dem Wärmeentzug wieder zurück, wofür eine zweite Bohrung nötig ist. Es handelt sich somit um einen geschlossenen Kreislauf. Dies ist auch deshalb vorteilhaft, da das Thermalwasser hochmineralisch ist und eine andere Entsorgung problematisch für die Umwelt wäre. (KALTSCHMITT et al., 2003)

Beim Hot-Dry-Rock-System werden Bohrungen in Tiefen über 3.500 m vorgenommen. Dadurch soll in Schichten vorgedrungen werden, wo trockenes, heißes Gestein vorhanden ist, welches eine gute hydraulische Durchlässigkeit aufweist. Durch eine oder mehrere Bohrungen wird Wasser in die Tiefe gepresst, wobei es durch das heiße Gestein strömt und anschließend bei der Förderbohrung wieder als heißes Wasser bzw. Wasserdampf an die Erdoberfläche gelangt. Es wird versucht, Temperaturen über 175 °C zu erreichen, wodurch der Dampf direkt zur

Stromerzeugung genutzt werden kann. Wie bei der hydrothermalen Geothermie wird auch hier das genutzte Wasser anschließend wieder in den Untergrund gepumpt. Aufgrund der hohen Kosten befindet sich das Hot-Dry-Rock-System noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. (DIEKMANN et al., 1995)

3.7.2 Ökonomische Betrachtung

Bei der untiefen Geothermie kann es durch die jeweiligen spezifischen Gegebenheiten (Bodenbeschaffenheit, Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes, Abstand des Grundwasserleiters von der Geländeoberkante) zu unterschiedlichen Größenanforderungen der Anlagen kommen. Dadurch sind auch die Kostenstrukturen der Gesamtanlagen sehr unterschiedlich. Es ist zu beachten, dass man für die Energieerzeugung immer auch elektrische Energie benötigt. Die Arbeitszahl gibt an, wie viel Energieeinheiten man gewinnt, wenn man eine Energieeinheit einsetzt. Sie liegt bei untiefer Geothermie ungefähr zwischen 3 und 4. (KALTSCHMITT et al., 2003)

Die Kosten bei der Errichtung bzw. dem Betrieb der hydrothermalen Geothermie werden ebenso wie bei der untiefen Geothermie sehr stark von den örtlichen Gegebenheiten beeinflusst. Diese Einflussgrößen können beispielsweise Salzgehalt, Temperatur und Förderraten der Tiefengewässer sowie die lokale Abnehmerstruktur sein. Bei dieser Art der Energieerzeugung fallen die größten Kosten bei der Errichtung an. Vor allem die Bohrung und das Wärmenetz sind besonders kostenintensiv. Die Betriebskosten spielen eine eher untergeordnete Rolle. Auf die Wirtschaftlichkeit einer hydrothermalen Anlage hat die Auslastung einen wichtigen Einfluss. Um die Auslastung zu erhöhen wäre es vorteilhaft, Industriebetriebe mit einem jahreszeitlich ausgeglichenen Wärmeverbrauch anzuschließen. (KALTSCHMITT et al., 2003)

Auch bei diesem Verfahren sind die Investitionskosten je nach örtlicher Gegebenheit sehr unterschiedlich und haben einen sehr großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit. Die Bohrtiefe spielt hier eine besonders große Rolle, da für einen Meter Bohrtiefe 1.000 € an Kosten anfallen. Ein sehr wichtiger Faktor ist die Temperatur des Thermalwassers. So ist es möglich, die Stromgestehungskosten bei einer Zunahme der Temperatur von 150 auf 200 °C fast zu halbieren. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu sichern ist es sinnvoll, auch die Restwärme nach der Stromerzeugung für

Heizzwecke zu verwenden. Die Betriebskosten haben, wie schon bei den beiden vorher beschriebenen geothermischen Nutzungen, nur einen geringen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage. (KALTSCHMITT et al., 2003)

3.7.3 Umwelteffekte

Bei untiefer Geothermie gibt es praktisch keine Auswirkungen auf Fauna und Flora. Lediglich bei zu klein dimensionierten Anlagen kann es vorkommen, dass durch das starke Abkühlen der Erdkollektoren das Aktivitätsniveau der Bodenfauna abnimmt und die Vegetationszeit auf dieser Fläche verkürzt ist. (KALTSCHMITT et al., 2003) Zu beachten ist aber, dass für die energetisch geringwertige Raumwärme bzw. Warmwasserbereitung energetisch hochwertigere elektrische Energie benötigt wird. Da bei der weltweiten Stromerzeugung zurzeit ein geringer Anteil an erneuerbaren Energieträgern eingesetzt und die Abwärme nicht genutzt wird, muss die Arbeitszahl mindestens 2,5 betragen, um die nicht erneuerbare Energiebilanz auszugleichen. Daraus ergibt sich, dass bei dieser Art der Energieerzeugung nur ein geringer Anteil an erneuerbarer Energie erzeugt wird. (TIMPE, 2006)

Früher hatte man Bedenken, dass Bohrungen an tektonisch labilen Stellen Erdbeben auslösen können. Mittlerweile kann man sagen, dass dies sehr unwahrscheinlich ist. Auch ein Absinken der Erdoberfläche, wie dies teilweise bei Ölbohrungen passiert, kann durch Rückpumpen des entnommenen Wassers verhindert werden. Ohne einer Rückführung würde es zu einer Austrocknung des Wasserreservoir kommen. Ein weiterer Punkt, der für die Rückführung spricht, ist der Mineralgehalt des Wassers. Würde man das hoch mineralische Wasser nach dem Wärmeentzug in einen nahe gelegenen Fluss einleiten, hätte dies starke Umweltprobleme zur Folge. (MORRIS, 2005) Durch die Abkühlung des Untergrundes kann es zu einer möglichen Veränderung der Chemie im Reservoir kommen. Da sich diese Schichten jedoch in relativ großer Tiefe befinden, sind keine Auswirkungen auf die Biosphäre anzunehmen. Des Weiteren kann es durch das zirkulierende Wasser zu einer Freisetzung von Gasen (Methan, Ammoniak, Schwefelwasserstoff, CO₂, usw.) und Mineralien kommen. Dies hat jedoch im Normalfall keine Auswirkungen auf die Umwelt, da dieses Wasser in einem geschlossenen Kreislauf geführt wird. Gesamt gesehen kann gesagt werden, dass zurzeit durch die Nutzung von Geothermie keine signifikanten negativen Auswirkungen auf den Menschen und die natürliche Umwelt zu erwarten sind. (KALTSCHMITT et al., 2003)

3.8 Potential der erneuerbaren Energien

Es gibt verschiedenste Meinungen über das Potential von erneuerbaren Energien. Das veranschaulicht, dass das Potential sehr schwer abschätzbar ist. Grundsätzlich wird zwischen theoretischem, technischem und wirtschaftlich rentablem Potential differenziert.

3.8.1 Theoretisches Potential

Rein theoretisch wäre es möglich, mithilfe der eingestrahlten Sonnenenergie, der kinetischen Energie des Windes, der potentiellen Energie des Wassers, der Biomasse und der geothermischen Energie rund 3.000 mal den Weltenergieverbrauch pro Jahr zu decken. Doch das theoretisch Mögliche, kann nur zu einem geringen Anteil technisch erzielt werden. Bei den technischen Potentialen geht es um die Abschätzung des technisch Machbaren, welches in absehbarer Zeit erzielbar ist. (PEHNT et al., 2006)

3.8.2 Technisches Potential

Bei der Ermittlung des technischen Potentials sind einige Faktoren zu berücksichtigen, welche eine 100 %ige Umsetzung des theoretischen Potentials unmöglich machen. Diese werden im Folgenden angeführt:

- Wirkungsgrad: Die zugeführte Energie kann nicht zur Gänze in nutzbare Energie umgewandelt werden.
- Anlagengröße: Oftmals wäre es von Vorteil größere Anlagen zu errichten, jedoch gibt es derzeit noch technische Barrieren.
- technisches Entwicklungspotential: Durch Forschung versucht man, die bereits vorhandenen Technologien immer weiter zu entwickeln und somit die technischen Barrieren zu überwinden.
- Ortsgebundenheit: Der Einsatz von erneuerbaren Energieformen hängt stark von den Gegebenheiten der jeweiligen Region ab. So können beispielsweise in einem Binnenland wie Österreich keine Offshore-Windkraftanlagen errichtet werden.

- **Transportradius:** Lange Transportwege können die wirtschaftliche und ökologische Sinnhaftigkeit von erneuerbaren Energien in Frage stellen. Ab einer gewissen Transportlänge wäre es ökologisch betrachtet egal, ob mit Erdöl oder mit erneuerbaren Energien produziert wird.
- **Flächenverfügbarkeit:** Standorte, welche theoretisch für den Einsatz von erneuerbaren Energien geeignet wären, können oftmals aus anderen Interessen nicht genutzt werden. So kann beispielsweise kein Windkraftpark in der Nähe von Wohngebieten errichtet werden, da durch den Schattenwurf der Rotoren die Lebensqualität beeinträchtigt wäre.
- **Konkurrenznutzung:** Oftmals stehen verschiedene Nutzungsmöglichkeiten einer Fläche in Konkurrenz zueinander. Zum Beispiel können landwirtschaftliche Flächen sowohl für die Nahrungsmittelproduktion als auch für die Produktion von Energiepflanzen herangezogen werden. Wenn zukünftig die Weltbevölkerung zunimmt, werden der Nahrungsmittelbedarf und auch der Energiebedarf steigen. Dies zeigt, dass Biomasse nur begrenzt für die Energieerzeugung genutzt werden kann.
- **Fehlende Infrastruktur:** Es gibt viele Gebiete, in denen großes theoretisches Potential vorhanden wäre, jedoch ist dieses aufgrund von fehlender Infrastruktur nicht erschließbar. In Äquatornähe gäbe es ein enormes Potential an Sonneneinstrahlung. Diese kann aber nicht zur Gänze genutzt werden, da es noch keine Möglichkeit gibt die enormen Energiemengen dorthin zu transportieren, wo sie benötigt werden.
- **Schwankendes Energieangebot:** Manche Energiequellen liefern die benötigte Energie nicht immer zum gewünschten Zeitpunkt. Durch diese Schwankungen wäre es notwendig die Energie zu speichern, um sie zum gewünschten Zeitpunkt zur Verfügung zu haben. Dies ist aber zurzeit in diesem riesigen Ausmaß nicht möglich.
- **Ökologische Restriktionen:** Oftmals ist es auch aus ökologischen Gründen nicht möglich, erneuerbare Energie vollständig zu nutzen. So muss beispielsweise bei Windparks darauf geachtet werden, dass Flugschneisen für Zugvögel frei gehalten werden. Durch den Einsatz von Wasserkraft gibt es auch teilweise starke Beeinträchtigungen von Ökosystemen. (PEHNT et al., 2006)

Aufgrund der oben angeführten Faktoren ist die technische Nutzung der Wasserkraft, Biomasse und Erdwärme im Bereich von wenigen Prozenten und bei der Solarstrahlung und beim Wind nur im Promillebereich möglich. Die Differenz zwischen physikalischem und technischem Potential wird in untenstehender Abbildung grafisch veranschaulicht.

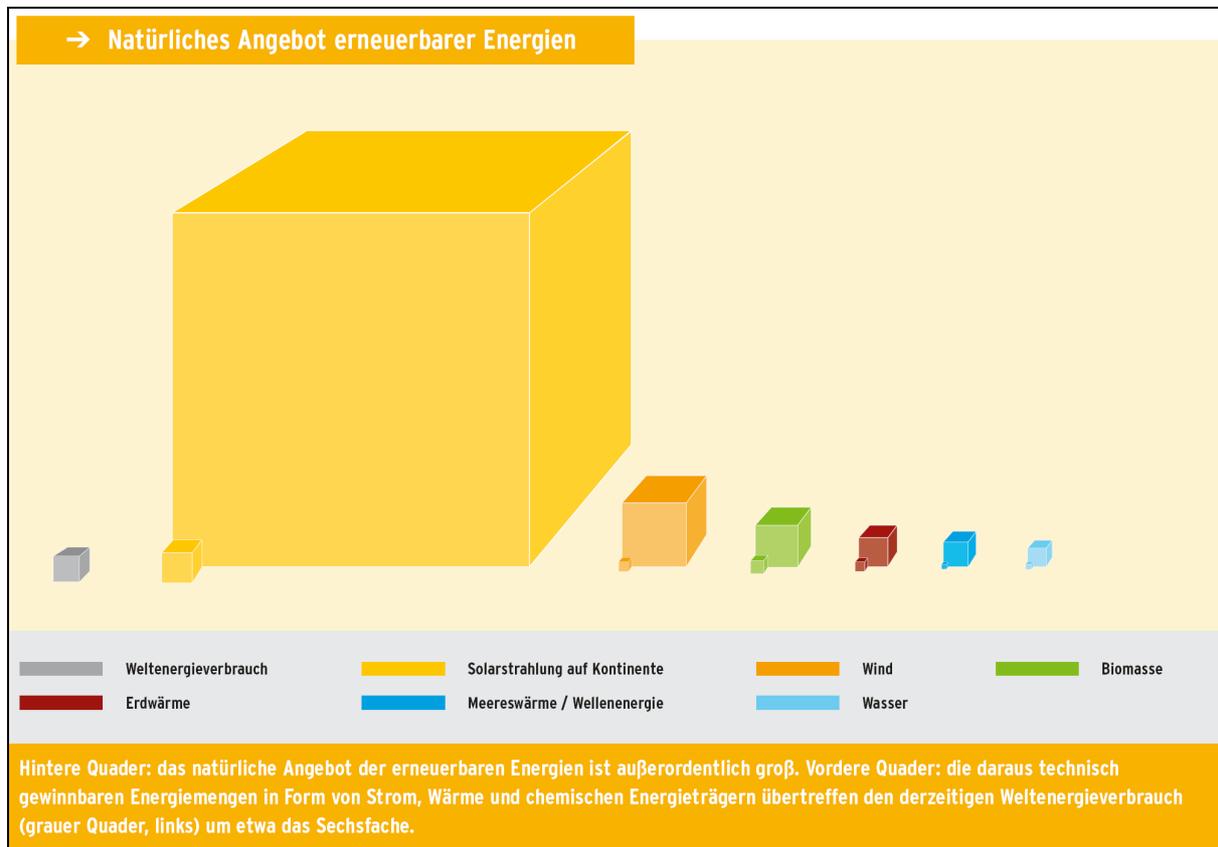


Abb. 13: Natürliches Angebot erneuerbarer Energien (PEHNT et al., 2006)

Trotz dieser enormen technischen Einschränkungen ist es rein technisch gesehen möglich, den momentanen weltweiten Energieverbrauch sechsmal abzudecken. Den größten Anteil (etwa 2/3) nimmt dabei die Solarstrahlung ein. Wie schon vorhin erörtert, variiert die Anwendbarkeit von erneuerbaren Energien regional sehr stark. Somit hat jede einzelne erneuerbare Energieform regional gesehen Stärken bzw. Schwächen. Beispielsweise liegt die Schwäche einer Photovoltaikanlage darin, dass sie nachts keine Energie liefert. Des Weiteren liefern Wasserkraftwerke in Dürreperioden nur in begrenztem Ausmaß Strom. Aus diesem Grund scheint es sehr sinnvoll, mehrere erneuerbare Energieformen miteinander zu kombinieren, um die einzelnen Schwächen auszugleichen. (PEHNT et al., 2006)

Es zeigt sich, dass sich alleine durch die technischen Restriktionen eine enorme Verringerung des theoretischen Potentials ergibt. Doch selbst das technische Potential wird wiederum von wirtschaftlichen Kalkülen eingeschränkt.

3.8.3 Wirtschaftliches Potential

So wie in jedem anderen Bereich der freien Marktwirtschaft bestimmt auch bei der Strombereitstellung die Nachfrage das Angebot. Da die Stromerzeugung bis heute größtenteils aus fossilen Energieträgern erfolgte, haben die hier eingesetzten Technologien einen relativ großen Vorsprung gegenüber der momentanen erneuerbaren Energieerzeugung. Dies spiegelt sich in den Stromgestehungskosten wieder, welche angeben, wie viel Kosten bei der Produktion einer Einheit Strom anfallen. Da die meisten Stromkunden günstige Tarife bevorzugen, wählen sie damit gleichzeitig auch indirekt fossile Energieträger.

Erneuerbare Energieformen		Größe	Stromgestehungskosten (Euro-Cent/kWh)	
			Niedrigster Wert	Höchster Wert
WASSERKRAFT		0,4 MW	10	13
		2,5 MW	8	11
BIOMASSE	fest	0,5 MW	19	22,5
		5 MW	13	18
		20 MW	6	8,5
	flüssig	0,01 MW	34,5	37,5
		0,2 MW	18	25
		2 MW	15	21
	gasförmig	0,15 MW	20	26
		0,5 MW	15,5	19
		1 MW	12	17,5
ABFALL (Vergasung)		0,5 MW	14	16
		1 MW	9	11
WINDENERGIE	Onshore	1 MW	6	12,5
	Offshore	3,6 MW	7,5	14
PHOTOVOLTAIK	Freifläche	2 MW	28	51
	Dachfläche	0,003 MW	30	52
		0,1 MW	22,5	51
	Fassade	0,003 MW	42,5	104
GEOTHERMIE		2 MW	11	15
(3.600 m Tiefe)		6 MW	8	12
KOHLE		modern	4,5	7
GAS		modern	3	3,5

Abb. 14: Stromgestehungskosten (REICHMUTH et al., 2006) und (QUASCHNING, 2003)

Aus oben stehender Abbildung ist klar erkennbar, dass erneuerbare Energieträger unter alleiniger Betrachtung der Stromgestehungskosten nicht konkurrenzfähig sind. Zusätzlich gibt es jedoch auch Kosten wie z.B. Auswirkungen auf das Klima, Gesundheitsschäden, Wirkung von Luftschadstoffen auf die Landwirtschaft, Materialschäden durch Luftschadstoffe oder Auswirkungen auf das Ökosystem und die Biodiversität, welche die Allgemeinheit zu tragen hat. Diese nennt man in der Ökonomie „**Externe Kosten**“ und stellen einen volkswirtschaftlichen Schaden dar. (SCHULZ et al., 2005)

Die Berechnung der externen Kosten kann in der Praxis als überaus schwieriges Unterfangen angesehen werden. Der Grund dafür liegt darin, dass die Bewertung der möglichen Auswirkungen äußerst schwierig ist. So lassen sich beispielsweise die Kosten für eine Tonne CO₂ nicht eindeutig bestimmen. Noch problematischer ist die Situation bei Kernkraftwerken. Hier stößt die Bewertung an Grenzen, da Atomunfälle eine sehr geringe Eintrittswahrscheinlichkeit haben, aber katastrophale Auswirkungen nach sich ziehen, falls sie eintreten. Des Weiteren gibt es Schäden, welche erst in Tausenden von Jahren auftreten können, beispielsweise durch die Endlagerung des radioaktiven Abfalls. Es müssten auch mögliche terroristische Aktivitäten einkalkuliert werden, da Atomkraftwerke in Zukunft vermehrt als Anschlagssziele missbraucht werden könnten. (KREWITT und SCHLOMANN, 2006)

Dadurch, dass die externen Kosten heutzutage nicht in den Stromkosten berücksichtigt werden, entsteht eine Wettbewerbsverzerrung zwischen erneuerbaren und fossilen Energieträgern. Erneuerbare Energien haben bei Weitem geringere externe Kosten und würden mit deren Einbeziehung konkurrenzfähiger sein und vermehrt zum Einsatz kommen. (QUASCHNING, 2003).

4. Alternative Kraftstoffe und Antriebe

4.1 Allgemein

Bevor auf die einzelnen Alternativmöglichkeiten von Kraftstoffen eingegangen wird, soll zunächst verdeutlicht werden, wie viel Treibstoff zurzeit in etwa auf der Straße verbraucht wird.

In unserer Gesellschaft ist Mobilität ein immer wichtigerer Faktor und aus dem Alltag nicht mehr wegzudenken. Durch den steigenden Lebensstandard und dem veränderten Freizeit- und Konsumverhalten, steigt das Verkehrsaufkommen seit Jahrzehnten stetig an. Es werden enorme Summen in die Bereitstellung von Infrastruktur für den Straßenverkehr ausgegeben, wodurch dieser natürlich an Attraktivität gewinnt. Auch hier ist eine Einbeziehung der externen Kosten nötig, um Kostenwahrheit herzustellen. (LICHTBLAU, 2004)

Der momentane flüssige Treibstoffverbrauch beträgt weltweit rund 1.500 Mio. t und wird größtenteils durch Erdöl gedeckt. Rund 85 % dieses Treibstoffverbrauchs wird von ungefähr 730 Mio. Straßenfahrzeugen und zu rund 10 % im Flugzeugverkehr verbrannt. Die restlichen 5 % werden bei sonstigen Maschinen verbraucht. (HEINLOTH, 2003) Man sieht, dass der Verkehr auf der Straße hier mit großem Abstand den ersten Platz einnimmt.

Durch diesen enormen Treibstoffverbrauch hat der Verkehr weltweit gesehen einen 20 %igen Anteil an der CO₂-Gesamtbelastung, und muss somit einen hohen Stellenwert in der CO₂-Vermeidungsstrategie einnehmen. Würde man den Primärenergieaufwand zum Bau und Instandhaltung der Verkehrsmittel inklusive der Verkehrswege hinzurechnen, so würde dieser Anteil auf bis zu 40 % ansteigen. Aber es wird nicht nur CO₂ freigesetzt, sondern auch Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid, flüssige Kohlenwasserstoffe und Stäube. (HEINLOTH, 2003)

In untenstehender Abbildung sieht man den ungefähren Anteil der jeweiligen Emissionen, welcher durch die Treibstoffverbrennung an der Gesamtbelastung am Beispiel Deutschlands anfallen.

Art der Emission	Ungefährer Anteil durch Treibstoffverbrennung an der Gesamtbelastung in D
Kohlendioxid	23 %
Schwefeldioxid	8 %
Stickoxide	73 %
Kohlenmonoxid	75 %
Flüssige Kohlenwasserstoffe	86 %
Stäube	30 %

Abb. 15: Anteil der Treibstoffverbrennung an Gesamtemissionen in Deutschland (HEINLOTH, 2003)

In Österreich sind die gefahrenen PKW-km seit den 90er Jahren des vorigen Jhdts. um fast 70 % angestiegen. Dies ist unter anderem auch auf den Anstieg der PKW-Zulassungen zurückzuführen. Denn im gleichen Zeitraum hat sich die Anzahl der PKWs in Österreich um rund 1/3 erhöht. Bei den LKW-km hat es noch drastischere Zunahmen gegeben. So sind diese im Zeitraum von 1990 - 2002 um rund 125 % angestiegen. Des Weiteren ist in dieser Periode die Zunahme des durch den Autoverkehr emittierten CO₂ innerhalb der EU um rund 20 % angestiegen. Österreich übersteigt mit einer Zunahme von 48 % den Durchschnittswert markant. (LICHTBLAU, 2004)

Laut HEINLOTH (2003) wird das weltweite Verkehrsaufkommen unter der Annahme, dass keine größeren Wirtschaftseinbrüche stattfinden, bis zum Jahr 2050 weltweit um 50 – 100 % ansteigen. Man schätzt allerdings, dass bei üblichen Verbrennungsmotoren erhebliche technische Einsparmöglichkeiten gegeben sind, ohne beim Fahren auf Komfort und Leistung verzichten zu müssen. Hauptansatzpunkte sind hier die Verwendung leichterer Materialien bei der Fahrzeugproduktion, die Reduktion des Roll- und Luftwiderstands sowie die Erhöhung des Wirkungsgrades der Motoren. Auf diesem Weg soll es möglich sein, bei 100 km einen Treibstoffverbrauch von lediglich 2 Liter Benzinäquivalent zu

erzielen. (HEINLOTH, 2003) Um eine Reduzierung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor zu erreichen, scheinen technische Einsparungsmöglichkeiten also einen enormen Effekt zu versprechen. Doch dies alleine wird zu wenig sein. Viel mehr muss zusätzlich in die Forschung von alternativen Kraftstoffen und Antrieben investiert werden.

Aufgrund des Kostenvorteils und des Potentials des organisch eingebundenen Kohlenstoffs scheint der Einsatz von biogenen Kraftstoffen in naher Zukunft am effektivsten zu sein. Solange neben der Lebensmittelproduktion noch Kapazitäten frei sind, stellt sich jedoch die Frage, ob diese freien Flächen für die Erzeugung von Strom oder doch für die Treibstoffherzeugung herangezogen werden sollen. (SPECHT et al., 2003) Die EU hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahre 2020 rund 8 % des Kraftstoffbedarfs mittels biogener Kraftstoffe abzudecken. Durchaus interessant ist, dass das Ziel, mit Erdgas einen 10 %igen Anteil zu erreichen, weitaus ambitionierter ausfällt. Wasserstoff soll im Jahre 2020 mit einem 5 %igen Anteil zum Einsatz kommen, wodurch man insgesamt auf 23 % des EU-weiten Kraftstoffbedarfs kommt, welche in Zukunft durch alternative Kraftstoffe abgedeckt werden sollen. (SPECHT et al., 2003) In untenstehender Abbildung sind die Zielquoten alternativer Kraftstoffe in der EU bis zum Jahr 2020 ersichtlich.

Jahr	2010	2015	2020
Biogene Kraftstoffe	6 %	7 %	8 %
Erdgas	2 %	5 %	10 %
Wasserstoff	0 %	2 %	5 %
Summe	8 %	14 %	23 %

Abb. 16: Zielquoten alternativer Kraftstoffe in der EU (SPECHT et al., 2003)

Im Anschluss wird auf die aussichtsreichsten Möglichkeiten zur CO₂-Einsparung im KFZ-Bereich eingegangen. Es wird keine Einzellösung für dieses CO₂-Problem geben, vielmehr muss eine sinnvolle Kombination aller Möglichkeiten angestrebt werden.

4.2 Biogene Kraftstoffe

4.2.1 Biodiesel

Zur Produktion von Biodiesel wird bevorzugt Rapsöl verwendet. Aber auch Sonnenblumen-, Soja- und Palmöl eignen sich aus technischer Sicht gesehen sehr gut für die Biodieselproduktion. Pro Hektar Raps lässt sich ein Kornertrag von rund 4 t erzielen. Das benötigte Pflanzenöl wird durch Auspressen der Früchte oder Samen gewonnen, wobei Raps bis zu 45 % Öl enthält. Nach der Pressung muss das Pflanzenöl verarbeitet werden, um die Viskosität zu verringern und gleiche Bedingungen zu erreichen, wie diese bei konventionellem Diesel vorherrschen. Diese Biodiesel-Verarbeitung wird auch Umesterung genannt. Durch diesen Vorgang erhält man Fettsäure-Methylester, auch Raps-Methylester (RME) genannt. (GLEITMANN, 2004)

Aufgrund des relativ hohen Sauerstoffgehalts und seines chemischen Aufbaus weist Biodiesel sehr gute Schmiereigenschaften auf, wodurch Verschleißteile geschont werden. Da konventioneller Diesel durch die Entschwefelung in der Raffinerie relativ niedrige Schmiereigenschaften besitzt, können diese durch die Zumischung von Biodiesel verbessert werden. Ein großes Problem der Biodieselproduktion liegt jedoch in deren Ausbeute. Um beispielsweise die gesamten Dieselfahrzeuge Deutschlands des Jahres 2004 mit Biodiesel zu versorgen, hätte man auf rund zwei Drittel der Ackerfläche Deutschlands Raps anbauen müssen. Es können jedoch nur rund 20 % der Ackerflächen für den Rapsanbau herangezogen werden, da nicht überall geeignete Bedingungen vorherrschen. Weiters kann Raps maximal alle 3 Jahre angebaut werden. Aus diesen Gründen wird geschätzt, dass im besten Fall lediglich 10 % des gesamten Dieserverbrauchs Deutschlands mit Biodiesel substituiert werden kann. (GLEITMANN, 2004)

Aus wirtschaftlicher Sicht rentiert es sich, Biodiesel für sein Fahrzeug zu verwenden, da dieser im Durchschnitt rund 10 Cent pro Liter günstiger ist als herkömmlicher Diesel. Aber auch die ökologische Bilanz in Hinblick auf den gesamten Lebensweg, also vom Anbau bis zur Nutzung, fällt positiv aus. Zwar wird für Düngemittel und Traktoren, sowie für die Umesterung viel fossile Energie benötigt, insgesamt gesehen ist jedoch aufgrund der Energie- und Klimabilanz die Produktion von Biodiesel durchaus förderenswert. So können pro Hektar Raps rund 1.500 Liter Erdöl

ersetzt bzw. pro Liter Biodiesel eine Einsparung von rund 2,2 kg CO₂e erzielt werden. Zurzeit findet der Schrot, welcher bei der Pressung anfällt, hauptsächlich als Tierfutter Verwendung. Würde man diesen für die Biogasproduktion nutzen, so könnte der positive Klimaeffekt noch weiter erhöht werden. Darüber hinaus können durch den Einsatz von Biodiesel die Gesundheitsrisiken verringert werden. So emittiert dieser um rund 30 % weniger Rußpartikel und rund 50 % weniger Kohlenstoffmonoxid als Diesel. Bei den krebserregenden Substanzen verringert sich der Anteil um rund 80 %. Schwefel wird überhaupt nicht mehr freigesetzt, dafür steigen die Stickoxid-Emissionen im Vergleich zu Diesel um beinahe 13 %. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, moderne Katalysatoren für die Abgasreinigung zu verwenden. Bei Unfällen mit Biodiesel wird der Boden nicht vergiftet, da 99 % des Biodiesels innerhalb von 28 Tagen durch Mikroorganismen abgebaut werden. Biodiesel hat den Vorteil, dass bei einer geringen Beimischung keine Umbaumaßnahmen am Fahrzeug notwendig sind. (GLEITMANN, 2004)

4.2.2 Pflanzenöl

Pflanzenöl kann auch ohne Umesterung als Treibstoff für Dieselmotoren verwendet werden. Der Nachteil liegt darin, dass hier die Viskosität nicht verringert wird, jedoch fällt die Öko- und Energiebilanz durch den Wegfall des Energieaufwandes für die Umesterung weit positiver aus. Grundsätzlich werden Raps- und Sonnenblumenöl verwendet. Rapsöl kann in jedem Verhältnis zu Diesel vermischt werden und es stockt ab -15 °C. Sonnenblumenöl ist hingegen nur bei Temperaturen über 5 °C nutzbar. Je höher also der Anteil an konventionellem Diesel, desto eher ist der Fahrzeugbetrieb bei kalten Temperaturen möglich. Es kann auch Frittieröl verwendet werden, jedoch muss es zuvor ausreichend gefiltert werden. Auch Sesamöl und Palmöl sind für eine Anwendung geeignet. Der Preis für Raps- und Sonnenblumenöl liegt zwischen 60 und 80 Cent, Frittieröl liegt bei rund 30 Cent. Sesam- und Palmöl sind zwar theoretisch einsetzbar und relativ billig, dieses muss jedoch erst nach Europa importiert werden, wodurch es zu einer zusätzlichen Freisetzung von Emissionen kommt und daher aus Umweltgründen zu vermeiden ist. (GLEITMANN, 2004)

Bereits im Jahr 2002 fuhren in Deutschland um die 5.000 Fahrzeuge mit diesem alternativen Kraftstoff. Der Einsatz von Pflanzenöl als Kraftstoff findet aufgrund der billigeren Treibstoffpreise immer mehr Zuspruch. Bereits 1912 hat Rudolf Diesel in seiner Patentschrift erwähnt, was sich nun bewahrheitet:

„Der Gebrauch von Pflanzenöl als Kraftstoff mag heute unbedeutend sein. Aber derartige Produkte können im Laufe der Zeit ebenso wichtig werden wie Petroleum und diese Kohle-Teer-Produkte von heute.“ (GLEITMANN, 2004)

Es darf jedoch nicht vergessen werden, dass für die Nutzung von Pflanzenölen als Treibstoff auch Umbauten am Fahrzeugmotor durchzuführen sind. Nötige Umbauten für den Pflanzenölbetrieb:

- Kraftstoff-Leitungen mit größerem Durchmesser
- Änderungen an der Einspritzpumpe & Einspritzdüsen
- Wechsel der Glühkerzen
- Einbau eines beheizten Filters
- Einbau eines Reservekraftstofffilters und eines Nebenstromfilters für das Motoröl (GLEITMANN, 2004)

Zusätzlich kommt es durch Verunreinigungen zu kürzeren Austauschintervallen des Kraftstofffilters. Durch die Verbrennung des Pflanzenöls riecht es nach Pommes frites, was nicht jedermanns Sache ist. In Folge der Umrüstung verändert sich weder die Motorleistung noch der Kraftstoffverbrauch. Es ändert sich lediglich die Laufruhe des Motors, denn aufgrund des relativ hohen Sauerstoffgehalts von Pflanzenöl läuft dieser etwas ruhiger. Eine derartige Umrüstung des Fahrzeugmotors kostet zwischen 2.500 und 3.500 €. (GLEITMANN, 2004)

4.2.3 Bioethanol

Umgangssprachlich wird Ethanol auch als Alkohol bzw. Spiritus bezeichnet. Ethanol ist für den Menschen ungiftig und der Hauptbestandteil alkoholischer Getränke. Bioethanol wird durch Gärung von Biomasse gewonnen. Es kann jedoch auch durch die Synthese von Wasser und Ethen mit zusätzlicher Beimengung von Schwefelsäure als Katalysator hergestellt werden. Für die Produktion von Bioethanol können prinzipiell alle Pflanzen herangezogen werden, welche Zucker oder Stärke enthalten. Wie in Abbildung 17 ersichtlich, werden hierfür in Europa bevorzugt Zuckerrüben, Körnermais, Weizen, Triticale und Roggen verwendet, wobei der höchste Hektarertrag mit Zuckerrüben erzielt wird. Hingegen wird in tropischen Regionen praktisch nur Zuckerrohr verwendet. (AGRANA, 2007)

Pflanze	Ertrag t/ha	m ³ /EtOH/ha
Zuckerrübe	61,7	6,62
Körnermais	9,2	3,52
Weizen	7,3	2,76
Triticale	5,6	2,23
Roggen	4,9	2,03

Abb. 17: Rohstoffe für die Bioethanolherstellung in Europa (AGRANA, 2007)

Bei der Verwendung von Bioethanol als Kraftstoff erfolgt die Verbrennung CO₂-neutral und trägt somit zum Klimaschutz bei. Jeder Liter dieses Kraftstoffes, der anstelle von Benzin eingesetzt wird, reduziert die Umweltbelastung um rund 2 kg CO₂e. Des Weiteren entstehen bei der Verbrennung weder Ruß noch Schwefel. Die Abluft enthält auch keine giftigen und gefährlichen Substanzen, sowie bedeutend weniger Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid. Weiters erhöht sich durch eine Beimischung von Ethanol die Oktanzahl von Benzin, wodurch die Motorleistung gesteigert wird. Wie bei Biodiesel benötigt man bei einer Beimischung in geringen Mengen keine baulichen Maßnahmen des Fahrzeugs. Es besteht jedoch die Möglichkeit, mit so genannten „Flex-Fuel Cars“, welche leicht modifizierte Benzinmotoren besitzen, in jedem Mischverhältnis zu fahren. So kann man mit diesen Fahrzeugen nur mit Benzin bzw. nur mit Bioethanol fahren. Bereits heute sind in Brasilien rund 75 % aller verkauften Fahrzeuge Flex-Fuel Cars. (AGRANA, 2007)

Weltweit wurden im Jahr 2005 rund 45 Mrd. Liter Bioethanol produziert. Rund 77 % wurden im Jahr 2006 als Kraftstoffe verwendet, die restlichen 23 % fanden in der Pharmazie, Kosmetik, bei Chemieanwendungen seine Anwendung. Der größte Ethanolproduzent ist die USA mit rund 47 % Anteil an der weltweiten Bioethanolproduktion, gefolgt von Brasilien mit einem Anteil von rund 43 %. Die EU liegt mit einem Anteil von knapp 4 % weit zurück. (AGRANA, 2007)

Die folgende Abbildung gibt einen groben Überblick über die Länderaufteilung der Bioethanol-Weltproduktion im Jahr 2006.

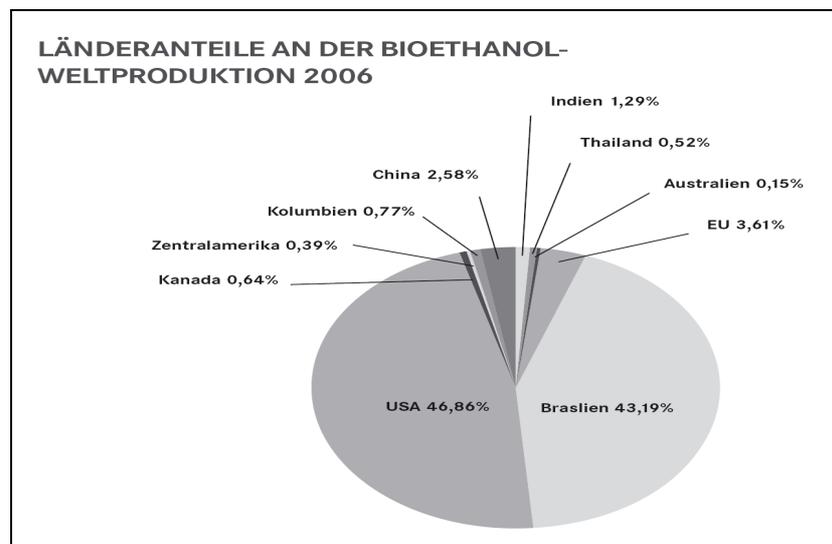


Abb. 18: Länderanteile an der Bioethanol-Weltproduktion 2006 (AGRANA, 2007)

Infolge des weltweit steigenden Bedarfs wird es nötig sein, die Produktionsmengen innerhalb der nächsten Jahre drastisch zu erhöhen. Bei der Ethanolherzeugung entstehen zusätzlich Nebenprodukte, welche vor allem als Proteinfuttermittel für die Futtermittelindustrie eingesetzt werden können. Diese Nebenprodukte erhöhen die Wirtschaftlichkeit der Ethanolherzeugung. (AGRANA, 2007)

4.2.4 Biomass to Liquid (BtL)

Bei BtL-Kraftstoffen handelt es sich um synthetische Kraftstoffe, welche aus Biomasse gewonnen werden. BtL-Kraftstoffe zählen neben Biogas zu den Biokraftstoffen der 2. Generation und werden wegen ihrer guten Eigenschaften die 1. Generation (Pflanzenöl, Biodiesel, Bioethanol) mittelfristig ablösen. Im Moment befinden sich BtL-Kraftstoffe noch nicht auf dem Markt. Die Herstellung dieser Kraftstoffe hat gegenüber den Biokraftstoffen der 1. Generation den großen Vorteil, dass nicht nur spezielle Inhaltsstoffe bzw. Pflanzenteile, sondern die gesamten

Pflanzen verwertet werden können. Das heißt, es können Energiepflanzen, Wald- oder Schnellwuchsholz, Reststoffe wie Stroh und Restholz, aber auch organische Abfälle verwendet werden. Prinzipiell können diese Kraftstoffe aus jeder Art von Biomasse erzeugt werden. Durch diese Technologie ist es laut Schätzungen möglich, einen Ertrag von bis zu 3.900 Liter BtL-Kraftstoff pro Hektar zu erzielen. (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE , 2006)

Die Herstellung von BtL-Kraftstoffen erfolgt nach dem so genannten Fischer-Tropsch-Verfahren. Zunächst muss die Biomasse zerkleinert und anschließend in den Vergasungsreaktor eingebracht werden. Darin wird die Biomasse unter Zuführung von Druck, Wärme und eines Vergasungsmittels in Synthesegas umgewandelt. Dieses Gas besteht vor allem aus Kohlenmonoxid, Wasserstoff und CO₂. In der darauf folgenden Gasaufbereitung werden Staub, CO₂ und sonstige Störstoffe abgetrennt. Nach der Gasreinigung werden aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff Kohlenwasserstoffe synthetisiert, welche zu BtL-Kraftstoff weiterverarbeitet werden. Je nach Verarbeitung kann dieser Kraftstoff ohne Anpassungsmaßnahmen am Fahrzeug sowohl für Diesel- als auch für Benzinmotoren verwendet werden, wobei entweder eine Beimischung oder eine Anwendung als Reinkraftstoff möglich ist. (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE , 2006)

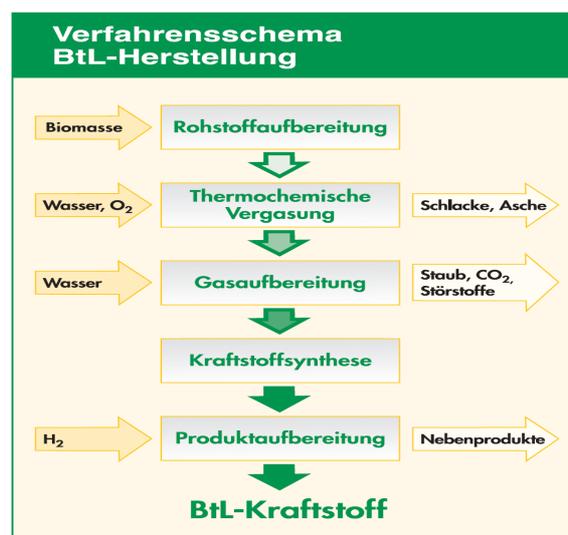


Abb. 19: Verfahren BtL-Herstellung (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, 2006)

Die Verbrennung von BtL-Kraftstoffen erfolgt CO₂-neutral. Ein weiterer großer Vorteil im Gegensatz zu Biokraftstoffen der 1. Generation liegt in der hohen Flächenausbeute. Da der Kraftstoff ohne Adaptierung der Motoren eingesetzt

werden kann, benötigt man keine neue Verteilungsinfrastruktur. Ein Nachteil liegt jedoch bei der momentan noch niedrigen Energieausbeute bei der Herstellung. Des Weiteren kann es durch die Übernutzung von Biomasse zu einem Nährstoffmangel auf den Ernteflächen kommen. (DAS LEBENS MINISTERIUM, 2006) Da es bis jetzt nur kleine BtL-Pilotanlagen gibt, ist es leider nicht möglich, Angaben zu den Kosten dieses Treibstoffes zu machen.

4.2.5 Biogas

Wie bereits erwähnt zählt Biogas zu der 2. Generation der Biokraftstoffe und wird in Zukunft an Bedeutung gewinnen. Die Verfügbarkeit von Rohstoffen für die Biogaserzeugung ist, wie in Kapitel 3.3.2 erwähnt, vielfältig und reicht von Gülle über nachwachsende Rohstoffe bis hin zu Bioabfällen. In Biogasanlagen wird Biogas mit einem Methangehalt von 50 bis 70 % erzeugt. Mithilfe eines Druckwasseradsorptionsverfahrens kann man das Gas von CO₂ und Schwefelwasserstoffen reinigen und dadurch Biogas mit einem Methangehalt von rund 97 % erhalten. Dieses gereinigte Biogas kann anschließend direkt in der Nähe der Biogasanlage über eine Tankstelle abgegeben werden. Es besteht auch die Möglichkeit, das Biogas in Erdgasleitungen einzuspeisen, wodurch es von der ländlichen Erzeugungsregion zu den Tankstellen in dichter besiedelten Regionen geleitet werden kann. Biogas kann als CO₂-neutral angesehen werden und trägt dadurch erheblich zum Klimaschutz bei. (PLANK, 2004) Die Verwendung von Biogas ist identisch mit der Verwendung von Erdgas und wird in Kapitel 4.3.2 näher beschrieben.

4.2.6 Sinnhaftigkeit von biogenen Kraftstoffen

In der letzten Zeit liest man immer öfter über Umweltschäden, welche durch den verstärkten Einsatz von Biokraftstoffen auftreten. So werden beispielsweise in Indonesien und in Südamerika große Regenwaldflächen gerodet, um Rohstoffe für Biokraftstoffe zu gewinnen. Der Regenwald ist eine riesige CO₂-Senke, d.h. er entzieht der Atmosphäre CO₂. Reduziert man die Regenwaldfläche, so wird sich auch die Senkenwirkung unweigerlich vermindern und die Biodiversität abnehmen. Bis dieser Treibstoff letztendlich in den Tanks der Fahrzeuge landet, hat er noch einen weiten, CO₂-intensiven Weg vor sich. Aus dieser Sicht kann es nur Sinn machen, Rohstoffe für Biokraftstoffe aus den umliegenden Regionen zu gewinnen, um auf diesem Weg die Transportwege kurz zu halten. Dadurch erzielt man durchaus eine positive CO₂-Bilanz und schont somit das Klima. BtL-Kraftstoffe scheinen hier regional ein weit größeres Potential zu haben, da sie wie bereits beschrieben, aus allen biogenen Rohstoffen erzeugt werden können und auch einen weit höheren Hektarertrag erzielen.

4.3 Weitere alternative Kraftstoffe

4.3.1 Flüssiggas

Flüssiggas als Kraftstoff wird im deutschsprachigen Raum auch als Autogas bezeichnet, international wird hingegen der Begriff „Liquefied Petroleum Gas“ (LPG) verwendet. Um Flüssiggas herzustellen, verwendet man Propan und Butan, wobei das Mischverhältnis je nach Umgebungstemperatur von Land zu Land unterschiedlich ausfallen kann. So wird in wärmeren Ländern ein höherer Butananteil vermischt, da die Gefahr einer Kondensation nicht gegeben ist. Aufgrund des relativ hohen Heizwerts und der niedrigeren Kosten wird grundsätzlich versucht, möglichst viel Butan beizumischen. Da Propan und Butan gasförmige Brenngase sind, werden diese mithilfe von Druck verflüssigt. Durch diese Vorgehensweise kann ihr ursprüngliches Volumen auf 1/260stel verringert werden. Auf diese Art bekommt man aus 1.000 Liter Gas rund 4 Liter Flüssiggas. Weltweit fahren rund 4 Mio. Fahrzeuge mit Flüssiggas. Davon sind in Italien rund 1,2 Mio. Fahrzeuge angemeldet, Polen folgt mit rund 470.000 Zulassungen, die Niederlande mit rund 325.000 und auf Frankreichs Straßen sind rund 220.000 Flüssiggasfahrzeuge unterwegs. (GLEITMANN, 2004)

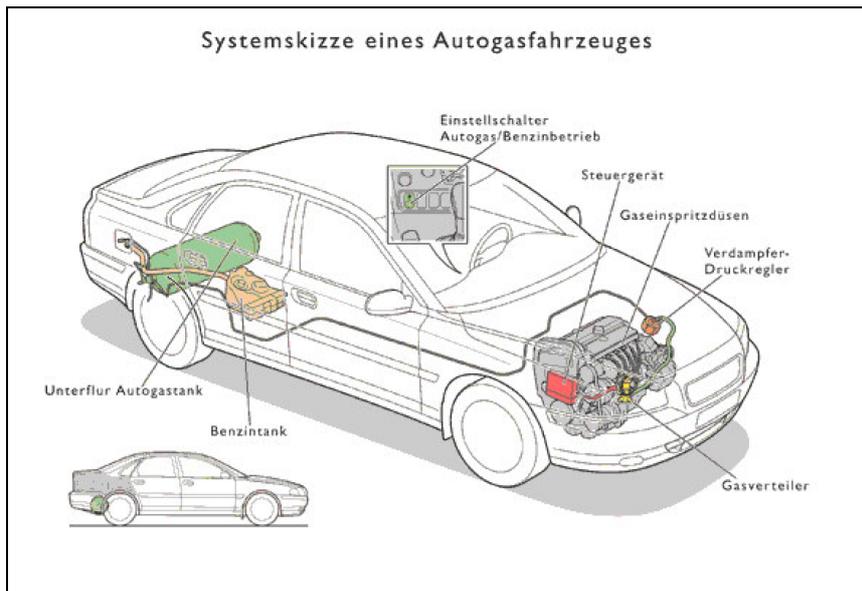


Abb. 20: Systemskizze eines Autogasfahrzeuges (DEUTSCHER VERBAND FLÜSSIGGAS, o.J.)

Bei der Verbrennung von Flüssiggas werden im Vergleich zu Benzin und Diesel wesentlich geringere Mengen an Kohlenmonoxid, Stickoxiden, Benzol, Aldehyde und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe freigesetzt. Des Weiteren wird im Vergleich zu Benzinmotoren rund 15 % weniger CO₂ ausgestoßen. Flüssiggasmotoren erzeugen im Vergleich zu Dieselmotoren um bis zu 50 % weniger Lärm. Dies ist auf die weichere Kraftstoffverbrennung zurückzuführen. Ein nachträglicher Umbau auf Flüssiggas ist in Fahrzeugen mit Ottomotor kein Problem. Schon ab 2.000 € ist es möglich, ein Fahrzeug auf Flüssiggasantrieb umzurüsten. Obwohl diese Fahrzeuge im Vergleich zu Benzinfahrzeugen einen 15 %igen höheren Verbrauch haben, amortisiert sich die Umrüstung aufgrund der niedrigen Flüssiggaspreise relativ schnell. Durch die Verwendung von Flüssiggas erhöht sich zusätzlich die Motorlebensdauer. (GLEITMANN, 2004)

4.3.2 Erdgas

Das für Fahrzeuge komprimiert verwendete Erdgas wird international als „Compressed Natural Gas“ bezeichnet (CNG). Erdgas besteht hauptsächlich aus Methan, welches von Natur aus gasförmig auftritt. Für den Fahrzeugbetrieb wird komprimiertes Gas verwendet, um den Platzbedarf zu minimieren. Mit etwa 60 Liter Erdgas lässt sich eine Strecke von rund 250 km zurücklegen. Die Treibstoffkosten liegen bei der gleichen Leistung im Vergleich zu Diesel um rund 30 % niedriger. Noch höher ist das Einsparungspotential gegenüber Benzin, denn hier sind

Einsparungen bis zu 50 % möglich. Bei der Verbrennung von Erdgas werden im Vergleich zu Benzin und Diesel wesentlich geringere Mengen an Kohlenmonoxid, Stickoxiden, Benzol, Aldehyde und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe freigesetzt. Des Weiteren wird im Vergleich zu normalem Benzin bis zu 30 % weniger CO₂ ausgestoßen. (GLEITMANN, 2004) Im Jahr 2004 waren weltweit rund 2,7 Mio. Erdgasfahrzeuge zugelassen, wovon alleine 1,7 Mio. Fahrzeuge in Argentinien und Brasilien unterwegs waren. Italien ist mit 400.000 Fahrzeugen Europas Spitzenreiter im Einsatz von Erdgas. In Deutschland waren es lediglich 20.000 Zulassungen und Österreich ist mit rund 300 Erdgasfahrzeugen so gut wie nicht präsent. (SATTLER, 2004)

Problematisch ist die momentane Tankstellendichte, welche Flüssiggas bzw. Erdgas anbieten. Da jedoch in den nächsten Jahren mit einer Erhöhung der Versorgungsdichte zu rechnen ist, wird der Einsatz von Gas als alternativer Treibstoff immer attraktiver. Es gibt auch Fahrzeuge, die einen bivalenten Betrieb ermöglichen, d.h. man kann sowohl mit konventionellem Treibstoff als auch im Gasbetrieb fahren. Dadurch kann die Einsatzmöglichkeit von Gasfahrzeugen auch in Gebieten gewährleistet werden, wo noch nicht so viele Tankstellen adaptiert wurden.

4.3.3 Wasserstoff

Wasserstoff ist unter Umgebungsbedingungen gasförmig und wird unter Umgebungsdruck erst ab einer Temperatur von -253 °C flüssig. Wasserstoff ist das am häufigsten vorkommende Element im Weltall. Das bedeutet, es gibt nahezu unbegrenzte Vorräte. Wasserstoff hat viele positive Eigenschaften, denn es ist:

- Ungiftig und nicht reizend
- Umweltneutral, nicht wassergefährdend
- Leicht flüchtig
- Im Freien nicht explosiv
- Nicht krebserregend (GLEITMANN, 2004)

Wird Wasserstoff verbrannt, so entstehen durch die Reaktion mit dem Stickstoff aus der Luft Wasserdampf und Stickstoffoxide. Da Wasserstoff weder Schwefel noch Kohlenstoff enthält, entstehen bei der Verbrennung im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen keine Schwefeloxide, keine Kohlenwasserstoffe, kein Kohlenmonoxid und kein CO₂. Wasserstoff findet vor allem bei der Herstellung von Stickstoff-Dünger,

Kunststoffen, Kunstharzen und Lösungsmitteln, als auch für die Hydrierung von Speiseölen aus Sojabohnen, Fisch, Erdnüssen oder Mais Anwendung. Mit dem heutigen Stand der Technik benötigt man für die Verflüssigung von Wasserstoff rund 1/3 der Energie, welche in Wasserstoff gespeichert ist. Es gibt jedoch bereits Versuche, wo lediglich 1/5 der gespeicherten Energie benötigt wird. Bei der Verwendung von Wasserstoff ist es wichtig, dass dieser einen hohen Reinheitsgrad aufweist, denn bereits geringe Spuren von Kohlenmonoxid können die Aktivität von Brennstoffzellenkatalysatoren beeinträchtigen. Der Preis für einen Liter Wasserstoff liegt bei ungefähr 0,50 €. Um mit Wasserstoff die gleiche Energiemenge zu erreichen wie mit einem Liter Benzin, bräuchte man die vierfache Menge an Wasserstoff. Das bedeutet, 1 Liter Benzin mit Wasserstoff zu substituieren, würde Kosten in der Höhe von rund 2 € verursachen. Grundsätzlich dient eine Brennstoffzelle als Energiewandler. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, Wasserstoff in Verbrennungsmotoren zu verwenden. (GLEITMANN, 2004)

Wasserstoffbetriebene Fahrzeuge in größeren Produktionsauflagen werden noch einige Zeit auf sich warten lassen. Es muss noch sehr viel F&E betrieben werden, denn es müssten neue Versorgungsstrukturen geschaffen und komplett neue Fahrzeug- und Speicherkonzepte entwickelt werden. Besonders die Speicherung des Wasserstoffs ist problematisch und bedarf noch einiger Aufmerksamkeit der Fahrzeughersteller. Um die F&E-Arbeiten schneller und auch billiger voranzutreiben, haben sich verschiedenste Fahrzeughersteller zusammengeschlossen, um miteinander zu kooperieren und dadurch Synergieeffekte zu erzielen. (EGGER, 2004)

4.3.4 Methanol

Bei Methanol handelt es sich um Alkohol mit der einfachsten chemischen Struktur. Methanol zeichnet sich durch einen hohen Siedepunkt, einen hohen Dampfdruck und einer sehr hohen Dichte aus, weswegen es sich besonders gut für die Kraftstoffherstellung eignet. Methanol ist jedoch giftig und kann bereits ab einer Dosis von 10 g tödlich sein. Insgesamt gesehen ist es aber nicht gefährlicher als die heutigen konventionellen Kraftstoffe. (SCHINDLER, 1997) Zur Herstellung von Methanol kann grundsätzlich jede Kohlenstoffquelle verwendet werden. Heutzutage wird Methanol jedoch hauptsächlich aus Erdgas bzw. aus der Vergasung von Kohle gewonnen. Zu früheren Zeiten wurde es aus Holz gewonnen, wodurch es auch

Holzgeist genannt wurde. Methanol wird vor allem für die Erzeugung von Formaldehyd verwendet. (GLEITMANN, 2004)

Flüssiges Methanol ist sowohl in Benzin als auch in Dieselmotoren verwendbar, und kann bis zu 15 % beigemischt werden, ohne das Fahrzeug modifizieren zu müssen. Lediglich die Materialien im Kraftstoffsystem sollten für eine derartige Anwendung geeignet sein. Mit Flex-Fuel Cars ist es möglich, den Betrieb in jedem Mischverhältnis zu gewährleisten. Aufgrund des relativ geringen Heizwerts legt man mit einem Liter Methanol nur rund die Hälfte der Strecke zurück als mit Benzin. Es lassen sich jedoch Verbesserungen bei Drehmoment und Leistung erzielen, weswegen es seit langem bei Rennmotoren eingesetzt wird. Doch auch klimatechnisch ist Methanol interessant, denn es lassen sich im reinen Betrieb im Vergleich zu herkömmlichem Benzin bis zu 30 % CO₂-Emissionen einsparen. Auch bei den Stickstoffoxidemissionen kommt es zu einer Reduzierung. Damit dieser flüssige Kraftstoff auch in Dieselmotoren verwendet werden kann, müssen aufgrund der schlechten Zündeigenschaften von Methanol Anpassungen vorgenommen werden. Dies kann entweder durch eine sehr hohe Verdichtung, einer speziellen Glühkerze oder durch die Zugabe von Zündbeschleunigern erreicht werden. (SCHINDLER, 1997)

4.4 Alternative Antriebe

4.4.1 Hybridantrieb

Wie der Begriff Hybridfahrzeug schon erahnen lässt, besteht ein solches Fahrzeug aus zwei unterschiedlichen Antriebsarten, wobei in der Regel elektrische Antriebe mit Verbrennungsmotoren kombiniert werden. Erstaunlicherweise waren am Anfang des 20. Jhdts. in den USA mehr Elektrofahrzeuge als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren zugelassen. Bereits bei der Weltausstellung in Paris im Jahr 1900 stellte Ferdinand Porsche ein Fahrzeug mit einer Kombination aus Elektro- und Verbrennungsmotorantrieb vor. Im Laufe der Jahre setzte sich jedoch der einfache Verbrennungsmotor durch, und so wurden fast nur Otto- und Dieselmotoren eingesetzt. In den 70er Jahren des vorigen Jhdts., also zur Zeit der Energiekrise, wurde wieder vermehrt in die F&E von Hybridantrieben investiert. Die Vorteile eines Hybridantriebs liegen auf der Hand. So kann die Erdölabhängigkeit reduziert werden und zusätzlich die Umwelt durch die Verringerung von Kohlenmonoxid, CO₂,

Stickoxiden und unverbrannten Kohlenwasserstoffen entlastet werden. (INSTITUT FÜR KRAFTFAHRWESEN AACHEN, 1998) Vorteile durch die Kombination von Verbrennungsmotor und Elektromaschine:

- Hohe Reichweiten
- Bremsenergie kann zurückgewonnen werden
- Reduktion der Emissionen

(INSTITUT FÜR KRAFTFAHRWESEN AACHEN, 1998)

Das Modell Prius von Toyota war das erste Hybridfahrzeug, welches serienmäßig produziert wurde. Seit 1997 verkaufte Toyota eine Million Stück dieses Typs. (HYBRID-INFO.DE, 2007) Der Prius hat einen Verbrauch von 4,3 Liter auf hundert Kilometer und kostet rund 28.000 €. (TOYOTA, o.J.) Momentan ist Japan noch ungeschlagener Vorreiter auf dem Hybridfahrzeug-Markt, doch schön langsam versuchen immer mehr Fahrzeughersteller in der Hybridsparte Fuß zu fassen.

Wie in Abbildung 21 ersichtlich, besitzt ein Hybridfahrzeug einen Elektro- und Verbrennungsmotor, einen Generator und ein Steuersystem, welches automatisch regelt, welche Antriebsart verwendet werden soll. Im Stadtverkehr kommt hauptsächlich der Elektromotor zum Einsatz, wodurch das Fahrzeug geräuscharm und nahezu schadstofffrei fährt. Hier wird sehr viel Kraftstoff eingespart, denn durch das vermehrte Anfahren und Abbremsen ist der Verbrauch bei konventionellen Antrieben besonders hoch. Der Verbrennungsmotor findet hingegen bei langen Strecken Verwendung. Der Elektromotor wird über eine Batterie gespeist, welche nicht zusätzlich aufgeladen werden muss. Sie bezieht die Energie von Abbremsmanövern und Gefällen, welche ansonsten zur Gänze verloren gehen würde. Trotz des höheren Gewichtes eines Hybridfahrzeugs ist es möglich, den Kraftstoffverbrauch und die Emissionen um bis zu 30 % zu reduzieren. Durch dieses hohe Einsparungspotential amortisieren sich die höheren Anschaffungskosten innerhalb von wenigen Jahren. (HYBRID-INFO.DE, 2007)

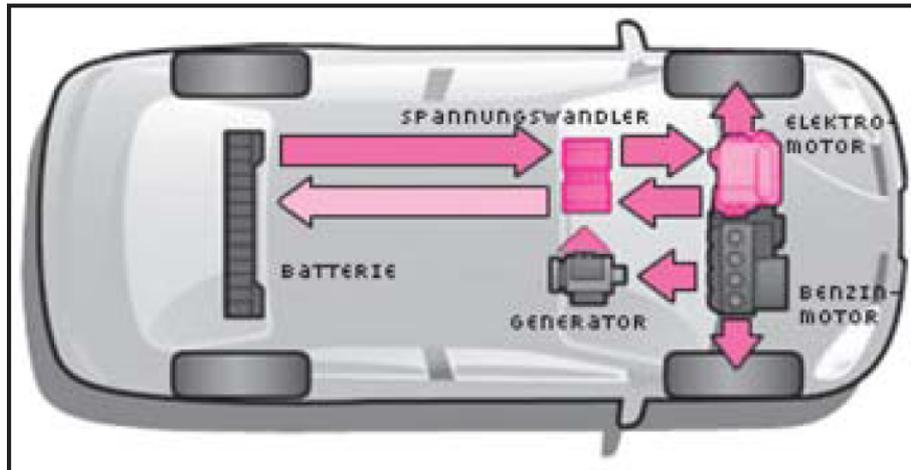


Abb. 21: Skizze Hybridfahrzeug (POLLAK, 2004)

4.4.2 Brennstoffzellenantrieb

Die Brennstoffzelle wurde bereits im Jahre 1839 in Wales vom Physiker Sir William Robert Grove erfunden. Er entdeckte damals, dass sich der Prozess der Elektrolyse von Wasser zu Wasserstoff und Sauerstoff auch umkehren lässt. (DIEBRENNSTOFFZELLE.DE, o.J.) Mithilfe von Brennstoffzellen ist es möglich, die in Brennstoffen chemisch gebundene Energie direkt in elektrische Energie umzuwandeln. Der erste nennenswerte Einsatz von Brennstoffzellen fand bei den so genannten Gemini- und Apollo-Raumfahrtprojekten seit 1963 statt. Aber auch in U-Booten finden sie Anwendung. (SCHINDLER, 1997)

Brennstoffzellen gibt es als Niedertemperatur-Systeme und als Hochtemperatur-Zellen. Für eine Anwendung im Fahrzeug kommen im Moment nur die Niedertemperatur-Systeme in Frage, da die anderen Systeme eine zu hohe Arbeitstemperatur aufweisen. Zur Umsetzung an den Elektroden für Niedrigtemperatur-Systeme kommen derzeit vor allem Wasserstoff und Sauerstoff zum Einsatz. Es wird momentan hauptsächlich an 2 Niedrigtemperatur-Zellen gearbeitet:

- Phosphorsaure Brennstoffzelle (PAFC): Hier dient eine hochkonzentrierte Phosphorsäure als Elektrolyt. Die Betriebstemperatur liegt bei rund 200 °C.
- Polymermembran Brennstoffzelle (PEMFC): Hier dienen ionenleitende Kunststoffmembrane als Elektrolyt. Die Betriebstemperatur liegt bei rund 100 °C. (SCHINDLER, 1997)

Brennstoffzellen haben im Vergleich zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren den Vorteil, dass sie bei der Gewinnung von Energie kein CO₂ oder sonstige Schadstoffe freisetzen. Wasser ist das einzige Nebenprodukt, das bei dieser elektrochemischen Reaktion übrig bleibt. (INITIATIVE BRENNSTOFFZELLE, 2007) Wenn man nun Wasserstoff als Brennstoff verwendet, muss man jedoch bedenken, dass dessen Herstellung relativ viel Energie benötigt. Dieses Problem kann man mit der Verwendung von erneuerbaren Energieträgern lösen. Weiters ist es nötig, Größe und Gewicht des Brennstoffzellen-Systems an Kraftfahrzeuge anzupassen. DaimlerChrysler hat es in der fünften Generation ihres NECAR (New Electric Car) geschafft, das Brennstoffzellen-System zur Gänze im Unterboden des Fahrzeugs unterzubringen. Die FahrerInnen müssen also nicht auf Stauraum verzichten. Dieses Fahrzeug besitzt bereits 75 kW und erreicht eine Spitzengeschwindigkeit von 150 km/h. (DIEBRENNSTOFFZELLE.DE, o.J.)



Abb. 22: NECAR 5 (DIEBRENNSTOFFZELLE.DE, o.J.)

Der Betrieb von Brennstoffzellen-Fahrzeugen ist in Bezug auf deren Leistung zur Zeit noch relativ teuer. Es ist damit zu rechnen, dass die Marktreife von derart betriebenen Fahrzeugen noch eine Zeit auf sich warten lässt. Die Einführung von Brennstoffzellen wird aller Voraussicht nach mit stationären Anlagen ihren Anfang finden, anschließend zu Lokomotiven bzw. Triebwagen übergehen und erst im Anschluss den Einzug in den Automobilbereich finden. (SCHINDLER, 1997)

Im Jahre 1999 wurde das „California Fuel Cell Partnership“ gegründet, wobei sich verschiedenste Institutionen zusammenschlossen, um die Brennstoffzellen-Technologie weiter voranzutreiben. Zu den Mitgliedern zählen unter anderem DaimlerChrysler, Ford, General Motors, Honda, Toyota, BP, ExxonMobil, Shell, die California Energy Commission, das US Department of Energy sowie das US Department of Transportation. (DIEBRENNSTOFFZELLE.DE, o.J.)

5. Energieeffizienz

5.1 Allgemein

Wie Peter Henricke, Präsident des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie meint, sind erneuerbare Energien und Energieeffizienz aufeinander angewiesen, wenn sie erfolgreich sein sollen und eine nachhaltige Energieversorgung sichergestellt werden soll. (PETERMANN, 2006) Im Verkehrssektor spielt Energieeffizienz ebenfalls eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Unter nachhaltiger Energieversorgung wird eine Energieversorgung verstanden, welche Bedürfnisse der Menschen nach Energiedienstleistungen zu angemessenen Preisen befriedigt, ohne dass Ressourcen übernutzt und Treibhausgas- sowie Schadstoffemissionen freigesetzt werden, welche die Umwelt nicht verarbeiten kann. Um diese Herausforderung zu bewältigen ist es notwendig, den Energieverbrauch durch Effizienzstrategien in einem Ausmaß zu reduzieren, dass dieser durch erneuerbare Energieträger abgedeckt werden kann. (ROGALL, 2004)

5.2 Maßnahmen

Weltweit wird mit einer bestimmten Menge Energie völlig unterschiedlicher materieller Wohlstand geschaffen. Beispielsweise erzeugt Japan bei einem etwa gleichen Pro-Kopf-Energieeinsatz das 7fache Pro-Kopf-Einkommen als Südkorea. Eine Erhöhung der Energieproduktivität oder -effizienz bedeutet, dass man für die Erzeugung einer bestimmten Menge von Gütern im Laufe der Zeit weniger Energie benötigt. Wenn man die Energieproduktivität vergleicht, ist die der USA um 50 % unter jener Deutschlands und um 64 % unter der Japans. Dies dürfte neben den kulturellen Aspekten nicht zuletzt auf die niedrigen Energiepreise in den USA zurückzuführen sein. Die Energieeffizienz konnte z.B. in Deutschland in den vergangenen Jahrzehnten jährlich um etwa 1 % gesteigert werden. Dies reicht aber bei Weitem nicht aus, um eine zukunftsfähige Energieversorgung sicherzustellen. Im Folgenden werden Beispiele angeführt, welche zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen könnten. (ROGALL, 2004)

5.2.1 Wirkungsgraderhöhung bei der Stromerzeugung

In den 60er Jahren des vorigen Jhdts. lagen die Wirkungsgrade der Stromerzeugung bei Kohle- und Gasgroßkraftwerken bei etwa 25 bis 30 %. Bis heute konnten die Wirkungsgrade bei Kohlekraftwerken auf 42 bis 47 % und bei gasgefeuerten Kombi-Kraftwerken sogar auf 58 % gesteigert werden. Eine weitere Steigerung würde sich ergeben, wenn man statt der Großkraftwerke dezentrale Kraftwerke errichten und diese mit Kraftwärmekoppelung (KWK) ausstatten würde. Bei KWK-Anlagen wird auch die Abwärme genutzt. Diese wird über Fernwärmeleitungen zur Beheizung oder sonstigem Wärmebedarf verwendet. Besonders günstige Gebiete sind jene, in denen Wohnungen und Gewerbe mit Wärme versorgt werden können, da sich so der Wärmeverbrauch besser aufteilt. KWK birgt ein großes Potential in sich, da immer noch 28 % des Primärenergieverbrauches im Umwandlungssektor (größtenteils als ungenutzte Abwärme) verloren gehen. Durch die voranschreitende Technik und die Verwendung von KWK-Anlagen könnten somit Wirkungsgrade bis zu 90 % erzielt werden. In Deutschland werden zurzeit 10 % des Stromverbrauches durch KWK-Anlagen produziert. Man schätzt, dass sich die Stromproduktion aus KWK-Anlagen bis 2020 verdoppeln ließe, da wie in den meisten europäischen Ländern viele Kraftwerke erneuert werden müssen. Obwohl diese Anlagen nicht vollständig nachhaltig sind kann doch gesagt werden, dass durch diese Technik die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern abnimmt und der Schadstoffausstoß deutlich verringert wird. Zu bevorzugen sind Energieträger wie Gas, Diesel oder Biogas. Am schlechtesten schneiden Stein- bzw. Braunkohle ab, da diese um rund 30 bis 40 % mehr CO₂e-Schadstoffe ausstoßen. (ROGALL, 2004)

5.2.2 Raumwärme, Warmwasser und Klimatisierung

Die Beheizung hat in vielen Ländern einen hohen Anteil am Energieverbrauch. Beispielsweise werden in Deutschland rund 31 % des Energieverbrauches für die Beheizung von Gebäuden verwendet. Vor allem ältere Bauten (bis 1980) benötigen sehr viel Energie. Dies kann bis zu 400 kWh/m²/a betragen. Neubauten, die den Niedrigenergiehausstandard erfüllen, benötigen unter 50 kWh/m²/a, Passivhäuser benötigen sogar unter 15 kWh/m²/a und Plusenergiehäuser erzeugen über ein gesamtes Jahr gesehen mehr Energie als benötigt wird. Überschüssige Energie wird meist in Form von Strom in ein öffentliches Netz eingespeist. Dies ermöglichen Photovoltaikanlagen, welche am Dach montiert werden. In vielen Ländern sind

Wohnbauförderungen und sonstige Zuschüsse bei Neubauten an die Errichtung von Häusern mit geringem Energieverbrauch gebunden. (ROGALL, 2004)

Bei Sanierungen ist es wirtschaftlich und technisch schwer möglich, einen Passivhausstandard zu erreichen. Hier scheint es sinnvoll, durch Sanierungsmaßnahmen einen Heizenergieverbrauch unter 50 kWh/m²/a zu erreichen. Derzeit werden in Deutschland durchschnittlich rund 195 kWh/m²/a an Heizenergie verbraucht. Durch den Neubau von Passivhäusern und der Sanierung von Altbeständen besteht beim Heizenergiebedarf ein technisches Einsparungspotential von 70 bis 77 %. (ROGALL, 2004)

Zusätzlich können durch den Einbau von neuen Heizungsanlagen erhebliche Mengen an Energie eingespart werden, da neue Anlagen wesentlich weniger Brennstoffe benötigen, um die gleiche Raumtemperatur zu erzeugen. Insbesondere ist es sinnvoll, elektrische Geräte zur Raumwärme- und Warmwassererzeugung sowie zum Kochen durch erneuerbare Energieträger, Fernwärme oder Gas zu ersetzen. Energieeinsparungen von 50 bis 70 % können durch Wärmeschutzverglasung und neue Lüftungskonzepte erzielt werden. Neue Lüftungsanlagen sind mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet. Dadurch wird die Zuluft durch die Abluft erwärmt bzw. gekühlt. Somit muss die Zuluft im Winter nur geringfügig erwärmt und im Sommer gekühlt werden. (ROGALL, 2004) Da der Trend dahin geht, immer mehr Glasflächen bei Gebäuden zu verwenden, steigt der Bedarf an Kühlungsenergie ständig. Bei Bürogebäuden mit einem hohen Anteil an Glasfassaden kann es vorkommen, dass der Kühl- sogar den Heizenergiebedarf übertrifft. Aus rein energietechnischer Sicht sind solche Bauwerke absolut ineffizient. Da die weltweite Durchschnittstemperatur voraussichtlich steigen wird, ist gleichzeitig auch mit einer Erhöhung des Kühlbedarfs zu rechnen. Für die Kühlung können Anlagen verwendet werden, welche mit Wärme angetrieben werden. Diese Wärme kann aus der Abwärme von Kraftwerken oder von Sonnenkollektoren bezogen werden. Dies hat den Vorteil, dass die ausreichend zur Verfügung stehende Wärmeenergie im Sommer auch für die Kühlung genutzt werden kann. (HENNING, 2005) Alle diese Maßnahmen haben den Vorteil, dass sich die Investitionen durch den geringeren Heiz- bzw. Kühlenergiebedarf meist schon in wenigen Jahren amortisieren. (ROGALL, 2004)

5.2.3 Elektrogeräte im Haushaltssektor

Bei der Herstellung von Haushaltsgeräten werden schon seit Längerem immer effizientere Geräte produziert. Ständig steigende Elektrogerätebestände und die immer häufiger verwendete Stand-by-Funktion bei den Geräten überkompensieren aber diese Energieeinsparungen. Sehr oft werden Elektrogeräte solange verwendet, bis diese nicht mehr funktionstüchtig sind, obwohl sie gegen Ende ihrer Lebensdauer meist sehr viel mehr Energie verbrauchen als vergleichbare Neugeräte. Durch den Austausch von alten Geräten mit langen Einsatzzeiten wie beispielsweise bei Kühl- und Gefriergeräten oder der Beleuchtung, könnten bis zu 70 % der Energie eingespart werden. Wie Abbildung 23 an einem Zweipersonenhaushalt veranschaulicht, wäre auch in vielen anderen Bereichen ein erhebliches Energieeinsparungspotential vorhanden.

Gerät	Altgerät in kWh (Anteil)	Bestgerät in kWh	Jährliche Einsparung
Gefriergerät	550 (19 %)	171	69 %
Kühlschrank	370 (13 %)	122	67 %
Spülmaschine	440 (15 %)	238	46 %
E-Herd	440 (15 %)	300	32 %
Heizungspumpe	290 (10 %)	125	57 %
Beleuchtung	270 (9 %)	81	70 %
Waschmaschine	220 (8 %)	112	49 %
Fernseher	170 (6 %)	104	39 %
Kleingeräte	150 (5 %)	90	40 %
SUMME	2.900 (100 %)	1.343	54 %

Abb. 23: Jährliches Energieeinsparungspotential eines Zweipersonenhaushaltes (ROGALL, 2004)

Ein weiteres Einsparungspotential bietet die Ausstattung mit Solarzellen zum Stand-by-Betrieb oder die Installierung von automatischen Abschaltfunktionen der Geräte. Oftmals wird der Energieverbrauch bei den Geräten nicht in die Kaufentscheidung miteinbezogen, wodurch ohne zusätzliche Anreizsysteme keine deutliche Energieeinsparung erzielt werden kann. (ROGALL, 2004)

5.2.4 Mobilität

Unter Mobilität versteht man die Fähigkeit, an jene Orte zu gelangen, an denen gewünschte Aktivitäten durchgeführt werden können. Obwohl Ziele bei kurzen Distanzen oft schneller zu Fuß oder mit öffentlichen Verkehrsmitteln erreichbar sind, wird dennoch häufig das Auto bevorzugt. In den Industriestaaten kommt es oft zur Gleichsetzung von Mobilität und Automobilität. Natürlich bietet ein Auto viele Vorteile und ist für manche Menschen unerlässlich, aber für viele ist ein Auto ein Zeichen der Unabhängigkeit und es wird häufig als Statussymbol angesehen. Im Schwertransport bietet der LKW gegenüber der Bahn einige Vorteile. Vor allem durch die zeitlich flexible, punktgenaue Zustellung und den günstigeren Transportkosten. Aus diesem Grund werden oftmals Halbfertigerzeugnisse durch mehrere Länder transportiert, bis ein fertiges Produkt entsteht. Ein Grund für den günstigeren Transport liegt darin, dass der Straßenverkehr nicht die kompletten externen Kosten tragen muss. Durch all diese Vorteile hat sich eine dramatische Entwicklung ergeben. Der KFZ-Verkehr ist heute einer der größten Energieverbraucher und einer von wenigen Sektoren, welcher einen Zuwachs beim CO₂-Ausstoß verzeichnet. (ROGALL, 2004)

Beim Gütertransport wäre es möglich, durch computergestützte Logistikkonzepte die Auslastung der LKWs zu erhöhen und verschiedene Transportkombinationen mit Bahn und Schiff miteinzubeziehen. Dies ist ökologisch sehr sinnvoll, da der LKW-Transport besonders viel Energie je transportierter Tonne und Kilometer (tkm) benötigt. Vergleicht man die verschiedenen Transportmöglichkeiten so sieht man, dass beim LKW 2580 KJ/tkm, bei der Bahn 670 KJ/tkm und bei der Binnenschifffahrt 470 KJ/tkm benötigt werden. Es zeigt sich also, dass eine Forcierung von Bahn- und Schifffahrt eine gute Möglichkeit ist, um Energie einzusparen. (ROGALL, 2004)

Wie in Kapitel 4 erwähnt wurde, kann durch Maßnahmen wie Leichtbauweise, Erhöhung der Wirkungsgrade von Motoren, Verringerung des Luftwiderstandes und die Verwendung von Hybrid-Technologie ein beträchtlicher Teil vom CO₂-Ausstoß eingespart werden. Es darf aber nicht übersehen werden, dass das Verkehrsaufkommen weltweit ständig steigt und dadurch der eingesparte CO₂-Ausstoß überkompensiert wird. Deswegen müssen sich auch die Lebensgewohnheiten der Menschen ändern, um den globalen Energiebedarf und somit den CO₂-Ausstoß zu verringern. Eine gute Maßnahme ist die vermehrte Nutzung des so genannten Umweltverbandes, da so für den Personentransport

weniger Energie benötigt wird. Zum Umweltverband zählen die Bahn, der öffentliche Personenverkehr sowie der Fahrrad- und Fußgängerverkehr. Falls eine Nutzung des Umweltverbandes nicht möglich ist, sollte man Fahrgemeinschaften bilden, um Transportenergie zu verringern oder Fahrzeuge gemeinschaftlich anschaffen, damit durch weniger Produktion der anfallende Energieverbrauch gering gehalten werden kann. Bei der Fahrt selbst sollte vorausschauend und nicht mit der höchstmöglichen Geschwindigkeit gefahren werden, da sich der Energieverbrauch überproportional zur Geschwindigkeit erhöht. So benötigt ein Fahrzeug bei einer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit von 80 auf 160 km/h bis zum Vierfachen des Treibstoffes. (ROGALL, 2004)

Damit sich die Fortbewegungsmittel des Umweltverbandes einer vermehrten Benützung erfreuen, ist eine Angebots- und Infrastrukturverbesserung der öffentlichen Verkehrsmittel notwendig. Im Gegenzug ist danach zu trachten, dass der Verkehrssektor die vollen externen Kosten trägt und somit Kostenwahrheit geschaffen wird. (ROGALL, 2004)

5.2.5 Industrie, Gewerbe und Handel

In den Industriestaaten benötigt die Industrie rund 1/4 der Gesamtenergie und ist somit neben der Beheizung und dem Verkehr der dritte große Energieverbrauchssektor. Die Industrie reagiert auf steigende Energiepreise schneller als Privathaushalte und nützt somit das Energieeinsparungspotential schneller aus. Im Vergleich zu Privathaushalten gehen Wirtschaftsbetriebe aber von einer viel kürzeren Amortisationszeit aus. So investieren Haushalte oftmals in Energiesparmaßnahmen, deren Amortisation bis zu 15 Jahre dauert. Unternehmen hingegen fordern eine Amortisationszeit von maximal 3 Jahren, um eine Investition durchzuführen. Dadurch werden in der Praxis sehr viele Energiesparmaßnahmen, welche volkswirtschaftlich sinnvoll wären, nicht durchgeführt. Dennoch schätzen ExpertInnen, dass beispielsweise in Deutschland bis 2050 die CO₂-Emissionen um 55 % gegenüber 1990 zurückgehen könnten. (ROGALL, 2004) Besonderes Energieeinsparungspotential ergibt sich bei der Abwärme, da bei vielen industriellen Prozessen (z.B. Schmelzen von Metall) hohe Temperaturen notwendig sind. Diese Abwärme könnte zur Stromerzeugung oder Wärmenutzung für den Eigenverbrauch verwendet werden. Es besteht aber auch die Möglichkeit, diese Energie in ein öffentliches Netz einzuspeisen. (UMWELTBUNDESAMT, o.J.)

5.2.6 Wiederverwertung von Materialien

Bei der Wiederverwertung von Materialien ist ein wesentlich geringerer Energieaufwand notwendig als bei der Verwendung von Primärmaterialien. So ist zur Erzeugung von einer Tonne Aluminium aus Primärmaterialien ein Energieeinsatz von 170 bis 270 GJ notwendig. Verwendet man hingegen recyceltes Aluminium, so benötigt man nur 16 GJ, um eine Tonne Aluminium zu erzeugen. Zusätzliche Einsparungen können durch die Substitution von energieintensiven Materialien durch weniger intensive erzielt werden. Wenn man anstatt des energieintensiven Aluminiums weniger energieintensiven Stahl verwendet, kann eine große Menge an Energie eingespart werden. Stahl benötigt bei der Erzeugung aus Primärmaterialien nur ein 1/10 von der Aluminiumerzeugung aus Primärmaterialien oder anders gesagt, genau soviel Energie wie die Aluminiumerzeugung mittels Sekundärmaterialien. Wenn man Stahl aus Alteisen erzeugt, benötigt man für die Erzeugung von einer Tonne nur 5 GJ. Also 1/3 vom Aluminium aus Sekundärmaterialien oder 1/40 von Aluminium aus Primärmaterialien. (ROGALL, 2004)

Um die Wiederverwertung von Materialien zu gewährleisten, muss schon bei der Erzeugung eines Produkts eine mögliche Sekundärrohstoffnutzung berücksichtigt werden. Sollten Produkte nicht mehr benötigt werden und noch in gutem Zustand sein, so können diese zweit- oder mehrfachgenutzt werden. Ermöglicht wird dies z.B. durch Langlebigkeit, modularen Aufbau und Demontagefreundlichkeit, Reparaturfreundlichkeit und zeitloses Design. Um solche Produkte zu vermarkten, eignen sich Second-Hand-Shops oder Tauschbörsen, welche auch im Internet eine immer größere Verbreitung finden. (HENNICKE und SEIFRIED, 1996) Das Einsparungspotential in diesem Bereich scheint sehr groß zu sein, wenn die richtigen Materialien verwendet werden.

5.2.7 Vermeidung

In diesem Kapitel wurde bis jetzt immer davon ausgegangen, dass man mit weniger Primärenergie die gleiche Dienstleistung erhält. Nun sollen Maßnahmen aufgezeigt werden, bei denen durch eine Lebensstiländerung der Energieverbrauch gesenkt werden kann:

- Ein wichtiger Ansatz dürfte ein Verzicht auf die Ausweitung von überflüssigen Energiedienstleistungen durch immer neue Produkte wie elektrische Dosenöffner oder Pfeffermühlen sein. Dadurch würde Energie, die durch Effizienzsteigerungen eingespart wurde, nicht mit zusätzlichen Geräten wieder verbraucht.
- Veränderung der Freizeitaktivitäten: Dazu zählt die Reduzierung von energieintensiven Hobbys wie Motorboot- oder Rennwagenfahren und Förderung von energieextensiven Hobbys wie Segeln, Radfahren, Joggen oder Klettern. Eine Änderung des Urlaubs zu standortnäheren Destinationen, welche mit der Bahn anstatt mit dem Flugzeug erreicht werden können, bringen ebenfalls erhebliche CO₂-Einsparungen.
- Verändertes Konsumverhalten: Hier könnte durch den Verzicht auf überflüssige Produkte wie Wäschetrockner, die Verwendung von langlebigen Produkten oder das Ausschalten von Elektrogeräten mittels eines Mehrfachsteckers anstatt der Verwendung der Stand-by-Funktion Energie eingespart werden. Aber auch der Verzicht auf die überdurchschnittliche Ausweitung der Wohnfläche (Durchschnitt Deutschland 37,2 m²/Kopf) kann einen erheblichen Beitrag zur Energieeinsparung leisten.
- Nahrungsmittelbereich: Durch den Verzicht auf frisches Gemüse im Winter, welches in beheizten Gewächshäusern angebaut wird, und weniger Fleischkonsum kann sehr viel Energie eingespart werden. Beim beheizten Gewächshausgemüse benötigt 1 Kalorie Output 575 Kalorie Energieinput, 30 Kalorie Energieinput bei Rindfleisch, aber nur 0,1 bis 0,5 Kalorie Energieinput bei Kartoffel, Getreide oder Feldgemüse.

- Transport: Produkte sollten möglichst von regionalen ErzeugerInnen gekauft werden, da so weniger Energie für den Transport benötigt wird und weniger Treibhausgase ausgestoßen werden. Es sollte ebenfalls versucht werden, dass sich die Bereiche Wohnen, Arbeit und Freizeit im Nahebereich befinden, um weniger Entfernungen zurücklegen zu müssen. Dies spart nebenbei Zeit, welche für andere Aktivitäten verwendet werden kann. (ROGALL, 2004)

Obwohl bei diesen Ansätzen nicht der Verzicht auf Genuss angestrebt wird, scheint es doch oftmals schwierig zu sein, eine Akzeptanz bei der Bevölkerung zu finden, da sie dadurch ihre Lebensgewohnheiten ändern müsste. Es kann gesagt werden, dass durch sinnvolle Investitionen in eine Effizienzstrategie die vorhandenen Ressourcen geschont, sowie der Primärenergieverbrauch und die Kosten gesenkt werden. Weiters nimmt durch Effizienzsteigerung die Umweltverträglichkeit zu und die Abhängigkeit von Energieimporten ab. Nach bisherigen Berechnungen ist in den meisten Bereichen eine technische Effizienzsteigerung von 50 % und mehr möglich. (ROGALL, 2004)

5.3 Instrumente für die Umsetzung

Die erwähnten Maßnahmen sind meist ökonomisch sinnvoll, sie werden aber ohne Anreizsysteme in der Praxis nur verhalten umgesetzt. Für eine vermehrte Umsetzung bedarf es Instrumenten, damit die Effizienzverbesserungen auch durchgeführt werden. Im Folgenden werden einige Instrumente angeführt, welche dabei helfen können, diese Maßnahmen zu implementieren.

5.3.1 Least-Cost-Planning (LCP)

Beim LCP übernehmen die Energieversorgenden die Verpflichtung, alle Möglichkeiten der Energieeinsparung auszuschöpfen, solange diese günstiger sind als die zusätzliche Bereitstellung von Kraftwerksleistungen. Dazu bewerten diese die Möglichkeiten der Energieeinsparung und des Kraftwerksausbaues bzw. der Energiezukäufe nach ökonomischen Kriterien. Somit sollte jene Kombination aus Energie- und Einsparungskosten gefunden werden, welche die geringsten Gesamtkosten (least cost) für die Bedarfsdeckung mit Energiedienstleistungen für KundInnen aufweist.

Daraus folgt, dass diese nicht auf Energiedienstleistungen verzichten müssen, sondern dass das Versorgungsunternehmen prüft, welche Möglichkeiten es gibt, um diese Leistungen günstig anzubieten. Somit ergibt sich, dass all jene Energieeinsparungen realisiert werden, welche unter den Kosten der Bereitstellung von Energie liegen. (LEHMANN und REETZ, 1995)

Ein wichtiges Kriterium bei der Kalkulation ist die Einbeziehung der Kosten, welche durch die Energienutzung verursacht werden. Dazu gibt es zwei Möglichkeiten der Wahl eines Ansatzes. Erstens kann der betriebswirtschaftliche Ansatz gewählt werden. Bei diesem werden die externen Kosten nicht berücksichtigt. Dadurch wird zwar das optimale Betriebsergebnis geschaffen, die volkswirtschaftlichen Auswirkungen bleiben aber außer Acht. Beim volkswirtschaftlichen Ansatz wird versucht, auch die externen Kosten zu internalisieren. Somit sollte ein volkswirtschaftliches Optimum geschaffen werden. Das Problem der Feststellung der externen Kosten wurde in dieser Arbeit bereits beschrieben und wird an dieser Stelle nicht mehr näher behandelt. Die Gefahr des betriebswirtschaftlichen Ansatzes liegt darin, dass zwar kurzfristig ein optimales Betriebsergebnis für das Energieversorgungsunternehmen erzielt wird, aber langfristig die Auswirkungen auf das Klima nicht im vollen Ausmaß berücksichtigt werden. (LEHMANN und REETZ, 1995)

Durch LCP ändert sich die Rolle der Energieversorgenden grundlegend. Bisher verdienten diese nur mit dem Mehrverkauf von Energie. Bei der Anwendung des LCP-Konzepts verdienen sie nun auch bei der Einsparung von Energie, bei den so genannten „NEGAWatts“, da ohne Ausweitung der Kraftwerkskapazitäten zusätzliche Dienstleistungen angeboten werden können. Somit werden die Energieversorgenden zu Energiedienstleistungsunternehmen. (HENNICKE und SEIFRIED, 2006)

Das Energiedienstleistungsunternehmen beginnt mit der Ressourcenplanung auf der Angebotsseite. Hier können zusätzliche Einkünfte und Energieeinsparungen durch Erhöhung der Wirkungsgrade von Kraftwerken, KWK und Reduzierung von Transport- und Verteilungsverlusten erzielt werden. Der zweite Teil betrifft die Nachfrageseite. Hier werden Dienstleistungen wie Beratung von KundInnen, als auch die Unterstützung von Energieeinsparungsmaßnahmen angeboten. KundInnen

erhalten eine kostenlose Beratung und es werden ihnen Zuschüsse zu energiesparenden Maßnahmen gewährt, bzw. wird ihnen bei der Suche von zinsgünstigen Krediten geholfen. Betriebswirtschaftlich gesehen sind Beratung und Kauf von Energieeinsparungen für das Energiedienstleistungsunternehmen nicht sinnvoll. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Dienstleistungen in die Energiepreise einzukalkulieren und an die KundInnen weiterzugeben. (LEHMANN und REETZ, 1995) Es muss aber gewährleistet bleiben, dass KundInnen, welche an LCP teilnehmen, für die Befriedigung ihrer Bedürfnisse weniger bezahlen müssen. Lediglich Nichtteilnehmende müssen mehr für die Leistung bezahlen, indem ihnen für die gleiche Energiemenge ein höherer Energiepreis verrechnet wird. (KLÜNDER, 2000) Die Anhebung der Energiepreise könnte durch eine Energiesteuer erfolgen. Dies birgt aber die Gefahr in sich, dass es zu Hemmnissen bei der Einführung dieses Systems kommt, da niemand gerne mehr für Energie bezahlt. Somit scheint es wichtig, dass der Staat die Anwendung von LCP bei den Energieversorgungsunternehmen verankert und erst nach der Einführung eine Energiesteuer einhebt. (HENNICKE und SEIFRIED, 2006) LCP bringt den großen Vorteil, dass sich energiesparende Geräte schneller durchsetzen und somit Energie eingespart wird. (KLÜNDER, 2000)

5.3.2 Energie–Contracting

Hier handelt es sich um ein System, bei welchem die KundInnen nicht Rohstoffe, sondern Dienstleistungen wie beispielsweise Wärme, Dampf, Kälte, Druckluft oder Strom kaufen. Zu diesem Zweck wird ein Vertrag (contract) abgeschlossen, von welchem sich auch die Bezeichnung „Contracting“ ableitet. Grundsätzlich kann Contracting in vielen Bereichen, wie z.B. gemietete Kopiergeräte, Telefonanlagen oder im Energiebereich, angewendet werden. (LEHMANN und REETZ, 1995) In dieser Arbeit wird ausschließlich auf Energie–Contracting eingegangen. Hier kann man zwischen Anlagen- und Einspar–Contracting unterscheiden. (HEINDLER et al., 1998)

Beim Anlagen–Contracting wird die Energiebereitstellung für ein Unternehmen ausgelagert. Diese wird von einem Dienstleistungsunternehmen, dem so genannten Contractor, übernommen. Dieser plant, errichtet, finanziert und betreibt neue Energieanlagen direkt im Betrieb oder in der Nähe von Gewerbe- und Industriebetrieben der Auftraggebenden. Der Contractor und die Auftraggebenden

schließen einen längerfristigen Vertrag über die Lieferung von Wärme, Dampf, Kälte, Druckluft, Strom etc. zu einem vereinbarten Preis ab. Der Contractor ist Eigentümer der Energieanlage und kümmert sich um die Wartung, den Betrieb und den Brennstoffeinkauf. Als Basis für die Abrechnung dient jene Energie, welche von den Auftraggebenden bezogen wird. Eine Auslagerung der Energieversorgung bringt diesen den Vorteil, dass sie sich auf ihr Kerngeschäft konzentrieren können. Eine Auslagerung kommt aber erst in Frage, wenn sich die Auftraggebenden Kosten einsparen. Damit eine Kostenreduktion bei der Bereitstellung von Nutzenergie erreicht wird, ist der Contractor gezwungen, effizientere Techniken für die Energiegewinnung bzw. bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie anzuwenden. (HEINDLER et al., 1998)

Während beim Anlagen-Contracting die Versorgung mit Energie im Vordergrund steht, konzentriert sich das Einspar-Contracting auf die bestmögliche Nutzung der eingesetzten Energie. Zu diesem Zweck analysiert der Contractor die zu sanierende Liegenschaft und definiert Maßnahmen, welche zur Behebung von Mängeln dienen. Zu solchen Maßnahmen zählen:

- Wärmedämmende Maßnahmen
- Heizungsoptimierung
- Einbau von Wärmerückgewinnungsanlagen bei der Lüftung und Kühlung
- Optimierung der Raumtemperatur
- Energieeffiziente Beleuchtung
- Vermehrter Einsatz von erneuerbaren Energieträgern
- Motivation zu energiesparendem Verhalten von NutzerInnen
- Energietarifoptimierung (HEINDLER et al., 1998)

Nach einer Kalkulation übernimmt das Dienstleistungsunternehmen die Planung, Ausführung und Finanzierung der Maßnahmen und garantiert den Auftraggebenden, dass die zugesagten Einsparungen auch eingehalten werden. Wie in Abbildung 24 ersichtlich, bezahlen diese ab der Fertigstellung der Sanierungsmaßnahmen neben den geringeren Energiekosten auch eine Contractingrate an das Contractingunternehmen. (HEINDLER et al., 1998)

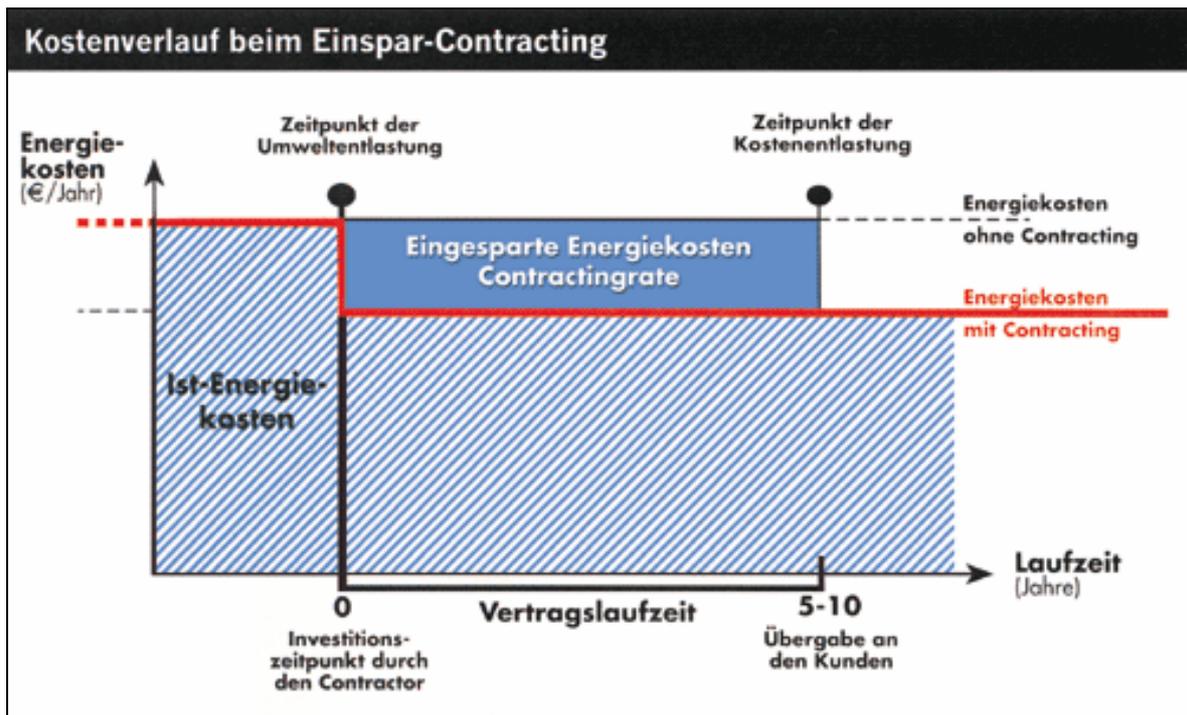


Abb. 24: Kostenverlauf beim Einspar-Contracting (RENNER und PLÖBST, 2007)

Das Entgelt für den Contractor ist ein gewisser Anteil der Einsparung und wird für eine bestimmte Zeit bezahlt. Dadurch treffen die Auftraggebenden keine Kosten für die Verbesserungsmaßnahmen. Sobald der vereinbarte Zeitraum vorbei ist, wird der gesamte Profit der Maßnahmen von diesen lukriert. (HEINDLER et al., 1998)

5.3.3 Politische Instrumente

Der Eingriff durch den Staat kann als sehr effektives Instrument gewertet werden. Ihm steht die Möglichkeit offen, externe Kosten mittels einer ökologischen Steuerreform zu internalisieren oder durch Ge- bzw. Verbote energiesparende Maßnahmen zu forcieren.

Bei einer ökologischen Steuerreform sollten alle nicht erneuerbaren Energieträger mit einer Steuer belastet werden. Diese Energiepreiserhöhung muss eine Größenordnung einnehmen, die auch spürbar ist. ExpertInnen rechnen damit, dass bei einer Energiepreiserhöhung von 5 % die Energieeinsparung im Bereich von 6 bis 10 % liegt. Durch die Einnahmen einer ökologischen Steuerreform sollte sich nicht der Staat bereichern. Dieser sollte das Geld für Maßnahmen verwenden, die zu einem sinkenden Energieverbrauch führen. Beispiele hierfür wären der Zuschuss zu Wärmesaniierungsmaßnahmen oder die Senkung der Lohnnebenkosten. Durch geringere Lohnkosten würde der Lohnkostenanteil bei Produkten sinken und die

Rohstoffe stärker gewichtet. Somit wären Marktangebote mit kleinstmöglichem Ressourcenverbrauch der Konkurrenz im Preis überlegen. Die Folge wäre, dass Ressourcen geschont und zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen werden. (LEHMANN und REETZ, 1995) Zusätzliche Abgabenbelastungen sollte es nur für jene geben, welche energieintensive Produkte bzw. Dienstleistungen in Anspruch nehmen. Sonst sollte durch die Verwendung von energieextensiven Produkten keine zusätzliche Steuerbelastung entstehen. (WIESMETH, 2003)

Bei einer solchen Steuerreform kann es aber dazu kommen, dass energieintensive Produkte aus benachbarten Ländern importiert und die Ökosteuer umgangen wird. Dies hätte die Schwächung der heimischen Betriebe zur Folge. Um eine solche Entwicklung zu verhindern, könnte eine Energieeinfuhrsteuer für energieintensive Produkte eingehoben werden. Eine weit bessere Möglichkeit wäre es, wenn eine ökologische Steuerreform von allen Staaten durchgeführt werden würde. (LEHMANN und REETZ, 1995)

Wie in Kapitel 5.2.4 beschrieben wurde, erhöht sich der Treibstoffverbrauch bei zunehmender Geschwindigkeit überproportional. Dies trifft nicht nur für den PKW zu, sondern auch auf umweltfreundlichere Verkehrsträger wie die Bahn. Nebenbei sind auch folgenschwere Unfälle bei höherer Geschwindigkeit wahrscheinlicher. Aus diesen Gründen wäre eine Entschleunigung des Verkehrs durch Tempolimits eine wichtige Maßnahme, um den Energieverbrauch zu senken und die Unfallfolgen zu reduzieren. In den Städten und am Land sollte durch die Förderung des Umweltverbandes eine Verkehrsberuhigung stattfinden. Dazu zählen unter anderem ein besserer Ausbau der Bahn, Verkürzung der Intervalle, eigene Fahrspuren für Busse und Fahrräder, Ampelbevorrechtigungen, günstige Tarife für öffentliche Verkehrsmittel und ein gut ausgebautes öffentliches Netz. Im Gegenzug müssten umweltbelastende Verkehrsträger ihre wahren externen Kosten tragen und somit unattraktiver werden. Für den KFZ-Bereich bedeutet dies, dass unter Einbeziehung aller Kosten eine Mehrbelastung gegeben wäre. Diese Überwälzung der Kosten auf den KFZ-Verkehr könnte durch eine ökologische Steuerreform, eine kilometerabhängige Maut, einer verbrauchsabhängigen KFZ-Steuer oder mit der Einbeziehung des Verkehrs in das CO₂-Emissionshandelssystem der EU erfolgen.

Um den CO₂-Ausstoß im KFZ-Bereich zu verringern, könnten die Verbrauchsobergrenzen bzw. die Grenzwerte für CO₂-Emissionen schneller gesenkt und somit die Hersteller verpflichtet werden, effizientere Fahrzeuge zu bauen. (ROGALL, 2004)

Würden all diese Instrumente angewendet, um die effizienzsteigernden Maßnahmen zu internalisieren, könnte es zu einer enormen Senkung des Energieverbrauches und somit zur Reduktion des CO₂-Ausstoßes kommen.

6. Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Klimawandels

6.1 Allgemein

Im ersten Kapitel wurde aus naturwissenschaftlicher Sicht beschrieben, wodurch der anthropogene Treibhauseffekt und somit der Klimawandel ausgelöst wird. Nun wird versucht, diese Thematik aus wirtschaftswissenschaftlicher, genauer gesagt aus volkswirtschaftlicher Sicht, zu beleuchten.

Grundsätzlich regelt sich der Preis in einem idealtypischen Markt durch Angebot und Nachfrage, wodurch ein effizientes Marktergebnis erzielt wird. Nach Adam Smith werden durch die unsichtbare Hand die verfügbaren Ressourcen so eingesetzt, dass jene Güter zu minimalen Kosten erzeugt werden, welche von der Gesellschaft nachgefragt werden. Grundvoraussetzung eines effizienten Marktergebnisses ist ein vollständiger Wettbewerb. Zusätzlich müssen sämtliche Kosten von den MarktakteurInnen getragen werden. Wird eine dieser Voraussetzungen nicht erfüllt, kommt es zwangsläufig zu einem Marktversagen. Zwei Paradebeispiele für Marktversagen sind öffentliche Güter und externe Effekte. (WÖLLER, 2006)

Güter lassen sich durch die zwei Kriterien Ausschließbarkeit und Rivalität im Konsum unterscheiden und in vier Güterklassen einteilen. So zeichnen sich private Güter durch Ausschließbarkeit und Rivalität im Konsum aus. Unter Rivalität versteht man, dass der Konsum von einzelnen NutzerInnen den von anderen beeinflusst. Beispiele hierfür sind alltägliche Güter wie Kleidung und Bücher. Bei rein öffentlichen Gütern ist ein Ausschluss im Konsum nicht möglich. Ebenso besteht keine Rivalität im Konsum. Beispielsweise trifft dies bei der Rechts- und Landessicherheit zu. Doch rein öffentliche Güter kommen in der Realität eher selten vor, da die oben genannten Kriterien oft nur teilweise erfüllt sind. Bei so genannten Mautgütern ist zwar eine Nicht-Rivalität im Konsum vorhanden, die Ausschließbarkeit ist jedoch gegeben. Beispiele hierfür sind Autobahnen oder das Internet. Wenn man nicht von der Nutzung eines Gutes ausgeschlossen werden kann, selbst wenn man sich bei den Kosten nicht beteiligt (Trittbrettfahren), dann spricht man von so genannten Allmendegütern. Hier führt der Konsum des Gutes durch NutzerInnen zu einer

Einschränkung der Nutzungsmöglichkeiten von anderen. In den Lehrbüchern wird als Allmendegut oftmals die Umwelt genannt. (WÖLLER, 2006) Die folgende Abbildung zeigt die Kombinationsmöglichkeiten der einzelnen Kriterien und die zugeordneten Güterklassen.

	Ausschluss möglich	Ausschluss nicht möglich
Rivalität im Konsum	PRIVATE GÜTER Kleidung, Bücher,...	ALLMENDEGÜTER Umwelt
Nicht-Rivalität im Konsum	MAUTGUT Autobahnen, Internet,...	REINE ÖFFENTLICHE GÜTER Rechtssicherheit, Landesverteidigung,...

Abb. 25: Einteilung von Gütern (WÖLLER, 2006)

Externe Effekte können ein weiterer Grund für ein Marktversagen sein. Wenn durch das Verhalten von Individuen Dritte positiv oder negativ beeinflusst werden, ohne dass sie selbst einen Einfluss darauf haben, so spricht man von externen Effekten. Ein Beispiel für einen positiven externen Effekt ist, wenn die Bienen von ImkerInnen die Blüten von Obstbäumen bestäuben, und die ObstbäuerInnen dadurch einen höheren Ertrag erzielen. Hingegen wäre beispielsweise ein negativer externer Effekt, wenn ein Industriebetrieb sein Abwasser ungereinigt in ein Gewässer einleitet, und dadurch der Ertrag der betroffenen FischerInnen verringert wird. Sind die negativen externen Effekte monetarisierbar, so spricht man von externen Kosten, welche bereits in Kapitel 3.8.3. näher beschrieben wurden. (WÖLLER, 2006)

Da eine intakte Umwelt ein Allmendegut ist, wird es immer Individuen geben, welche sie verschmutzen. Durch die Freisetzung von Treibhausgasen kommt es unweigerlich zu einem negativen externen Effekt, der Erwärmung der Erdatmosphäre. Der von Menschen verursachte Klimawandel ist also rein volkswirtschaftlich gesehen nichts anderes als ein Marktversagen von globalem Ausmaß. (WÖLLER, 2006)

Liegt ein Marktversagen vor, so ist die Politik gefordert, die negativen externen Effekte zu internalisieren. Dazu muss das Gut Umwelt einen Preis erhalten und als knappes Gut behandelt werden. Ist der Grenzscha-den der Umweltverschmutzung genau so hoch wie die Grenzvermeidungskosten des Schadens, ist das optimale

Maß an Umweltschutz erreicht. Prinzipiell kann gesagt werden, dass marktwirtschaftliche Instrumente am besten dazu geeignet sind Umweltschutzziele zu erreichen. Der Grund dafür liegt darin, dass sie kostengünstiger anzuwenden sind und im Gegensatz zu Verboten, Geboten und Auflagen einen stärkeren Anreiz dafür geben, in umweltschonendere Technologien zu investieren. Bei der marktwirtschaftlichen Lenkung überlässt der Staat die Entscheidungen den einzelnen Wirtschaftssubjekten, er gibt jedoch zielgerichtete Anreize, um ein umweltgerechtes Verhalten herbeizuführen. Auf diesem Weg werden volkswirtschaftliche Ressourcen geschont. Mit marktwirtschaftlichen Lenkungsmöglichkeiten des Staates wie der Pigou-Steuer oder dem Zertifikatshandel, kann ein Marktversagen unterbunden werden. (WÖLLER, 2006)

Bei der Pigou-Steuer wird zu den privaten Grenzkosten ein Steuersatz hinzugerechnet, sodass für die verursachte Umweltverschmutzung ein Entgelt entrichtet werden muss. Das Problem stellt sich bei der Festlegung des Steuersatzes. Dieser sollte so bemessen sein, dass die negativen externen Effekte internalisiert werden. Beispielsweise kann der Staat eine Steuer pro Tonne CO₂ festlegen, welche durch die EmittentInnen bezahlt werden muss. Da die Steuer von vornherein festgelegt ist, werden rational handelnde Unternehmen Reduktionsmaßnahmen so lange durchführen, bis der CO₂-Steuersatz gleich den Reduktionskosten ist. Theoretisch ist eine perfekte Internalisierung der externen Effekte möglich, in der Praxis bereitet die Umsetzung der Pigou-Steuer aber erhebliche Probleme. Vor allem die Quantifizierung der externen Kosten und die Zurechnung zu den jeweiligen Betroffenen ist sehr schwierig. Ebenfalls müssen die ständig veränderten Marktsituationen und die monetäre Bewertung der Schäden berücksichtigt werden und machen eine ständige Anpassung des Steuersatzes notwendig. (WÖLLER, 2006)

Eine weitere Möglichkeit zur Internalisierung von externen Kosten ist der Zertifikatshandel. Im Vorfeld des Zertifikatshandels wird festgelegt, welcher Grad an Verschmutzung der Umwelt toleriert wird. Daraufhin wird die entsprechende Menge an Umweltzertifikaten ausgegeben. BesitzerInnen eines Zertifikats haben das Recht, die Umwelt mit einer gewissen Menge an Schadstoffen zu belasten. Für diese Zertifikate existiert auch ein Markt, da mit ihnen gehandelt werden kann. Durch einen vollständigen Wettbewerb wird die Umwelt dort am stärksten entlastet, wo dies am

kostengünstigsten ist. Dies ergibt sich aus dem Umstand, dass jene EmittentInnen, bei denen eine Verringerung der Umweltbelastung günstiger ist als die Umweltzertifikate, Emissionsverringerungen vornehmen und die nicht verwendeten Zertifikate verkaufen werden. Durch dieses System wird gewährleistet, dass nur eine im vorhinein festgelegte Menge an Emissionen freigesetzt wird, selbst wenn auf Grund von wachsenden Volkswirtschaften die Zahl der EmittentInnen ansteigt. Seit 2005 existiert der EU-Umweltzertifikatehandel, wodurch staatenübergreifend versucht wird, dem Klimawandel mittels CO₂-Zertifikaten entgegenzuwirken. (WÖLLER, 2006) EU-weit sind alle Kraftwerke sowie Feuerungsanlagen mit einer Leistung größer als 20 MW verpflichtet, an diesem System teilzunehmen. Insgesamt nehmen hierbei 11.500 Anlagen teil, wodurch rund 50 % der gesamten CO₂-Emissionen der EU erfasst sind. (WALLENWEIN, 2007)

6.2 Stern-Report

Um die wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels abschätzen zu können, wurde von der britischen Regierung eine Studie in Auftrag gegeben. Diese Studie wurde unter der Leitung von Sir Nicolas Stern, dem ehemaligen Chefökonom der Weltbank, durchgeführt und ist unter dem Namen Stern-Report bekannt geworden.

Der Stern-Report ist in zwei Teile gegliedert. Im ersten Teil werden der Klimawandel und die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen unter wirtschaftlichen Aspekten betrachtet. Der zweite Teil beschäftigt sich mit den Möglichkeiten, welche sich der Politik bieten, um einen Übergang in eine kohlenstoffarme Wirtschaft zu schaffen. Bei Folgen des Klimawandels, welche nicht mehr verhindert werden können, sind Anpassungsmaßnahmen unumgänglich. Auch diese Aufgabe bedarf der Hilfestellung der Politik. Maßnahmen, welche eine Änderung des Klimas zur Folge haben, benötigen eine lange Vorlaufzeit. So werden Maßnahmen, die wir heute setzen, erst in 40 bis 50 Jahren wirksam. Im Gegenzug ist es aber von entscheidender Bedeutung, dass in den nächsten 10 bis 20 Jahren Maßnahmen gesetzt werden, um eine problematische Klimaerwärmung in der zweiten Hälfte dieses Jhdts. und im nächsten zu verhindern. (HM-TREASURY, 2006)

6.2.1 Wirtschaftliche Aspekte des Klimawandels

Die Folgen des Klimawandels werden zwar immer klarer, doch aufgrund der Komplexität des Klimasystems können nicht alle Risiken mit völliger Sicherheit vorausgesagt werden. Trotzdem leisten die Modelle einen wichtigen Beitrag im Kampf gegen den Klimawandel, da sie annäherungsweise die Auswirkungen einer Temperaturerhöhung auf den Menschen beschreiben können. In untenstehender Abbildung wird im oberen Bereich die Schwankungsbreite der möglichen Temperaturveränderung bei verschiedenen CO₂e-Konzentrationen angeführt. Unterhalb der Temperaturskala werden die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Wirtschaft, das menschliche Leben und auf die Umwelt beschrieben. Wie bereits in Kapitel 2.2 erwähnt, beträgt die derzeitige CO₂-Konzentration der Atmosphäre rund 380 ppm. Summiert man sämtliche Treibhausgase, so kommt man auf eine Gesamtkonzentration von rund 430 ppm CO₂e. (HM-TREASURY, 2006)

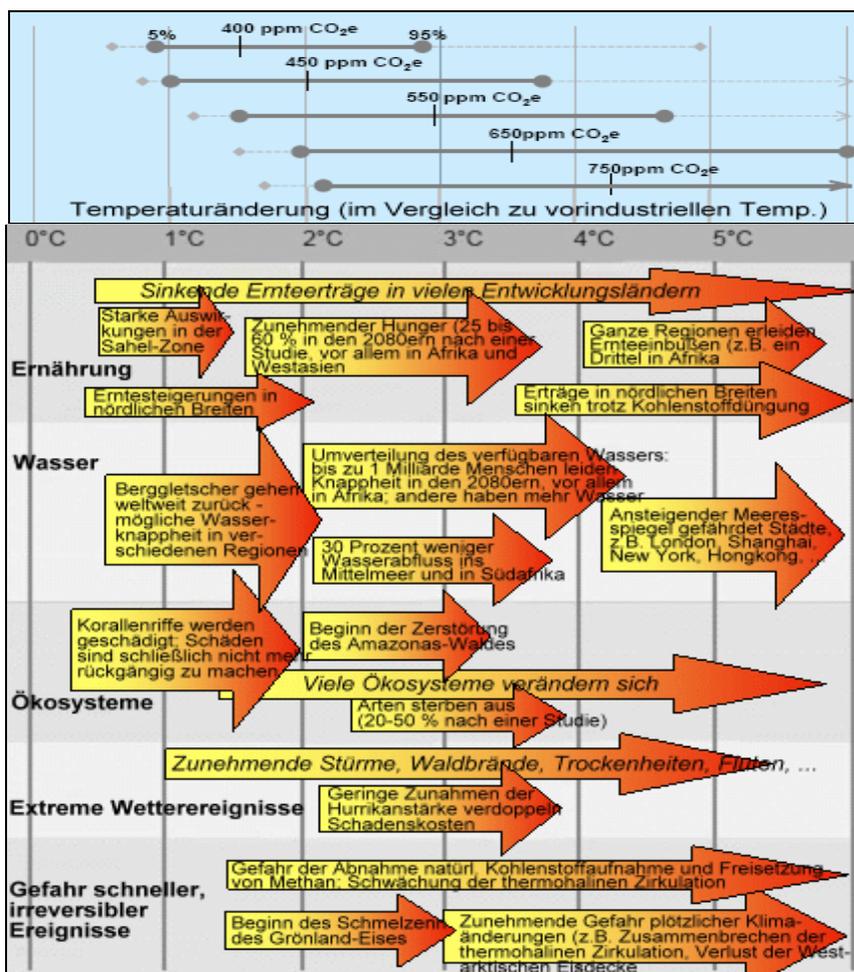


Abb. 26: Stabilisierungsniveaus und Wahrscheinlichkeitsbereiche für Temperaturanstiege (HM-TREASURY, 2006)

Schwerwiegende Folgen des Klimawandels werden sehr oft durch Wasser verursacht:

- Wie in Kapitel 2.4 erwähnt, werden abschmelzende Gletscher zu einem erhöhten Überflutungsrisiko führen. Zusätzlich wird es zu einer Verringerung der Wasservorräte kommen. Es wird angenommen, dass von diesen beiden Einflüssen ein Sechstel der Weltbevölkerung bedroht sein wird. Besonders gefährdet sind Indien, Teile Chinas und der südamerikanischen Anden.
- Bei einer Erwärmung ab 3 °C kommt es unweigerlich zu einem Ansteigen des Meeresspiegels. Besonders betroffen davon wären Bangladesch, Vietnam, kleine Inseln in der Karibik und im Pazifik, aber auch große Küstenstädte wie Tokio, New York und Kairo. Insgesamt wird damit gerechnet, dass bis Mitte des 21. Jhdts. rund 200 Mio. Menschen durch den steigenden Meeresspiegel, durch Überflutungen und Dürren dauerhaft vertrieben werden.
- Vor allem in Afrika wird damit gerechnet, dass hunderte Millionen Menschen mit schwindenden Ernteerträgen und somit mit Lebensmittelknappheit kämpfen müssen. In kühleren Gebieten ist bei einer Erwärmung von 2 bis 3 °C mit einer Zunahme der Ernteerträge zu rechnen. Dies würde sich aber bei noch höheren Temperaturen umkehren. Bei einer Temperaturerhöhung von 4 °C und darüber würde schließlich eine ernsthafte Bedrohung der weltweiten Lebensmittelproduktion bestehen.
- In kälteren Gebieten wird es aufgrund der Erwärmung zu einer Abnahme von kältebedingten Todesfällen kommen. Im Gegenzug wird auf globaler Ebene die Sterblichkeitsrate aufgrund von Hitze und Mangelernährung zunehmen.
- Bei einer Erwärmung der Atmosphäre ist mit einem starken Rückgang der Biodiversität zu rechnen. Bereits bei einer Zunahme ab 2 °C wird damit gerechnet, dass bis zu 50 % der Arten vom Aussterben bedroht sein werden und im Regenwald irreparable Schäden verursacht werden. (HM-TREASURY, 2006)

Entwicklungsländer sind von den Auswirkungen der Klimaerwärmung besonders betroffen. Diese Länder befinden sich bereits jetzt in geografisch wärmeren Gebieten, wodurch sich eine zusätzliche Erwärmung nachteilig auswirken wird. Diesen Ländern fehlt es meist an Geld, um sich an die neuen Bedingungen anzupassen. Da die Haupteinnahmen der Entwicklungsländer in der Landwirtschaft erwirtschaftet werden, verschärft sich diese Situation durch die Reduktion der

Ernteerträge. Alle diese Auswirkungen haben zur Folge, dass es zu Völkerwanderungen, begleitet von gewaltsamen Konflikten, kommen wird. Als besonders gefährdete Gebiete sind hier Westafrika, das Nilbecken und Zentralasien zu erwähnen. (HM-TREASURY, 2006)

Aufgrund der extremen Wetterereignisse wird es zusätzlich zu einem Anstieg der Versicherungskosten kommen, welche die globalen Finanzmärkte negativ beeinflussen. Die gesamten Kosten des Klimawandels zu berechnen, ist ein äußerst schwieriges Unterfangen. Vor allem die Abschätzungen von Schäden über die nächsten hundert Jahre und darüber hinaus stellen an sich schon ein Problem dar. Eine solche Abschätzung ist aber notwendig, da eine lange zeitliche Verzögerung zwischen den Maßnahmen zur Verringerung von Treibhausgasen und deren Wirkung gegeben ist. Problematisch ist auch die monetäre Bewertung von Schäden, insbesondere wenn sie Gesundheit oder Ökosysteme betreffen. (HM-TREASURY, 2006)

Schlägt man den Business-As-Usual-Weg (BAU-Weg) ein und trifft somit keine ausreichenden Maßnahmen gegen den Klimawandel, so kann der globale Temperaturanstieg im nächsten Jhdt. 5 bis 6 °C betragen (zur Veranschaulichung: in der letzten Eiszeit war es lediglich um 5 °C kälter als heute). Dies hätte laut Modellabschätzungen zur Folge, dass die rein monetären Kosten dauerhaft 5 % des globalen Pro-Kopf-Einkommens betragen würden. Unter Berücksichtigung weiterer Faktoren würden die Kosten eines BAU-Szenarios noch weiter steigen.

- Werden die direkten Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit miteinbezogen, belaufen sich die geschätzten Gesamtkosten des Klimawandels auf 11 % des globalen Pro-Kopf-Einkommens.
- Aufgrund neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse geht man davon aus, dass das Klimasystem noch stärker durch Treibhausgasemissionen beeinflusst wird, als dies bisher angenommen wurde. Zum Beispiel wird durch das Auftauen des Permafrostes zusätzliches Methan freigesetzt.
- Als dritter Faktor wirkt sich die weltweit ungleichmäßige Verteilung der Schäden des Klimawandels aus. Würde man den Anteil der benachteiligten ärmeren Länder angemessen gewichten, so wären die Kosten um ein Viertel höher als ohne einer solchen Gewichtung. (HM-TREASURY, 2006)

Wenn alle diese zusätzlichen Faktoren berücksichtigt werden, geht Stern davon aus, dass das BAU-Szenario dauerhaft Kosten im Bereich von 20 % des globalen Pro-Kopf-Einkommens verursacht. Ignoriert man also den Klimawandel, so würden sich mit Beginn des nächsten Jhdts. dieselben wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen ergeben, wie diese in den beiden Weltkriegen und der Wirtschaftskrise der 30er Jahre vorherrschten. Diese Auswirkungen können mithilfe einer Abminderungspolitik reduziert werden. Der Schlüssel zur Reduktion der Kosten liegt in der Reduktion der Treibhausgase. Diese sollten langfristig auf einen Wert von jährlich 5 GtCO_{2e} gesenkt werden. Dieser Wert entspricht jener Menge an Treibhausgasen, welche die Erde von sich aus absorbieren kann. Die im Stern-Report angestellten Berechnungen über die Kosten des Klimawandels zielen auf eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre im Bereich von 450 bis 550 ppm CO_{2e} ab. (HM-TREASURY, 2006)

Sollte eine Stabilisierung bei 450 ppm CO_{2e} erfolgen, wäre es erforderlich, dass die globalen Emissionen in den nächsten 10 Jahren ihren Höhepunkt erreichen. Anschließend müssten diese mit einer Rate von mehr als 5 % pro Jahr fallen. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, müssten bis zum Jahr 2050 die Treibhausgasemissionen 70 % unter dem derzeitigen Niveau liegen. Soweit die Innovationen der Technologien zur Reduzierung vorhersehbar sind, scheint es nahezu unmöglich, innerhalb der vorgegebenen Zeit dieses Stabilisierungsniveau zu erreichen. Realistischer scheint zu sein, eine Stabilisierung bei ungefähr 550 ppm CO_{2e} zu erzielen. Um dieses Ziel zu erreichen, müsste der Höhepunkt der globalen Emissionen in den nächsten 10 bis 20 Jahren liegen. Anschließend sollten diese mit einer Rate von 1 bis 3 % abfallen. In Folge sollten die globalen Emissionen bis zum Jahr 2050 rund 25 % unter dem derzeitigen Niveau liegen. Da die Weltwirtschaft im Jahr 2050 laut Schätzungen von Stern um das Zwei- bis Dreifache zunehmen wird, dürften die Emissionen pro Einheit Bruttoinlandsprodukt (BIP) nur ein Viertel des derzeitigen Niveaus betragen. (HM-TREASURY, 2006)

In der folgenden Abbildung werden Wege illustriert, welche eine Stabilisierung bei 550 ppm CO₂e ermöglichen. Es ist klar ersichtlich, dass ein Verzögern der Maßnahmen zur Emissionsreduktion ein noch schnelleres Reduzieren nach Erreichung des Peaks zur Folge hätte. Würde beispielsweise die Emissionsspitze im Jahr 2020 bei 52 (Hoher Peak) anstatt bei 48 GtCO₂e (Tiefer Peak) liegen, so steigt die Emissionsreduktionsrate von 1,5 auf 2,5 % je Jahr. (HM-TREASURY, 2006)

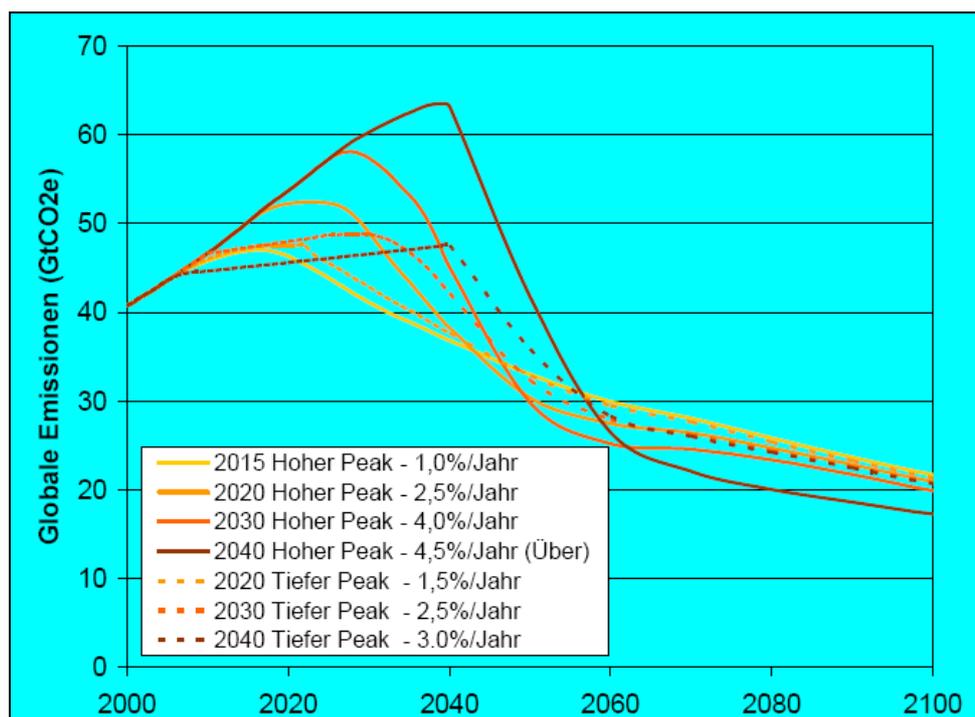


Abb. 27: Illustrative Emissionswege zum Stabilisieren bei 550 ppm CO₂e (HM-TREASURY, 2006)

Theoretisch wäre auch ein Überschreiten der 550 ppm-Marke möglich, doch je höher diese Überschreitung ausfällt, umso höher müssen anschließend die jährlichen Reduktionsraten sein. Dies kann sogar soweit gehen, dass sie auf einem Niveau unter der natürlichen Kohlenstoffabsorption der Erde reduziert werden müssten. Wenn dieses Szenario gewählt wird, erfordert es nach dem Peak umso höhere Kosten. Im Übrigen wird es rascher zu höheren Temperaturen kommen, welche jahrzehntelang auf einem hohen Niveau bleiben werden. Im Gesamten betrachtet, scheint die Wahl dieser Option äußerst unklug zu sein, da diese sehr hohe Risiken in sich birgt und eine so drastische Reduktion nach diesem hohen Peak kaum durchführbar ist. (HM-TREASURY, 2006)

Die Kosten einer Stabilisierung im Bereich von 500 bis 550 ppm CO₂e schwanken von -2 bis +5 % des globalen BIP. Der Schwankungsbereich ist abhängig von Faktoren wie der Geschwindigkeit der Innovationen, der Effizienzsteigerungen und der internationalen Kooperation. Durchschnittlich wird mit Kosten von 1 % des globalen BIP bis 2050 gerechnet. Danach weichen die Schätzungen sehr stark voneinander ab, da längerfristige Aussagen über die wirtschaftlichen und technologischen Entwicklungen sehr schwer prognostizierbar sind. Grundsätzlich kommt Stern zum Schluss, dass ein schnelleres Handeln die geringsten Kosten verursachen würde. (HM-TREASURY, 2006)

Reduzierungskosten von einem Prozent des BIP scheinen im ersten Moment ziemlich hoch zu sein, doch bei genauerer Betrachtung sind diese im Verhältnis zu den Risiken und Kosten des Klimawandels gering. Da die Reduktionskosten ungleichmäßig auf Länder verteilt sind, kann es zu einer Wettbewerbsverzerrung von international gehandelten Produkten kommen. Betrachtet man jedoch die Wirtschaft insgesamt, werden sich aufgrund von Innovationen erheblich neue Möglichkeiten bei Produkten und Dienstleistungen ergeben. Man nimmt an, dass bis zum Jahr 2050 die aufgrund von kohlenstoffarmen Energieprodukten erzielte Wertschöpfung rund 500 Mrd. Dollar beträgt. (HM-TREASURY, 2006)

6.2.2 Herausforderungen an die Politik

Bei der Reduktion der Treibhausgasemissionen ist die Politik in drei Kernbereichen gefordert:

- Schaffung eines Preises für Kohlenstoff
 - Schaffung einer effektiven Technologiepolitik
 - Beseitigung von Hemmnissen für Verhaltensänderungen
- (HM-TREASURY, 2006)

Durch den Ausstoß von Treibhausgasen werden externe Kosten verursacht. Ohne einen Preis für Kohlenstoff wird die gesamte Weltbevölkerung zur Kasse gebeten und hat die Auswirkungen zu tragen. Wird hingegen ein Preis für Kohlenstoff festgelegt, haben die VerursacherInnen die vollen externen Kosten ihres Handelns zu tragen. Dadurch werden sie sich überlegen, ob sie weiterhin kohlenstoffintensive Produkte und Dienstleistungen in Anspruch nehmen, oder die kohlenstoffärmere und somit billigere Alternative wählen werden. Wichtig dabei ist, dass ein globaler

Kohlenstoffpreis festgelegt wird. Durch diesen würde eine Emissionsreduktion überall dort stattfinden, wo diese mit den geringsten Kosten erzielt werden könnte. (HM-TREASURY, 2006)

Die Festlegung des Kohlenstoffpreises kann durch Steuern, Emissionshandel oder gesetzliche Regulierungen erfolgen. Egal, für welche Maßnahme bzw. Kombination von Maßnahmen man sich entscheidet, wichtig ist es, dass InvestorInnen und VerbraucherInnen darauf vertrauen können, dass ein festgelegter Kohlenstoffpreis auch in Zukunft gehalten wird. Dadurch werden diese auch den Preis für Kohlenstoff in ihre Investitionsentscheidungen miteinbeziehen können, wodurch langfristig kohlenstoffarmen Investitionen der Vorzug gegeben wird. Derzeit steckt die Preisgebung noch in der Entwicklungsphase. Doch wenn es gelingt, diese Maßnahme weltweit durchzusetzen, wird sie einen wesentlichen Anteil an der Reduzierung der Treibhausgase einnehmen. (HM-TREASURY, 2006)

Durch den Preis für Kohlenstoff ist der Anreiz gegeben, in neue kohlenstoffarme Technologien zu investieren, denn erst dadurch ist die Konkurrenzfähigkeit gegeben. Da es noch keinen gesetzlichen Rahmen gibt, welcher einen Kohlenstoffpreis sichert, sind InvestorInnen vorsichtig mit Investitionen in die F&E von kohlenstoffarmen Technologien, welche sich erst langfristig rentieren würden. Solange keine langfristigen Kohlenstoffpreisabsicherungen vorhanden sind, wird es also nötig sein, dass der Staat die F&E von neuen Technologien direkt fördert bzw. übernimmt. (HM-TREASURY, 2006) Förderungsmaßnahmen sollen so effektiv und effizient wie nur möglich durchgeführt werden. Das bedeutet, dass die angestrebten Ziele mit möglichst geringen Kosten erreicht werden müssen. So sollte es möglich sein, die staatliche Förderung nach einer gewissen Zeit auszusetzen, ohne dass die Effektivität der Maßnahme darunter leidet. (REEKER, 2004)

Meist verursachen neue Technologien anfänglich hohe Kosten, wobei diese aber im Laufe der Zeit mit zunehmendem Einsatz fallen. Dadurch wird die neue Technologie nach einer gewissen Zeit die gleichen Kosten haben wie die etablierte. Dieser Punkt ist in Abbildung 28 mit A gekennzeichnet und wird als Break-Even bezeichnet. (HM-TREASURY, 2006)

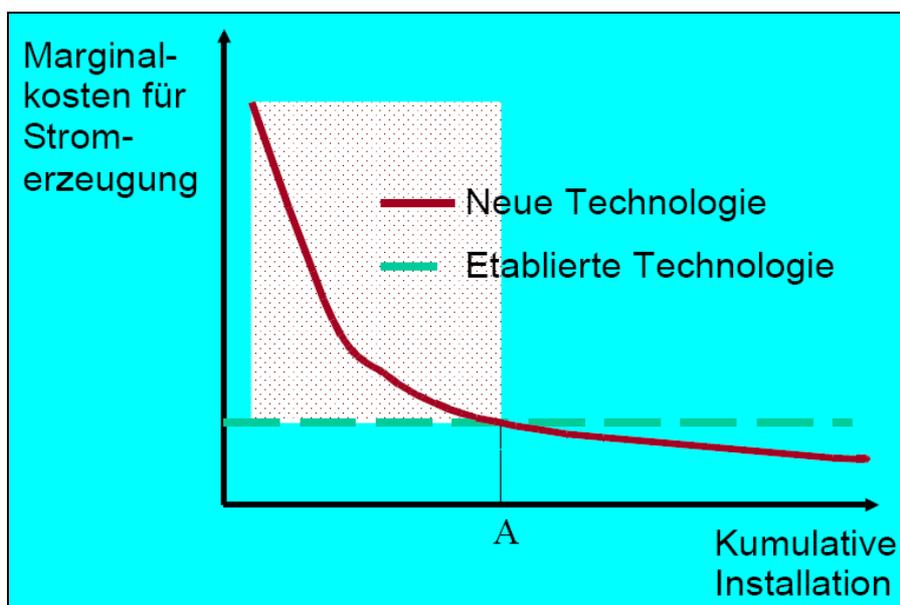


Abb. 28: Kostenentwicklung von Technologien der Stromerzeugung (HM-TREASURY, 2006)

Gründe für die sinkende Preisentwicklung neuer Technologien sind Lerneffekte, welche im Laufe der Zeit erzielt werden. Des Weiteren können aufgrund einer verstärkten Produktion steigende Skalenerträge erzielt werden. Dies wird in einer freien Marktwirtschaft langfristig zu einer Preissenkung der Güter führen. (HM-TREASURY, 2006) Bei der etablierten Technologie darf nicht zwingend von konstanten Kosten ausgegangen werden, da auch diese durch den Lerneffekt günstiger Energie bereitstellen kann. Allerdings sind diese Effekte bei etablierten Technologien zur Stromerzeugung kaum sichtbar, da sich der Lerneffekt immer auf die Verdoppelung des kumulierten Marktvolumens bezieht. Bei fossilen Energieträgern muss man damit rechnen, dass aufgrund der stärkeren Nachfrage der Preis steigen wird. Des Weiteren hat die Politik das Bestreben, die bis jetzt nicht im Strompreis enthaltenen externen Kosten zu internalisieren. Durch den EU-Emissionszertifikatehandel kann es innerhalb der nächsten Jahre zu einer Strompreiserhöhung von 10 % kommen. (REEKER, 2004)

Der dritte Bereich, in dem die Politik zur Minderung von Treibhausgasen beitragen kann, ist die Beseitigung von Hemmnissen für Verhaltensänderungen. Unzureichende Information, Transaktionskosten als auch Verhaltens- und Organisationsträgheit führen zu einer Behinderung von Reduktionsmaßnahmen. Oftmals geschieht dies auch in Bereichen, in denen eine Reduktion von Emissionen kosteneffektiv wäre. Diese Hemmnisse können mithilfe von ordnungspolitischen Maßnahmen abgebaut werden. So ist es sinnvoll, Mindeststandards im Gebäude- und Gerätebereich einzuführen, damit sich eine Verbesserung des Energieverbrauchs einstellt. Besonders wichtig ist es, durch gezielte Information eine Verhaltensänderung bei der Beschaffung von Gütern und Dienstleistungen herbeizuführen. Als Werkzeug hierfür könnten Informationsrichtlinien dienen, welche kohlenstoffarme und hocheffiziente Güter sowie Dienstleistungen wirksam ausweisen. Auch die Hilfe bei der Finanzierung kann ein effektiver Anreiz dafür sein, hohe Einmalzahlungen für Effizienzverbesserungen zu überwinden. Um die Bewusstseinsbildung in Hinsicht auf den Klimawandel zu stärken, ist es auch vorteilhaft, bereits in Schulen Informationskampagnen zu starten. Allgemein ist es von großer Bedeutung, die Folgen und Risiken des Klimawandels einer breiten Öffentlichkeit näher zu bringen, um Verständnis für Klimaschutzmaßnahmen zu wecken. (HM-TREASURY, 2006)

Der Nutzen von Minderungsmaßnahmen wirkt sich global aus. Wenn z.B. ein Land seinen Ausstoß an Treibhausgasen reduziert, bringt dies auch Vorteile für die restlichen Länder der Welt. Anpassungsmaßnahmen wirken sich hingegen grundsätzlich regional aus. So wird es beispielsweise nur New Orleans von Nutzen sein, wenn diese Stadt ihre Dämme erhöht. Anpassungsmaßnahmen werden durchgeführt, um bereits unwiderrufliche Auswirkungen des Klimawandels abzufedern. Eine gewisse Anpassung wird automatisch erfolgen, da Einzelpersonen auf geänderte Markt- und Umweltbedingungen schnell reagieren. Größere Anpassungsprojekte können allerdings nicht mehr von Einzelpersonen durchgeführt werden, wodurch eine organisierte Planung durch die öffentliche Hand nötig wird. Ein Beispiel hierfür sind Infrastrukturprojekte, welche infolge des Klimawandels unausweichlich sind. Bei der Anpassung wird es in Zukunft immer wichtiger werden, die Raumplanung verstärkt miteinzubeziehen. Die Raumplanung sollte sich nicht nur auf lokale Gegebenheiten konzentrieren, sondern sich auf sinnvolle

zusammenhängende Gebietseinheiten fokussieren. Es wird notwendig sein, Kooperationsinstitutionen zu schaffen, welche eine interdisziplinäre und länderübergreifende Zusammenarbeit fördern. Durch die verstärkte Zusammenarbeit wird es in Zukunft möglich sein, ein besseres Verständnis über den Zusammenhang von klimarelevanten Faktoren zu bekommen. Somit kann ein effektiveres Risikomanagement aufgebaut werden, welches unabdinglich für gezielte Anpassungsmaßnahmen ist. (HM-TREASURY, 2006)

Die Zukunft der ärmsten Entwicklungsländer wird durch ihre hohe Verwundbarkeit und der vorherrschenden Armut so aussehen, dass diese am härtesten vom Klimawandel betroffen sein werden, obwohl sie bis heute am wenigsten zum Klimawandel beigetragen haben. Durch die geringen eigenen finanziellen Mittel werden sie auf internationale Hilfestellungen angewiesen sein, um sich an den Klimawandel ausreichend anpassen zu können. Je länger man Reduktionsmaßnahmen hinauszögert, umso höher werden auch die drohenden Schäden sein, gegen welche geeignete Anpassungsmaßnahmen getroffen werden müssen. (HM-TREASURY, 2006)

Eine internationale Koordination bzw. Kooperation der zuständigen Institutionen wird eine wesentliche Rolle im Kampf gegen den Klimawandel einnehmen. Nur so wird es möglich sein, eine rasche Reduktion der Treibhausgase durchzuführen und somit die beste Lösung dieses Problems zu erreichen. Dies ist nicht nur im wirtschaftlichen Sinne am effizientesten, auch die Ökosysteme würden dadurch entlastet werden, denn wartet man mit der Reduktion ab, würde dies unwiderrufliche Folgen für die Biodiversität bedeuten. Maßnahmen gegen den Klimawandel können zusätzlich einen indirekten Nutzen haben. So würde reine Luft dazu führen, dass Krankheiten, welche aufgrund von Luftverschmutzung verursacht werden, zurückgehen oder die Wälder nicht so stark durch Luftverunreinigungen in Mitleidenschaft gezogen werden. (HM-TREASURY, 2006)

In Hinblick auf den Klimawandel ist es unausweichlich, einen integrierten Ansatz für Reduktions- und Anpassungsmaßnahmen zu finden. Beispielsweise ist die Wahl zwischen Reduktions- oder Anpassungsmaßnahmen vergleichbar mit der Wahl, ob ich bei meinem Fahrrad die Bremsen repariere oder mir stattdessen einen Fahrradhelm kaufe. Würde ich nur die Bremsen reparieren, so würde dies helfen,

einen Unfall zu verhindern (Reduktion), während der Fahrradhelm die Folgen des Unfalls lindern soll (Anpassung). Die optimale Lösung wäre, beide Maßnahmen zu treffen, also sowohl reparieren als auch Schutzmaßnahmen zu treffen. Genauso verhält es sich im Klimaschutz. Auch hier ist eine vernünftige Kombination von Reduktion und Anpassung nötig. (KRESS, 2006)

6.3 Beschäftigungseffekte

Der vermehrte Einsatz von erneuerbaren Energien bewirkt viele Veränderungen für die Volkswirtschaften. Unter anderem wird auch der Arbeitsmarkt davon betroffen sein. Im Folgenden werden sowohl die positiven als auch die negativen Effekte auf den Arbeitsmarkt diskutiert.

Für den Einsatz von erneuerbaren Energien ist es notwendig, den bestehenden Kraftwerkspark umzustrukturieren. Dazu sind Investitionen nötig, welche an sich zu einem positiven Beschäftigungseffekt in der Baubranche und im Anlagenbau führen. Neben dem Bau von Anlagen sind auch laufende Betriebs-, Wartungs- und Erhaltungsarbeiten nötig, welche einen funktionierenden Betrieb gewährleisten. Alle diese Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt werden als direkte Beschäftigungseffekte beschrieben. Neben den direkten bestehen auch indirekte Beschäftigungseffekte. Diese existieren, da sich Investitionen in erneuerbare Energieformen nicht nur auf die unmittelbare Produktion und den Betrieb auswirken, sondern auch vorgelagerte Produktionszweige betreffen. Beispielsweise werden für die Nutzung von Windkraft spezielle Generatoren benötigt. Um diese zu erzeugen bedarf es Maschinen, die diese anfertigen. Diese Maschinen müssen wiederum erzeugt werden und somit ergibt sich eine lange Kette von Nachfrageveränderungen, welche sich ebenfalls positiv auf den Arbeitsmarkt auswirken. (BRIEM und FAHL, 2004)

Die direkten und indirekten Beschäftigungseffekte werden zusammen als so genannter Bruttobeschäftigungseffekt bezeichnet. Während dieser immer positiv ist, muss man jedoch beachten, dass es auch negative Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt gibt. So werden bei einer Umstellung des Kraftwerksparks auch Arbeitsplätze bei konventionellen Kraftwerken verloren gehen. Bilanziert man diese Effekte, so kommt man zum Nettobeschäftigungseffekt, welcher sowohl positiv als auch negativ ausfallen kann. Durch die höhere Beschäftigungsintensität beim

Einsatz von erneuerbaren Energien kann grundsätzlich gesagt werden, dass es zu positiven Beschäftigungseffekten kommt. (SCHEELHAASE, 2001)

Im Verkehrsbereich können durch Maßnahmen im Bereich „Organisation des Verkehrs“ zusätzlich positive Beschäftigungseffekte durch Koordination, Betreuung und Logistik erzielt werden. Beispiele für die Organisation des Verkehrs sind so genannte Mobilitätsdienstleistungen wie Mitfahrzentralen, Mobilitätsbörsen, Fahrgemeinschaften, Car-Sharing, EDV-gestützte Logistik- und Verkehrssysteme als auch Güterverteilzentralen für den gewerblichen Bereich. In größeren Städten gibt es bereits Unternehmen, welche diese Dienstleistungen erfolgreich anbieten. Durch diese Organisation des Verkehrs ergeben sich Vorteile wie die Senkung von verkehrsbedingten Emissionen, Flächenverbrauch und die Anzahl der hergestellten Autos. Natürlich gehen bei der Herstellung von Automobilen Arbeitsplätze verloren. Wenn man dies in Deutschland betrachtet, werden bis zum Jahr 2020 die verlorenen Arbeitsplätze durch einen höheren Organisationsaufwand überkompensiert. Dadurch ergibt sich in Summe ein positiver Nettobeschäftigungseffekt von etwa 3.500 Arbeitsplätzen. Dabei wurde angenommen, dass rund 6 % aller deutschen Führerscheinbesitzer diese Dienstleistungen in Anspruch nehmen. Diese Zahlen beruhen auf einer Studie, welche im Auftrag des Umweltbundesamts Deutschland erstellt wurde und eine 40 %ige Reduktion des CO₂-Ausstoßes bis 2020 als Grundlage nahm. (SCHEELHAASE, 2001)

Es gibt eine Vielzahl von Klimaschutzmaßnahmen, welche als beschäftigungsneutral einzustufen sind. Besonders in den Bereichen der Effizienzsteigerungen bei elektrischen Geräten, als auch bei den Energiedienstleistungen wie Contracting, ist nicht mit der Schaffung von zusätzlichen Arbeitsplätzen zu rechnen. (SCHEELHAASE, 2001) In der folgenden Abbildung sind die Beschäftigungseffekte der verschiedenen Sektoren in Deutschland mit dem Basisjahr 2001 ersichtlich, welche sich durch eine 40 %ige Reduktion der Treibhausgase ergeben würden. Diese Daten beruhen ebenfalls auf der vom Umweltbundesamt Deutschland in Auftrag gegebenen Studie.

SEKTOREN	2010	2020
Landwirtschaft	-1.080	1.280
Bergbau	-18.570	-15.170
Metallerzeugung	3.420	4.290
Fahrzeugbau	-6.130	-16.650
Elektrotechnik	2.090	3.340
Maschinenbau	33.700	50.660
Übrige Metallverarbeitung	3.680	6.110
Nahrungs- und Genussmittel	-1.720	2.400
Textil und Bekleidung	-400	840
Chemische Erzeugnisse	-2.390	-5.750
Steine Erden	5.540	8.160
Holzbe- und -verarbeitung	2.290	4.840
Papier- und Druckerzeugnisse	400	1.180
Sonst. verarbeitendes Gewerbe	-170	230
Bau	86.580	106.750
Elektrizität, Gas, Wasser	510	900
Verkehr	73.400	97.820
Groß- und Einzelhandel	-39.690	-57.600
Gaststätten	-2.360	-160
Banken und Versicherungen	-8.930	-12.090
Staat	-8.110	-10.880
Übrige Dienstleistungen	9.650	23.040
Summe	131.710	193.540

Abb. 29: Beschäftigungseffekte in Deutschland bei einem 40 %-Reduktionsszenario (SCHEELHAASE, 2001)

Durch verstärkte Bemühungen im Bereich des Klimaschutzes wird es in Deutschland bis zum Jahr 2020 zu teilweise starken Verschiebungen des Arbeitsplatzangebots zwischen den verschiedensten Sektoren kommen. Dabei dürfen die Sektoren nicht isoliert betrachtet werden, da aufgrund der Wechselwirkungen der einzelnen Sektoren nur eine gesamtheitliche Betrachtungsweise sinnvoll ist. Beispielsweise werden durch den Einsatz von erneuerbarer Energie und der damit einhergehenden Umstrukturierung des Kraftwerkparcs unter anderem der Bau- und der Maschinenbausektor positiv beeinflusst. Hingegen gehen im Bergbausektor Arbeitsplätze verloren. In der oben angeführten Abbildung ist ersichtlich, dass für Deutschland bis 2020 mit einem Nettobeschäftigungseffekt von rund 194.000 Arbeitsplätzen zu rechnen ist. Bei verstärkten Bemühungen zum Klimaschutz wird die Energieversorgung vermehrt auf alternative Energieformen setzen. Man sollte

jedoch nicht außer Acht lassen, dass diese Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt national sehr unterschiedlich ausfallen können. So werden erdölexportierende Länder weitaus höhere negative Effekte verbuchen als Länder, welche Erdöl importieren.

6.4 Versorgungssicherheit

In der heutigen Gesellschaft ist ein Leben ohne Energie nicht mehr vorstellbar. Für einen Großteil der Weltbevölkerung ist es selbstverständlich, dass Energie jederzeit und in ausreichendem Maß zur Verfügung steht. Jedoch zeigten uns die Blackouts im Jahr 2003, wie angreifbar und verletzlich Volkswirtschaften durch den Wegfall von Energie sind. Wie in Abbildung 8 ersichtlich, werden rund 55 % des weltweiten Primärenergieverbrauchs durch Erdöl und Gas gedeckt. Dies ist besonders bedenklich, da die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern große Risiken in sich birgt. Grundsätzlich kann zwischen vier Risiken der Versorgungssicherheit unterschieden werden. Dazu zählen physische, wirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Risiken. (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2001)

6.4.1 Physische Risiken

Ein Grund für eine physische Unterbrechung der Energieversorgung kann durch die Erschöpfung einer Energiequelle hervorgerufen werden. Angesichts der stetig wachsenden Weltbevölkerung und des einhergehenden steigenden Energieverbrauchs werden endliche Rohstoffe immer knapper bis sie letztendlich völlig aufgebraucht sind. Durch den steigenden Energieverbrauch werden die teilweise veralteten Versorgungsnetze immer stärker belastet, wodurch es immer wieder zu Blackouts kommt. Aber auch eine Produktionseinstellung, welche durch einen Streik, einer geopolitischen Krise, einer Naturkatastrophe oder durch zu hohe Produktionskosten hervorgerufen wird, kann eine funktionierende Energieversorgung bedrohen. Welche Auswirkungen eine Produktionseinstellung haben kann, zeigte sich 2003, als in vielen Teilen der Welt der Strom ausgefallen ist und Millionen von Menschen davon betroffen waren. (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2001)

6.4.2 Wirtschaftliche Risiken

Die Ursache für wirtschaftliche Risiken ist in der Kursvolatilität von weltweit gehandelten Energieträgern zu finden. Schwankungen des Erdölpreises wirken sich direkt auf die Preise von Erdgas aus. Da die Erdölpreise ständig steigen, führt dies auch unweigerlich zu einer Erhöhung der Energiekosten. Wenn man bedenkt, dass ein Großteil des Energieverbrauchs vom Dienstleistungssektor und der Haushalte durch Erdöl und Erdgas gedeckt wird, so ist es offensichtlich, dass solche Veränderungen enorme Auswirkungen auf die Wirtschaft haben. Besonders schmerzhaft war die erste Ölkrise 1973, als die Organisation der erdölexportierenden Länder (OPEC) die Fördermengen bewusst reduzierte. Die daraus resultierenden Folgen waren gewaltige gesamtwirtschaftliche Auswirkungen, welche zu starken Rezessionen in den Industrieländern führte. Im Folgenden hat es immer wieder Ölknappheiten gegeben. Jedes Mal hatte dies beträchtliche Auswirkungen auf die Volkswirtschaften. In Zukunft ist es möglich, dass aufgrund von sinkenden Fördermengen und der daraus resultierenden Verknappung der fossilen Energieträger eine neue Erdölkrise anstehen kann. (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2001)

6.4.3 Gesellschaftliche Risiken

Heutzutage ist Öl ein genauso wichtiges Gut für die Wirtschaft, wie es das Brot zum Leben darstellt. Durch die Verknappung des Rohstoffs Öl wird die Schere zwischen Angebot und Nachfrage immer größer. Dadurch werden die Bemühungen der einzelnen Staaten, sich einen Anteil an den verbleibenden Reserven zu sichern, zunehmend stärker. Diese Instabilität der Energieversorgung kann Ursache für soziale Spannungen sein, welche letztendlich auch zu Kriegen führen können. Dies ist vergleichbar mit der Brotknappheit vor zweihundert Jahren. (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2001) Auch der Terrorismus stellt ein nicht zu unterschätzendes Risiko für die heutige Gesellschaft dar. Der Energiesektor scheint hierbei in Anbetracht unserer Abhängigkeit ein für Terroristen lohnendes Ziel zu sein. Da von der Förderanlage bis zu den EndverbraucherInnen meistens riesige Distanzen zurückgelegt werden müssen, ist eine Überwachung und effektiver Schutz vor Terroranschlägen nahezu unmöglich. Des Weiteren haben zentralistische Energieversorgungssysteme den Nachteil, dass durch einen gezielten Anschlag ein Blackout in großer Dimension verursacht werden kann. (PETERMANN, 2006)

6.4.4 Ökologische Risiken

Durch die fossile Energienutzung besteht eine potentielle Gefährdung der Umwelt. Umweltschäden können durch Unfälle oder Schadstoffemissionen verursacht werden. Ein besonders spektakulärer Unfall ereignete sich 1986 in der Ukraine im Kernkraftwerk Tschernobyl. Durch diesen „Super-GAU“ wurden große Mengen an radioaktivem Material freigesetzt, wodurch es zu einer immensen Umweltkatastrophe kam. Wenn man bedenkt, dass bereits ein Liter Öl eine Million Liter Wasser verunreinigen kann wird klar, dass bereits kleinere Unfälle schwerwiegende Folgen haben können. Weiters werden bei der Energieerzeugung, sozusagen als unliebsames Nebenprodukt, Schadstoffe emittiert, welche sich wie bereits erläutert, negativ auf das Klima auswirken. (EUROPÄISCHE KOMMISSION, 2001)

Heutzutage ist es Standard, dass Erdöl bzw. Erdgas tausende Kilometer unter teils abenteuerlichen Bedingungen quer durch die Welt transportiert werden, um damit Energie zu gewinnen. Diese Energie wird anschließend über riesige Stromnetze an die EndverbraucherInnen geliefert. Es werden also keine Mühen gescheut, um den Energiehunger der Industriestaaten zu stillen. Wenn man diese Bemühungen auf den erneuerbaren Energiesektor umlegen würde, wäre eine Umstellung auf eine nachhaltige Energieversorgung durchaus realistisch. (PREUSS, 2005) Diese hätte wesentliche Vorteile gegenüber einer fossilen Energieerzeugung. Die physischen Risiken könnten minimiert werden, da eine nachhaltige Energieversorgung vermehrt auf dezentrale Strukturen aufbaut. Die verstärkte Unabhängigkeit von der politischen Lage der erdölexportierenden Länder könnte die wirtschaftlichen Spannungen reduzieren und den nationalen Energiemarkt vom Weltmarkt entkoppeln.

7. Schlussbetrachtung

Mithilfe des IPCC-Berichts wurde uns anhand der SRES-Szenarien verdeutlicht, wie sehr sich unser zukünftiges Verhalten auf den Temperaturanstieg auswirken wird. Je weiter wir uns von einer nachhaltigen Lebensweise entfernen, umso dramatischer werden die Auswirkungen auf Menschen, Tiere und Umwelt sein. Nicolas Stern stellte fest, dass ein rasches Handeln im Sinne des Klimaschutzes die beste Lösung wäre, um diese negativen Auswirkungen möglichst gering zu halten.

Ökologisch gesehen ist es durchaus sinnvoll, erneuerbare Energieträger für eine nachhaltige Energieerzeugung einzusetzen. Wir sind jedoch in unserer Arbeit zum Ergebnis gekommen, dass aus ökonomischer Sicht einzelne erneuerbare Energieträger zum jetzigen Zeitpunkt gegenüber konventionellen Energieträgern noch nicht konkurrenzfähig sind. Dies liegt vor allem daran, dass die externen Kosten in der Preisfindung noch nicht berücksichtigt werden. Hierbei besteht dringender Handlungsbedarf, um auf diesem Weg Kostenwahrheit herzustellen.

Bei unserer Rechercharbeit ist uns aufgefallen, dass zwar einige Studien über externe Kosten verfasst wurden, diese weichen jedoch teilweise sehr stark voneinander ab. Grund dafür ist die sehr komplexe Materie, durch welche es äußerst schwer fällt, Faktoren wie Gesundheit, Biodiversität usw. monetär zu bewerten. Unserer Meinung nach wäre es sehr wichtig, dass hier die Forschung auf raschestem Weg vorangetrieben wird, um so fundierte Daten über externe Kosten zu erhalten. Hat man dieses Problem erst gelöst, müssten diese Kosten verpflichtend in die Energiepreisberechnung miteinbezogen werden. Ein weiterer wichtiger Eckpunkt ist die finanzielle Unterstützung des Staates bei der F&E von neuen Technologien, bis diese Marktreife erlangt haben.

Im Laufe der Arbeit wurde uns immer bewusster, dass die Effizienzsteigerung einen sehr wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten muss. Heute wird der Zuwachs an erneuerbarer Energiebereitstellung durch den Mehrkonsum überkompensiert, sodass der relative Anteil von erneuerbarer Energiebereitstellung an der Gesamtenergiebereitstellung sinkt. Die Konsequenz daraus muss sein, dass wir neben dem Einsatz von erneuerbaren Energieträgern auch bewusster mit unserem Energiekonsum umgehen müssen.

*„Wir haben die Erde nicht von unseren Vorfahren geerbt,
sondern von unseren Kindern geliehen.“*

(Altes Indianer-Spruchwort)

Literaturverzeichnis

- AGRANA: Was ist Bioethanol? 2007,
http://www.agrana.com/com/de/Agrana_Lehrpfad_2007.pdf (Zugriff am 25.09.2007)
- ALLEY R., BERNTSEN T., BINDOFF N., CHEN Z., CHIDTHAISONG A., FRIEDLINGSTEIN P., GREGORY J., HEGERL G., HEIMANN M., HEWITSON B., HOSKINS B., JOOS F., JOUZEL J., KATSOV V., LOHMANN U., MANNING M., MATSUNO T., MOLINA M., NICHOLLS N., OVERPECK J., QIN D., RAGA G., RAMASWAMY V., REN J., RUSTICUCCI M., SOLOMON S., SOMERVILLE R., STOCKER T., STOTT P., STOUFFER R., WHETTON P., WOOD R., WRATT D.: Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen - Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC). Bern, 2007 <http://www.ubavie.gv.at/fileadmin/site/presse/news2007/SPM-WG1deutschApril07.pdf> (Zugriff am 11.06.2007)
- ASBECK F.: Die Zukunft der Sonnenenergie. In: SCHWANHOLD E., KUMMER B.: Nachhaltige Energiepolitik: Herausforderungen der Zukunft. Bad Honnef, 136-143, 2006
- BEILKE S., UHSE K.: Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes. 2000,
<http://www.umweltbundesamt.de/luft/downloads/treibhsg.pdf> (Zugriff am 22.05.2007)
- BENNEWITZ J.: Energie für die Zukunft: Analyse des Energiebedarfs der Weltbevölkerung. Düsseldorf, 1991
- BILITEWSKI B., URBAN A., FAULSTICH M.: Thermische Abfallbehandlung. Dresden, 2005
- BLATTER M.: Geografie der erneuerbaren Energien. Münchenstein, 2006
- BRÄUER W., KOPP O., RÖSCH R.: Ökonomische Aspekte internationaler Klimapolitik: Effizienzgewinne durch Joint Implementation mit China und Indien. Heidelberg, 1999
- BRIEM S., FAHL U.: Ansätze zur Modellierung von Beschäftigungseffekten in Energiesystemen. Stuttgart, 2004
- BÜHRKE T., WENGENMAYR R.: Erneuerbare Energie: Alternative Energiekonzepte für die Zukunft. Weinheim, 2007
- DAS LEBENSMINISTERIUM: BtL-Kraftstoffe. 2006,
http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen/download/2405_1.pdf (Zugriff am 30.09.2007)
- DEUTSCHER VERBAND FLÜSSIGGAS: Autogasanlage. o.J.,
<http://www.autogastanken.de/index.php?session=t1jia7gsbqlv7amj73hc34h791&entryid=16> (Zugriff am 30.09.2007)
- DGS: Verteilung der Sonneneinstrahlung. o.J., http://www.dgs-berlin.de/fileadmin/PDF/PV7_Verschattung.pdf (Zugriff am 15.10.2007)
- DIEBRENNSTOFFZELLE.DE: Die Geschichte der Brennstoffzelle. o.J.,
<http://www.diebreennstoffzelle.de/index.shtml> (Zugriff am 03.10.2007)

- DIEKMANN J., HORN M., HRUBESCH P., PRAETORIUS B., WITTKER F., ZIESING H.: Fossile Energieträger und erneuerbare Energiequellen. Jülich, 1995
- EGGER P.: Stand der Technik von Wasserstoff-Fahrzeugen. In: Energieverwertungsagentur (Hrsg.): Das Auto von morgen – Schnee von gestern? Wien, S. 9-10, 2004
- EUROPÄISCHE KOMMISSION: Grünbuch: Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit. 2001, http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy-supply/doc/green_paper_energy_supply_de.pdf (Zugriff am 12.07.2007)
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE: Basisinformationen zu BtL-Kraftstoffen. 2006, http://www.fnr-server.de/cms35/fileadmin/fnr/images/aktuelles/medien/BtL/BtL_Basisinformationen.pdf (Zugriff am 30. 09.2007)
- GLEITMANN S.: Erneuerbare Energien & Alternative Kraftstoffe: Mit neuer Energie in die Zukunft. Kremmen, 2004
- HABERL H., KRAUSMANN F., ERB K., SCHULZ N., ADENSAM H.: Biomasseinsatz und Landnutzung Österreich 1995-2020. Wien, 2001
- HARTMANN H., STREHLER A.: Die Stellung der Biomasse: im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht. Münster, 1995
- HAU E.: Windkraftanlagen: Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit. Münschen, 2003
- HEIER S.: Windkraftanlagen: Systemauslegung, Integration und Regelung. Stuttgart/ Leipzig/ Wiesbaden, 2003
- HEINDLER M., CERVENY M., LEUTGÖB K., FREUND R.: Contracting: als ökologischer Weg zur Energieeffizienz. Wien, 1998, [http://www.energyagency.at/\(de\)/projekte/cont_oegut.htm](http://www.energyagency.at/(de)/projekte/cont_oegut.htm) (Zugriff am 15.09.2007)
- HEINLOTH K.: Die Energiefrage: Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten. Bonn, 2003
- HENNICKE P., SEIFRIED D.: Das Einsparkraftwerk – eingesparte Energie neu nutzen. Berlin, 1996
- HENNING H. M.: Energieeffiziente Kühlung. 2005, <http://www.aee.at/index.htm?publikationen/zeitung/verzeichnis.php> (Zugriff am 15.09.2007)
- HERHOLZ U.: Wachstumspotentiale erneuerbarer Energien und ihre Implikationen für Klimaschutz, Versorgungssicherheit und Wettbewerbsfähigkeit. Hamburg, 2005
- HIRSCHL B., HOFFMANN E., ZAPFEL B., HOPPE-KILPPER M., DURSTEWITZ M., BARD J.: Markt- und Kostenentwicklung erneuerbarer Energien: 2 Jahre EEG – Bilanz und Ausblick. Berlin, 2002
- HM-TREASURY: Stern Review: Der wirtschaftliche Aspekt des Klimawandels. 2006, http://www.hm-treasury.gov.uk/media/A/A/stern_longsummary_german.pdf (Zugriff am 30.08.2007)

- HOUGHTON J.: Globale Erwärmung: Fakten, Gefahren und Lösungswege. Oxford, 1997
- HUPFER P.: Klimasystem der Erde: Diagnose und Modellierung, Schwankungen und Wirkungen. Berlin, 1991
- HYBRID-INFOS.DE: Kosten für ein Hybridauto. 2007, <http://www.hybrid-infos.de/006.html> (Zugriff am 26.09.2007)
- INITIATIVE BRENNSTOFFZELLE: Der Strom, der aus der Zelle kommt. 2007, <http://www.initiative-brennstoffzelle.de/de/live/start/8.html> (Zugriff am 03.10.2007)
- INNOVATIONSPARK-BRENNSTOFFZELLE: Das Grundprinzip der Brennstoffzelle. o.J., <http://www.innovation-brennstoffzelle.de/bzelle/haupt3.html> (Zugriff am 03.10.2007)
- INSTITUT FÜR KRAFTFAHRWESEN AACHEN: Hybridantriebe – Strukturvarianten, Betriebsstrategien sowie deren Vor- und Nachteile. 1998, <http://www.ika.rwth-aachen.de/forschung/veroeffentlichung/1998/26.-27.03/index.php#> (Zugriff am 26.09.2007)
- KALTSCHMITT M., WIESE A., STREICHER W.: Erneuerbare Energien: Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte. Leibzig/Frankfurt/Graz, 2003
- KARAMANOLIS S.: Phänomen Energie. Neubiberg bei München, 1993
- KEMFERT C.: Klimawandel kostet die deutschen Volkswirtschaft Milliarden. DIW Berlin Wochenbericht Nr. 11, S.167, 2007
- KLÜNDER M.: Least-Cost Planning: Ein energiepolitisches Instrument auf dem Prüfstand. Hannover, 2000, <http://edok01.tib.uni-hannover.de/edoks/e002/323035191.pdf> (Zugriff am 11.09.2007)
- KNOW-LIBRARY: Treibhauseffekt. 2006, <http://treibhauseffekt.know-library.net/> (Zugriff am 09.06.2007)
- KREIENKAMP F., SPEKAT A., ENKE W.: Ableitung von Transwetterlagen: Ableitungen von Transwetterlagen und Entwicklung eines interaktiven Diagnose- und Präsentationstools. Potsdam, 2006. http://www.hlug.de/medien/luft/inklim/dokumente/endberichte/klimaprognose_transwl.pdf (Zugriff am 11.06.2007)
- KRESS A.: Maßnahmen zur Anpassung und Vermeidung, ein integrierter Ansatz. 2006, http://osiris.uba.de/gisudienste/Kompass/_pdf/2006-10/abstracts/Kress_AMICA_Massnahmen_zur_Anpassung_Vermeidung.pdf (Zugriff am 10.09.2007)
- KREWITT W., SCHLOMANN B.: Externe Kosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Vergleich zur Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern. Stuttgart, 2006
- KROMP-KOLB H., FORMAYER H.: Schwarzbuch Klimawandel: Wieviel Zeit bleibt uns noch? Salzburg, 2005
- LATIF M.: Herausforderung Klimawandel: Was wir jetzt tun müssen. München, 2007
- LAUER H.: Technologien regenerativer Energien. In: STREICHER J.: Regenerative Energien: Biomasse-Sonne-Wasser-Wind. Frankfurt, S.21-27, 2002

- LEHMANN H., REETZ T.: Zukunftsenergien: Strategien einer neuen Energiepolitik. Berlin, 1995
- LICHTBLAU G.: Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors in Österreich – Eine Bilanz. In: Energieverwertungsagentur (Hrsg.): Das Auto von morgen – Schnee von gestern? Wien, S. 3-4, 2004
- MATARÉ H., FABER P.: Erneuerbare Energien: Erzeugung, Speicherung, Einsatzmöglichkeiten. Düsseldorf, 1993
- MORRIS C.: Zukunftsenergien: Die Wende zum nachhaltigen Energiesystem. Hannover, 2005
- NEUBACHER F., HIMMEL W.: Thermische Restmüllbehandlung in Österreich: Weißbuch – Zahlen, Daten, Fakten. Wien, 1999
- OGOREK J.: Grundlagen der Nutzung von Sonnenenergie. In: STREICHER J.: Regenerative Energien: Biomasse-Sonne-Wasser-Wind. Frankfurt, S.64-68, 2002
- PEHNT M., KREWITT W., NITSCH J., NAST M., TRIEB F., VIEBAHN P., STAISS F., LANGNISS O., KRATZAT M.: Erneuerbare Energien: Innovationen für die Zukunft. Berlin, 2006, http://www.bmu.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_innovation.pdf (Zugriff am 20.06.2007)
- PETERMANN J.: Sichere Energie im 21. Jahrhundert. Hamburg, 2006
- PLANK J.: Biogastreibstoffkonzept für Europa. In: Energieverwertungsagentur (Hrsg.): Das Auto von morgen – Schnee von gestern? Wien, S. 15-17, 2004
- POLLAK K.: Angesagte Revolutionen finden nicht statt. In: Energieverwertungsagentur (Hrsg.): Das Auto von morgen – Schnee von gestern? Wien, S. 7-9, 2004
- PONTENAGEL I., HAU E., KÖHLER M., LEHMANN H., SCHULTE-TIGGES G.: Das Potential erneuerbarer Energien in der Europäischen Union: Ansätze zur Mobilisierung erneuerbarer Energien bis zum Jahr 2020. Heidelberg, 1995
- PREUSS O.: Energie für die Zukunft. Wiesbaden, 2005
- QUASCHNING V.: Energieaufwand zur Herstellung regenerativer Anlagen. 2002, <http://www.volker-quaschning.de/datserv/kev/index.html> (Zugriff am 15.05.2007)
- QUASCHNING V.: Regenerative Energiesysteme: Technologie, Berechnung, Simulation. Almeria, 2003
- RECHSTEINER R.: Grün gewinnt: Die letzte Ölkrise und danach. Zürich, 2003
- REEKER M.: Kostenentwicklung erneuerbarer Energien: Eine Erfahrungskurvenanalyse des Erneuerbare-Energien-Gesetzes. Göttingen, 2004
- REICHMUTH M., BOHNENSCHÄFER W., DANIEL J., FRÖHLICH N., LINDNER K., MÜLLER M., WEBER A., WITT J.: Auswirkungen der Änderungen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes hinsichtlich des Gesamtvolumens der Förderung, der Belastung der Stromverbraucher sowie der Lenkungswirkung der Fördersätze für die einzelnen Energiearten. Leipzig, 2006

- RENNER R., PLÖBST S.: Contracting: Finanzierung durch Energieeinsparung. Salzburg, 2007, <http://www.eko-salzburg.at/deutsch/contacting.htm> (Zugriff am 21.09.2007)
- ROGALL H.: Ökonomie der Nachhaltigkeit: Handlungsfelder für Politik und Wirtschaft. Wiesbaden, 2004
- SATTLER N.: Opel setzt auf Erdgas als Kraftstoff – eine echte Alternative mit Hürden. In: Energieverwertungsagentur (Hrsg.): Das Auto von morgen – Schnee von gestern? Wien, S. 11-12, 2004
- SCHEELHAASE J.: Klimaschutz und Arbeitsplätze: Sind Klimaschützende Maßnahmen ein sinnvoller Beitrag zur Arbeitsmarktpolitik? Frankfurt am Main, 2001
- SCHINDLER V.: Kraftstoffe für morgen: Eine Analyse von Zusammenhängen und Handlungsoptionen. Heidelberg, 1997
- SCHULZ W., BARTELS M., GATZEN C., LINDENBERGER D., MÜSGENS F., PEEK M., SEELIGER A., STEUBER D., WISSEN R., HOFER P., KIRCHNER A., SCHEELHAASE J., SCHLESINGER M.: Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030: Energiewirtschaftliche Referenzprognose. München, 2005
- SPECHT M., ZUBERBÜHLER U., ZIMMER U., STADERMANN G.: Regenerative Kraftstoffe: Entwicklungstrends, Forschungs- und Entwicklungsansätze, Perspektiven. Stuttgart, 2003
- STAISS F., LINKOHR C., ZIMMER U.: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. 2007, http://www.erneuerbare-energien.de/files/erneuerbare_energien/downloads/application/pdf/broschuere_ee_zahlen.pdf (Zugriff am 12.06.2007)
- TIMPE C.: Boden-Wasser-Wind. 2006, http://www.rek-weserbergland.de/Energie_interaktiv/Workshops/Boden-Wasser-Wind/boden-wasser-wind.html (Zugriff am 23.06.2007)
- TOYOTA: Prius – Die Zukunft atmet auf. o.J., http://www.toyota.de/cars/new_cars/prius/ (Zugriff am 29.09.2007)
- UMWELTBUNDESAMT: Industrielle Abwärme. o.J., <http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/industrie/einfluesse/waerme/> (Zugriff am 20.08.2007)
- VAHRENHOLT F.: Die Zukunft der Windenergie. In: Schwanhold E. und Kummer B. (Hrsg.): Nachhaltige Energiepolitik: Herausforderungen der Zukunft. Bad Honnef, S. 124-134, 2006
- WALLENWEIN E.: Internalisierung externer Kosten am Beispiel des Emissionshandelssystem. 2007, http://sun.lut.rwth-aachen.de/lehre/lehrangebot/uwuf2007/Vortrag_Wallenstein.pdf (Zugriff am 06.09.2007)
- WEISS W.: Erneuerbare Energie: Solarwärme für industrielle Prozesse. 2005, <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien138.pdf> (Zugriff am 4.6.2007)
- WIESMETH H.: Umweltökonomie: Theorie und Praxis im Gleichgewicht. Dresden, 2003
- WIGAND R., OUD E.: Grundlagen der Nutzung von Wasserkraft. In: STREICHER J.: Regenerative Energien: Biomasse-Sonne-Wasser-Wind. Frankfurt, S.92-105, 2002

- WILLIAMS D.: Earth Fact Sheet. 2007,
<http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html> (Zugriff
am 02.06.2007)
- WOKAUN A.: Erneuerbare Energien. Stuttgart, 1999
- WÖLLER R.: Volkswirtschaftslehre: Eine umweltorientierte Einführung. Aachen,
2006
- WÜRDINGER E., WAGNER J., TRÄNKLER J., ROMMEL W.: Studie über die
energetische Nutzung der Biomasseanteile in Abfällen. Augsburg,
1998

Anhang

ALLGEMEINE MAßEINHEITEN	
Exa (E)	Trillion (10^{18})
Peta (P)	Billiarde (10^{15})
Tera (T)	Billion (10^{12})
Giga (G)	Milliarde (10^9)
Mega (M)	Million (10^6)
Kilo (k)	Tausend (10^3)
1 kWh	3,6 MJ

Abstract - Kurzfassung

Unter den KlimaforscherInnen herrscht weltweit relativ große Einigkeit, dass der jetzige Klimawandel direkt mit den Aktivitäten der Menschheit in Verbindung gebracht werden kann. Laut dem IPCC ist je nach Verhalten der Menschen bis zum Jahr 2100 mit einem Temperaturanstieg im Bereich von 1,1 bis 6,4 °C zu rechnen, wobei diese Erwärmung lokal sehr unterschiedliche Ausprägungen haben kann. Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken, wird es nötig sein, mithilfe von erneuerbaren Energieträgern eine nachhaltige Energieversorgung sicherzustellen.

Theoretisch wäre es möglich, den derzeitigen Weltenergieverbrauch um ein Vielfaches mit erneuerbaren Energieträgern abzudecken. Dieses Potential wird aber sehr stark von technischen und wirtschaftlichen Kalkülen eingeschränkt. So wird das theoretische Potential durch Faktoren wie Flächenverfügbarkeit, Konkurrenznutzung, Wirkungsgrad usw. technisch begrenzt. Bei der Betrachtung der Stromgestehungskosten sind die erneuerbaren Energieträger gegenüber den fossilen kaum konkurrenzfähig. Der Grund dafür liegt darin, dass externe Kosten wie negative Auswirkungen auf das Klima, der Gesundheit usw. nicht in die Preisbildung miteinbezogen werden. Aus diesem Grund ist es erforderlich, diese Kosten zu internalisieren, um die Wettbewerbsfähigkeit nachhaltiger und somit klimaschonender Energieerzeugung zu erhöhen.

Da der Verkehr weltweit gesehen einen 20 %igen Anteil an der CO₂-Belastung trägt und den stärksten Zuwachs an CO₂e-Emissionen aufweist, wird es auch hier notwendig sein, verstärkt Klimaschutz zu betreiben. Dazu bedarf es neben einer Verminderung des Kraftstoffverbrauchs der Fahrzeuge auch dem Einsatz von alternativen Kraftstoffen sowie alternativen Antrieben.

Der Einsatz erneuerbarer Energieträger und alternativer Kraftstoffe bzw. Antriebe wird eine wichtige Rolle im Kampf gegen den Klimawandel einnehmen. Nicht zu unterschätzen ist jedoch das Einsparungspotential, welches sich durch Energieeffizienz ergeben kann. Denn wird Energie nicht nachgefragt, muss sie erst gar nicht produziert werden. Dies wäre wohl der beste Weg, Klimaschutz zu betreiben.

Volkswirtschaftlich gesehen wäre es nach dem Stern-Report ökologisch und ökonomisch am besten, wenn Reduktionsmaßnahmen schnellstmöglich durchgeführt werden. Um eine rasche Verringerung der Treibhausgasemissionen zu erreichen wird es nötig sein, einen Preis für Kohlenstoff sowie eine effektive Technologiepolitik zu schaffen. Des Weiteren ist es wichtig, Hemmnisse wie z.B. unzureichende Information oder Organisationsträgheit abzubauen.

Fakt ist, dass es durch verstärkte Bemühungen im Bereich des Klimaschutzes zu teilweise starken Verschiebungen des Arbeitsplatzangebots zwischen den verschiedenen Sektoren kommen wird. Am Beispiel Deutschlands wurde gezeigt, dass Klimaschutzmaßnahmen durchaus positive Auswirkungen für den Arbeitsmarkt darstellen. Diesen positiven Auswirkungen stehen auch negative Effekte gegenüber. So werden im fossilen Bereich der Energieerzeugung Arbeitsplätze verloren gehen.

Ferner hätte eine nachhaltige Energieerzeugung gegenüber fossiler Energieerzeugung wesentliche Vorteile bezüglich der Versorgungssicherheit. Die physischen Risiken könnten minimiert werden, da eine nachhaltige Energieversorgung vermehrt auf dezentralen Strukturen aufbaut. Die verstärkte Unabhängigkeit von der politischen Lage der erdölexportierenden Länder könnte die wirtschaftlichen Spannungen reduzieren und den nationalen Energiemarkt vom Weltmarkt entkoppeln.

Lebenslauf

Angaben zur Person

Nachname / Vorname **Christian, Fenz**
Adresse Wechselbundesstraße 142, A-2625 Schwarzau am Steinfelde
Telefon +43 650 813 72 82
Staatsangehörigkeit Österreich
E-mail christianfenz@gmx.at
Geburtsdatum 10.05.1980

Berufserfahrung

10/2001 - laufend

Beruf oder Funktion Geringfügig Beschäftigter
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten Kundenbetreuung in Niederösterreich und Burgenland
Name und Adresse des Arbeitgebers IDS-Media
6040 Innsbruck, Serlesstraße 17-19

06/2000 - laufend

Beruf oder Funktion Geringfügig Beschäftigter
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten Mithilfe bei Messeveranstaltungen
Name und Adresse des Arbeitgebers Arena Nova
2700 Wiener Neustadt, Rudolf-Diesel Straße 30

08/1996 & 08/97

Beruf oder Funktion Ferialpraktikant
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten Mitarbeit in der Gartenabteilung
Name und Adresse des Arbeitgebers Constantia Patz
2620 Loipersbach, Guntramser Straße 7

08/1995 & 07/98

Beruf oder Funktion Ferialpraktikant
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten Mitarbeit in der Produktionsabteilung
Name und Adresse des Arbeitgebers Paul & Co
2624 Breitenau am Steinfelde, Fabriksstraße 15

04/1995

Beruf oder Funktion Ferialpraktikant
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten Mitarbeit in der Produktionsabteilung
Name und Adresse des Arbeitgebers Weissenböck
2620 Neunkirchen, Weissenböckstraße 1

Schul- und Berufsbildung

10/2005-laufend

Studienrichtung/
Vertiefung

Magisterstudium Umwelt- und Bioressourcenmanagement
Abfall- und Kreislaufwirtschaft, Management atmosphärischer
Ressourcen

Name und Art der Bildungs-
oder Ausbildungseinrichtung

Universität für Bodenkultur Wien
1180 Wien, Gregor Mendel Straße 33

10/2005 - laufend

Studienrichtung/
Vertiefung

Magisterstudium Betriebswirtschaft
Energie- und Umweltmanagement

Name und Art der Bildungs-
oder Ausbildungseinrichtung

Universität Wien
1210 Wien, Brünner Strasse 72

03/2001 – 09/2005

Bezeichnung der erworbenen
Qualifikation

Bakk.rer.soc.oec.

Studienrichtung/
Vertiefung

Bakkalaureatsstudium Betriebswirtschaft
Produktion & Logistik, Finanzdienstleistungen

Name und Art der Bildungs-
oder Ausbildungseinrichtung

Universität Wien
1210 Wien, Brünner Strasse 72

10/2000 - 03/2001

Studienrichtung

Wirtschaftsinformatik

Name und Art der Bildungs-
oder Ausbildungseinrichtung

Universität Wien
1010 Wien, Dr.-Karl-Lueger-Ring 1

09/1994 - 06/1999

Bezeichnung der erworbenen
Qualifikation

Matura

Hauptfächer/berufliche
Fähigkeiten

Maturafächer:
Deutsch, Englisch, Mathematik, Betriebswirtschaft,
Rechnungswesen, Controlling, Biologie

Name und Art der Bildungs-
oder Ausbildungseinrichtung

Handelsakademie
2700 Wiener Neustadt, Ungargasse 29

Persönliche Fähigkeiten und Kompetenzen

Muttersprache

Deutsch

Sonstige Sprachen

Englisch, Französisch

Soziale und organisatorische
Fähigkeiten und Kompetenzen

zuverlässig, selbstständig, verantwortungsvoll, teamfähig,
tolerant, lernfähig

Führerschein

Gruppe A,C

Zusätzliche Angaben

10/1999 - 05/2000

Grundwehrdienst
2603 Großmittel

Lebenslauf

Angaben zur Person

Nachname / Vorname	Wolfgang, Weißensteiner
Adresse	Ullrichs 3, A-3932 Kirchberg am Walde
Telefon	+43 660 52 11 325
Staatsangehörigkeit	Österreich
E-mail	wolfgang.weissensteiner@utanet.at
Geburtsdatum	22.07.1976

Berufserfahrung

01/1998 - 12/2002

Beruf oder Funktion	Kontrollor im Außendienst
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten	Kontrolle von landwirtschaftlichen Betrieben
Name und Adresse des Arbeitgebers	Austria Bio Garantie 2202 Enzersfeld, Königsbrunnerstraße 8

06/1996 - laufend

Beruf oder Funktion	Selbstständiger Landwirt
Wichtigste Tätigkeiten und Zuständigkeiten	Organisation, Verwaltung, Buchhaltung, Wald- und Feldbewirtschaftung
Adresse	3932 Kirchberg am Walde, Ullrichs 3

Schul- und Berufsbildung

10/2005 - laufend

Studienrichtung/ Vertiefung	Magisterstudium Umwelt- und Bioressourcenmanagement Abfall- und Kreislaufwirtschaft, Management atmosphärischer Ressourcen
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Universität für Bodenkultur Wien 1180 Wien, Gregor Mendel Straße 33

10/2005 - laufend

Studienrichtung/ Vertiefung	Magisterstudium Betriebswirtschaft Energie- und Umweltmanagement
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Universität Wien 1210 Wien, Brünner Strasse 72

04/2002 - 09/2005

Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Bakk.rer.soc.oec.
Studienrichtung/ Vertiefung	Bakkalaureatsstudium Betriebswirtschaft Produktion & Logistik, Finanzdienstleistungen
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Universität Wien 1210 Wien, Brünner Strasse 72

10/2000 - 04/2002	
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Matura
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Maturafächer: Deutsch, Englisch, Mathematik, Landwirtschaft
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	BFI Gmünd 3950 Gmünd, Arbeiterheimgasse 1
23.03.1998	
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Landwirtschaftsmeister
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Landtechnik, Pflanzenbau, Tierhaltung, Waldwirtschaft
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Landwirtschaftliche Fachschule Edelfhof 3910 Zwettl, Edelfhof 1
09/1990 - 06/1994	
Bezeichnung der erworbenen Qualifikation	Landwirtschaftlicher Facharbeiter
Hauptfächer/berufliche Fähigkeiten	Landtechnik, Pflanzenbau, Tierhaltung, Waldwirtschaft
Name und Art der Bildungs- oder Ausbildungseinrichtung	Landwirtschaftliche Fachschule Edelfhof 3910 Zwettl, Edelfhof 1
Persönliche Fähigkeiten und Kompetenzen	
Muttersprache	Deutsch
Sonstige Sprachen	Englisch
Soziale und organisatorische Fähigkeiten und Kompetenzen	Zuverlässigkeit und Selbstständigkeit Fähigkeit zu Selbstreflexion Übernahme von Verantwortung Arbeit mit Gruppen und Begleitung von Gruppenprozessen Leitungserfahrung (erworben als Leiter einer Jugendgruppe)
Führerschein	Gruppe A,C,E
Zusätzliche Angaben	
10/1995 - 05/1996	Grundwehrdienst 3970 Weitra