

Lukas Gutzwiller, Bundesamt für Energie

Im vorliegenden Exkurs geht es darum, das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft darzustellen und aus der Sicht der Energieperspektiven zu diskutieren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Ausgangslage	2
3	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen der Weltbevölkerung	5
4	Energieverbrauch und CO ₂ -Emissionen in der 2000-Watt-Gesellschaft der Schweiz	7
5	Die Technologie-Roadmap der CORE	9
6	Folgerungen.....	10
	Referenzen.....	12

1 Einführung

In seinem Bericht „Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002“ (Schweizerischer Bundesrat; März 2002, S. 24) hält der Bundesrat fest: „Das Szenario der 2000-Watt-Gesellschaft dient der Energie- und Klimapolitik als Zielvorstellung, was langfristig eine Reduktion der Treibhausgase (primär CO₂) auf nachhaltig eine Tonne/Kopf, eine Deckung des Energieverbrauchs von 500 Watt/Kopf aus fossilen und 1500 Watt/Kopf aus erneuerbaren Energieträgern erfordern würde. Diese strebt der Bundesrat in den nächsten Jahrzehnten an. In dieser Hinsicht unterstützt der Bundesrat weitere Abklärungen einer bundesinternen Arbeitsgruppe, die Zwischenziele formuliert und Zuständigkeiten und Termine abklärt.“

Der Bundesrat nennt also in seiner Strategie "Nachhaltige Entwicklung" kein Zieljahr zum Erreichen der 2000 Watt Gesellschaft.

Innerhalb des ETH-Bereichs haben sich in den letzten Jahren verschiedene Institute mit dem Thema der 2000-Watt-Gesellschaft auseinandergesetzt. Als neuere Beiträge sind neben der Energieforschungsstrategie (Boulouchos et al., 2005) insbesondere die Arbeiten unter Novat Atlantis (Jochem et al, 2002 und 2004.) und das Buch von Koschenz et al. (2005) zu werten. Während sich die Arbeiten von Novat Atlantis der Frage der technischen Effizienzpotenziale aller Anwendungen annimmt, fokussiert das Buch von Koschenz et al. auf Gebäudetechnik. Zentral bei diesen Darstellungen ist immer die Frage, mit welchen Technologien das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft erreicht werden kann. Davon abgeleitet wird dann der Forschungsbedarf, um diese Technologien auf den Markt zu bringen. Dies ist auch das Anliegen einer Studie, welche die CORE (eidgenössische Energieforschungskommission) mit dem Bundesamt für Energie BFE 2005 durchgeführt hat (Bührer et al., 2005). Diese zeigt die Forschungslücken in den einzelnen Bereichen auf. Der wesentlichste Unterschied dieser Studien zu den Energieperspektiven des BFE ist die Zielsetzung: Während es bei den oben erwähnten Studien um die Identifizierung der zielführenden Technologien geht, werden bei den Energieperspektiven die wirtschaftlich-demografischen Rahmenentwicklungen sowie die energiepolitischen Instrumente und Kosten zur Zielerreichung untersucht.

Auf internationaler Ebene ist die IEA Studie „Energy Technology Perspectives – Scenarios and Strategies to 2050“ (IEA, 2006) zu erwähnen; diese fokussiert insbesondere auf effizientere und CO₂-freie Technologien bei der Stromproduktion wie beispielsweise Erdgas statt Kohle, Kernenergie und CO₂-Abscheidung bei Kohlekraftwerken (Carbon Capture and Sequestration). Auf der Nachfrageseite

leitet die Studie den zunehmenden Energiebedarf vom IEA Energy Outlook ab und macht bezüglich Technologieentwicklung grobe Abschätzungen ohne jedoch auf die Entwicklungskosten und Forschungslücken einzugehen.

Im vorliegenden Exkurs wird die Definition der 2000-Watt-Gesellschaft entsprechend den neusten Arbeiten im ETH-Bereich dargestellt und die wichtigsten Dokumente auf kantonaler und nationaler Ebene zusammengefasst. Die 2000-Watt-Gesellschaft wird von den einzelnen Autoren keineswegs einheitlich definiert – es gibt somit nicht "die" 2000-Watt-Gesellschaft, sondern unterschiedliche Vorstellungen, wie dieser Zustand zu einem unbestimmten, in weiter Ferne liegenden Zeitpunkt erreicht werden kann. Für die Perspektivarbeiten wird davon ausgegangen, dass die 2000-Watt-Gesellschaft in der Schweiz bis 2100 erreicht werden soll; daraus werden Zwischenziele für 2035 und 2050 abgeleitet.

2 Ausgangslage

Die 2000-Watt-Gesellschaft hat zum Ziel langfristig eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen. Darunter wird nach der Brundtland-Definition eine Entwicklung verstanden, welche die heutigen Bedürfnisse zu decken vermag, ohne zukünftigen Generationen die Möglichkeit zu schmälern, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen (Brundtland, 1987).

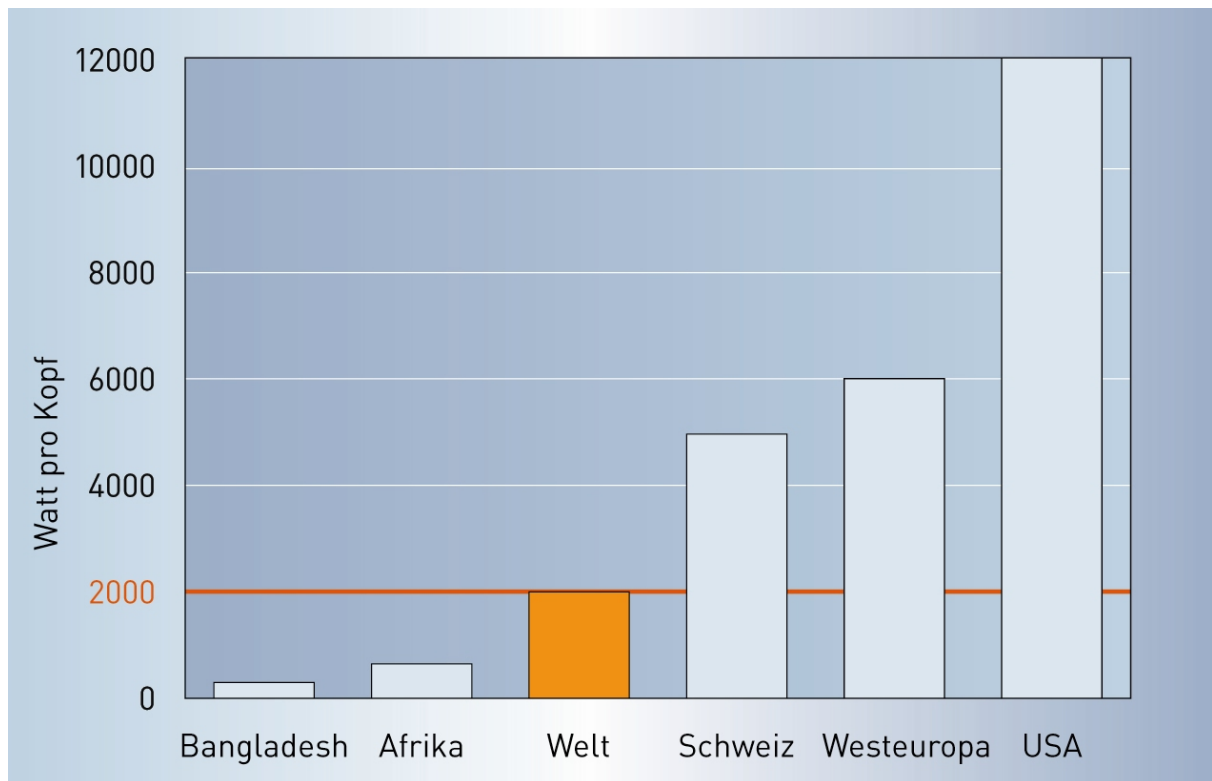
Das Aufhalten des Klimawandels ist eine der vordringlichsten Herausforderungen für eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Gesellschaft. In Fachkreisen geht man davon aus, dass eine Erwärmung um 0.2 Grad Celsius pro Dekade noch keine Bedrohung der Artenvielfalt und des Ökosystems darstellt. Der dritte Zustandsbericht des "Intergovernmental Panel on Climate Change" (Third Assessment Report, IPCC, 2001) zeigt, dass eine längerfristige Stabilisierung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre auf 450 ppmv notwendig ist, damit ein solcher Temperaturanstieg in etwa eingehalten werden kann, beziehungsweise ein Anstieg um mehr als zwei Grad Celsius verhindert werden kann. Klimaforscher haben berechnet, dass bei einer Verdoppelung der vorindustriellen CO₂-Konzentration auf 550 ein Temperaturanstieg von mehr als zwei Grad Celsius mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen 68 und 99 Prozent stattfindet (Meinshausen, 2005).

Da die Nutzung der fossilen Energieträger für den grössten Teil der anthropogenen CO₂-Emissionen verantwortlich ist, muss deshalb eine drastische Reduktion des fossilen Energieverbrauches erfolgen.

Gemäss dem Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft soll der Primärenergieverbrauch der Industrieländer auf 2000 Watt pro Person gesenkt werden. 2000 Watt bezieht sich dabei auf die durchschnittliche Dauerleistung, welche pro Kopf verbraucht wird. Diese Dauerleistung variiert im Tages- und Jahresverlauf (im Winter mehr Heizenergie, am Mittag Stromspitzen) und entspricht einem Energieverbrauch von 2 kW-Jahren pro Jahr oder (1 Jahr = 8760 Stunden) $2 \times 8760 \text{ kWh} = 17'520 \text{ kWh}$ pro Jahr.

Damit der oben beschriebene globale Temperaturanstieg nicht überschritten wird, darf der fossile Anteil längerfristig nicht mehr als 500 Watt pro Person betragen. Die Differenz von 1500 Watt muss demnach aus nicht fossilen d.h. „CO₂-freien“-Quellen stammen.

Figur 1: **Primärenergieverbrauch pro Kopf für verschiedene Länder**



Quelle: Novatlantis, Leichter Leben, 2004.

Das wesentliche Anliegen der 2000-Watt-Gesellschaft ist es, die Klimaschutzziele gerecht auf die gesamte Weltbevölkerung zu verteilen. Deshalb wird der heutige Energieverbrauch „eingefroren“ und gleichmässig (gerecht?) auf alle Erdbewohner verteilt. Der fossile Energieverbrauch muss jedoch auf einen Viertel (rund 500 Watt entsprechend einer Tonne CO₂ pro Kopf) reduziert werden. Es entsteht also eine Pro-Kopf-Allokation von Energiebudgets wie in Figur 1 dargestellt: Der durchschnittliche Energieverbrauch pro Kopf der Weltbevölkerung beträgt 2000 Watt (dies entspricht auch dem Energieverbrauch in der Schweiz im Jahr 1960). Wie schon in Figur 1 gesehen, beträgt der Energieverbrauch in der Schweiz rund 5000 Watt und jener in der USA 12'000 Watt, während Entwicklungsländer einen sehr viel geringeren Energieverbrauch ausweisen.

Ansätze zur Quantifizierung eines möglichen Energieverbrauchsszenarios (Kesselring, Winter, 1994) greifen 1994 erstmals den Begriff einer 2000-Watt-Gesellschaft auf und postulieren deren technische Machbarkeit durch energieeffiziente Umwandlung, Minimierung von nicht erneuerbaren Ressourcen und Maximierung von erneuerbaren Energien. Ergänzend zur technischen Sichtweise kann basierend auf (Goldemberg et al., 2004) und (Suarez, 1995) gezeigt werden, dass ein Energiebedarf von 2000 Watt pro Person unter Einsatz heutiger Technologien genügt, um Wohlstand, wirtschaftliches Wachstum und eine hohe Lebensqualität zu gewährleisten.

Im Jahr 1998 wurde die Idee einer 2000-Watt-Gesellschaft in der „Strategie Nachhaltigkeit im ETH-Bereich“ aufgegriffen (ETH-Rat, 1998) und postuliert, dass diese (für die Schweiz) bis in die Mitte des 21. Jahrhunderts erreicht werden kann/soll. Spreng (Spreng et al., 2002) zeigt, dass die Limite von 63 GJ Primärenergie pro Person und Jahr oder umgerechnet 2000 Watt pro Person aus ökologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Sicht sinnvoll ist und spricht von einem Energieverbrauchsfenster im Zeithorizont 2050-2100 (Spreng und Semadeni, 2001). Ferner wird die These aufgestellt, dass sich der Energieverbrauch pro Person als massgeblicher Indikator zur Beurteilung der Nachhaltigkeit eignet.

In seinem Jahresbericht 2005 des ETH-Rats (ETH-Rat, 2005) wird die 2000-Watt-Gesellschaft wie folgt umschrieben: "Strategisches Ziel der Energieforschung" ist die Nachhaltigkeit, wie sie im Energieartikel der Bundesverfassung definiert ist. Die damit verbundene Vision einer 2000-Watt-Gesellschaft ist eine Metapher für die Zielsetzung, das angestrebte Wirtschaftswachstum bei deutlich reduziertem Primärenergieeinsatz und drastisch reduzierten CO₂-Emissionen zu realisieren."

Da nach Einschätzung des ETH-Rats letztlich die Bevölkerung über den Erfolg nachhaltiger Energiesysteme entscheidet, haben die ETH-Institutionen ihre Vision "2000-Watt-Gesellschaft" popularisiert. Diese Maxime soll sich im Denken der Menschen verfestigen und sie für das Ziel gewinnen, den heutigen Pro-Kopf-Verbrauch an Energie bei gleich bleibender Lebensqualität langfristig auf einen Drittel zu reduzieren und einen zunehmenden Teil dieser Energie erneuerbar zu gewinnen.

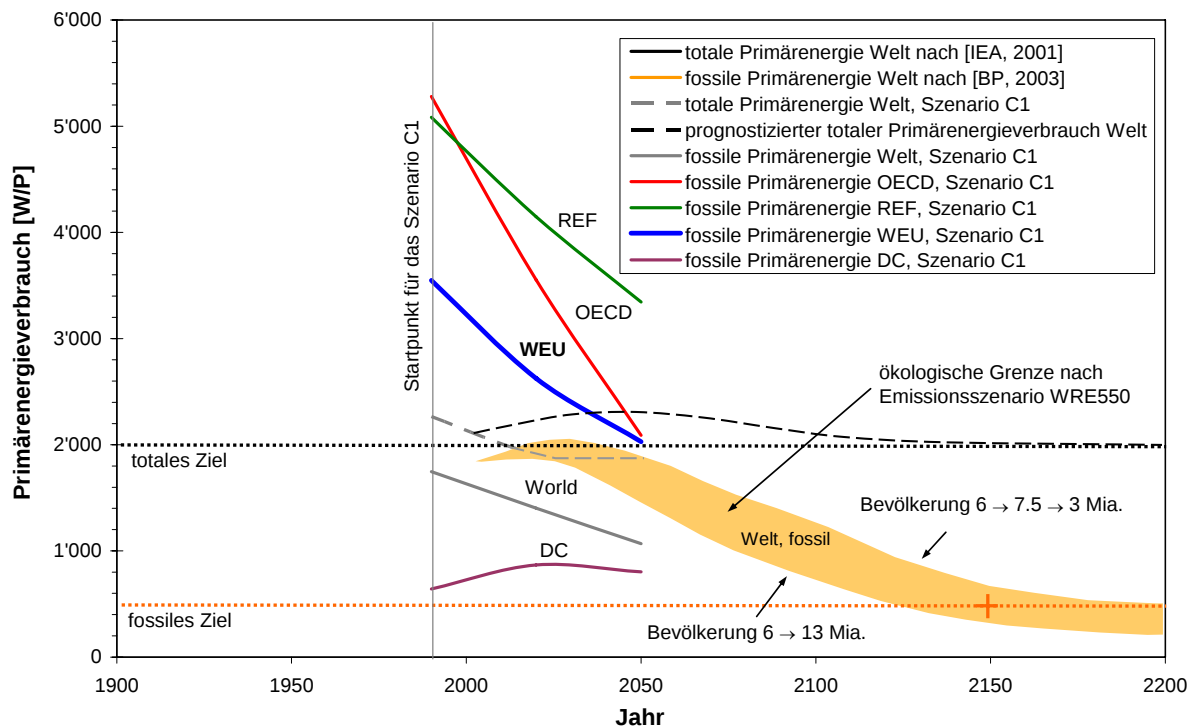
Auch in dieser Formulierung des ETH-Rats wird aber nicht konkret gesagt, bis wann das obige Ziel erreicht werden soll.

Der Verbrauch von 2000 Watt pro Kopf (oder 65 GJ pro Kopf und Jahr) entspricht etwa einem Drittel des heutigen Energieverbrauchs in Westeuropa. Autoren des ETH-Bereichs (Jochem et al., 2004) haben gezeigt, dass diese Vision technisch bis 2050 machbar ist. Natürlich ist ein Gesamtenergieverbrauch von 2000 Watt pro Kopf nicht der einzige Massstab für globale Nachhaltigkeit. Angesichts des Klimawandels wäre gemäss Energieforschungsstrategie (Boulouchos et al., 2005) ein Indikator, der auf dem Kohlenstoffausstoss pro Kopf und Jahr basiert, aussagekräftiger.

3 Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der Weltbevölkerung

Basierend auf dem CO₂-Emissionsszenario der IPCC-Studien (IPCC, 1995 und 2001), (Nakicenovic et al., 2000), welches zu einer Stabilisierung bei 550 ppmv CO₂ führen, lässt sich ein weltweiter Energieverbrauch für die fossilen Energieträger ermitteln (Figur 2). Aus diesem können separate Szenarien für einzelne Grossregionen wie z.B. Nordamerika, Westeuropa usw. abgeleitet werden. Diese Aufteilung basiert auf den Energieperspektiven des World Energy Council (Nakicenovic, Grübler, McDonald, 1998). Insbesondere das dort beschriebene Szenario C1 (welches eine Reduktion der CO₂-Emissionen auf zwei GtC/a im Jahr 2100 vorsieht) verfolgt ein ähnliches ökologisches Ziel wie die 2000-Watt-Gesellschaft.

Figur 2: **Maximal möglicher weltweiter Primärenergieverbrauch**



Figur 2 zeigt den maximal möglichen weltweiten Primärenergieverbrauch (total und fossil) pro Person unter Einhaltung des IPCC-Szenarios WRE550 (IPCC, 1995) für zwei verschiedene Bevölkerungsentwicklungen [UN, 2003]/[World Bank, 1994]. Der Primärenergieverbrauch für den Zeitraum 1925 - 1999 stammt aus (Nakicenovic, Grübler, McDonald, 1998), (IEA, 2001a), (BP, 2003), (WEO, 2002). Legende: WEU = Westeuropa, DC = developing countries, WRE550= Emissionsszenario zur Stabilisierung bei 500ppm entsprechend den Autoren Wigley, Riley and Edmonds (www.dea-ccat.dk/dea-ccat/co2hlp02.htm) und wie im zweiten Sachstandbericht des IPCC verwendet.

In der internationalen Klimapolitik gilt es eine Blockade zu überwinden: Industrieländer tragen historisch gesehen die grösste Verantwortung für die globale Klimaveränderung und sollten daher einen ersten Schritt tun, ihre Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Die USA als grösster Emittent und den höchsten Pro-Kopf-Emissionen (siehe Figur 1) haben das Kyoto-Protokoll nicht ratifiziert. Erst mit dem Beitritt Russlands waren 2005 die Anforderungen für das Inkrafttreten des Protokolls erfüllt. Ohne die USA sind allerdings auch die Entwicklungsländer zu keinen Verpflichtungen bereit. Solange die internationale Klimapolitik keinen Weg aus dieser Sackgasse findet, ist eine Einigung auf notwendige nächste Schritte kaum möglich.

Frühe Massnahmen wie das Kyoto-Protokoll sind von hoher Wichtigkeit, wenn es um eine signifikante Reduktion der Treibhausgas-Emissionen und die damit verbundene Klimastabilisierung geht. Welches sind die Anforderungen an die zukünftige internationale Klimapolitik, welche sowohl die Bedürfnisse der Entwicklungs- und Schwellenländer als auch die Nachhaltigkeitsziele der Industrieländer erfüllen? Zentral ist dabei, ob es genügt, Pro-Kopf-Ziele für die Zukunft zu formulieren oder ob zusätzlich die historischen Emissionen auch berücksichtigt werden müssen. Weiter stellt sich die Frage, welche

Länder diese Massnahmen zu bezahlen haben. Zurzeit wird ein System diskutiert (Höhne, N., 2006), in welchem die Industrieländer verpflichtet sind, ihre Pro-Kopf-Emissionen zu reduzieren. Entwicklungsländer reduzieren ihre Emissionen auf dasselbe Niveau, aber erst verzögert und abhängig von den Massnahmen der Industrieländer. Höhne folgert, dass ein auf diesen Prinzipien basierendes System, eventuell mit weiteren Zwischenstufen und ausgefeilterer Ausgestaltung, den Bedürfnissen der meisten Länder gerecht werden kann.

Während eine weltweite Einigung in der nächsten Dekade unerreichbar scheint, könnten gleichgesinnte Industrieländer gemeinsam mit solchen Entwicklungsländern in der Zwischenzeit den Weg für eine weltweite Einigung ebnen, indem sie demonstrieren, dass Emissionsminderungen ohne weitgehende negative wirtschaftliche Konsequenzen möglich sind. Diese Führungsrolle könnte anderen Ländern als Vorbild dienen und dazu anregen, sich anzuschließen.

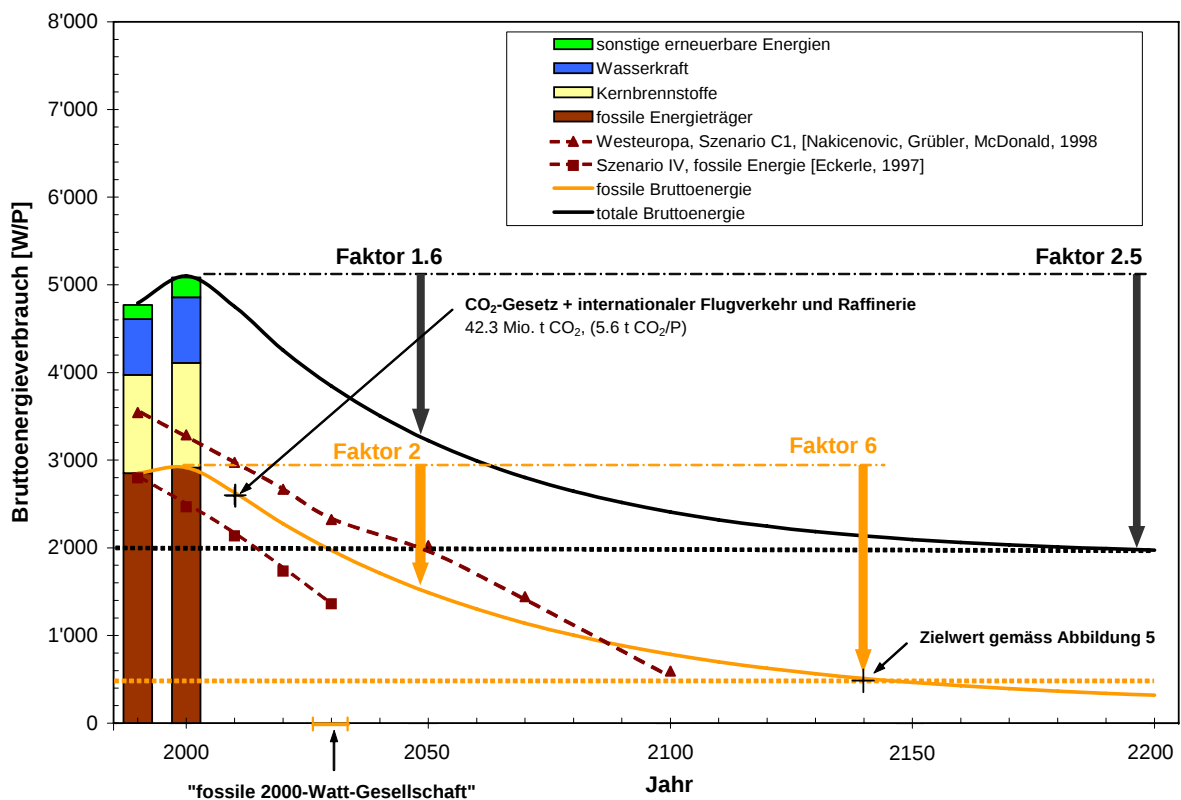
4 Energieverbrauch und CO₂-Emissionen in der 2000-Watt-Gesellschaft der Schweiz

Nachfolgend wird die zur Erreichung der 2000-Watt-Gesellschaft benötigte Verbrauchsreduktion pro Einwohner der Schweiz entsprechend dem Primärenergieverbrauch dargestellt (ohne graue Energie verursacht durch den Nettoimport von Gütern). Der Bruttoenergieverbrauch kann in diesem Fall direkt aus der Gesamtenergiestatistik des BFE (BFE, 2001) übernommen werden.

Beim Flugverkehr ist nach dem Absatz-, Inländer- und Territorialprinzip zu unterscheiden: Das Absatzprinzip entspricht dem in der Schweiz abgesetzten Flugbenzin; das Inländerprinzip entspricht dem von der Schweizer Bevölkerung im internationalen Flugverkehr benötigten Treibstoff und das Territorialprinzip entspricht dem Flugtreibstoff, der im Luftraum über der Schweiz verbraucht wird.

Basierend auf dem aus ökologischer Sicht notwendigen weltweiten fossilen Reduktionsszenario (Figur 2) wird ein nationales Szenario für die Schweiz entwickelt. Energieszenarien welche das Ziel einer nachhaltigen Klimapolitik verfolgen, erwarten für Westeuropa (Nakicenovic, Grübler, McDonald, 1998) sowie für die Schweiz (Prognos im Auftrag BFE, 1997) eine Halbierung des fossilen Energieverbrauchs innerhalb von 60 resp. 40 Jahren. Auch das Szenario IV der aktuellen BFE-Energieperspektiven strebt eine Halbierung der CO₂-Emissionen bis 2050 an.

Figur 3: **Szenario für den durchschnittlichen Bruttoenergieverbrauch pro Einwohner der Schweiz und Jahr**



Figur 3 zeigt ein Szenario für den durchschnittlichen Bruttoenergieverbrauch pro Einwohner der Schweiz und Jahr (ohne graue Energie), inkl. internationalem Flugverkehr durch die Schweizer Bevölkerung; unberücksichtigt bleiben erneuerbare Energien, welche am Gebäude gewonnen werden, bspw. Umgebungswärme (nach Koschenz et al., 2005).

Als kurzfristiges Ziel kann das CO₂-Gesetz erwähnt werden, welches eine CO₂-Emissionsreduktion bis zum Jahr 2010 um zehn Prozent gegenüber dem Stand von 1990 vorschreibt. Nach einem leichten Rückgang der CO₂-Emissionen mit dem Konjunkturerinbruch anfangs der 90er-Jahre war zwischen 1996 und 1999 eine Zunahme zu beobachten. Von 1999 bis 2004 sind die Emissionen weitgehend konstant geblieben (Bafu, 2006: www.bafu.admin.ch/klima/index.html?lang=de).

Um eine 2000-Watt-Gesellschaft zu erreichen gilt langfristig auch für die Schweiz das Ziel, den CO₂-Ausstoss auf eine Tonne pro Person zu begrenzen (ETH-Rat, 1998), was einer fossilen Dauerleistung von etwa 500 Watt entspricht. Basierend auf diesen Angaben kann nach der Auffassung von Koschenz et al. das fossile Reduktionsszenario entwickelt werden (Figur 3). Mit diesem Szenario würde etwa im Jahr 2030 eine „fossile 2000-Watt-Gesellschaft“ erreicht.

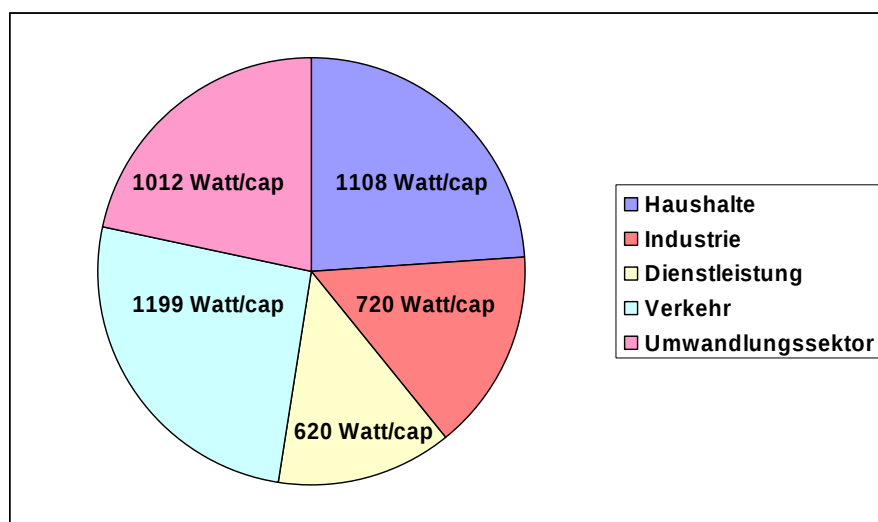
Aus diesem Reduktionsszenario können für die Schweiz konkrete Zielwerte definiert werden. Der landesweite Bruttoenergieverbrauch muss nach der Bilanzierungsmethode ohne graue Energie bis zum Jahr 2050 um den Faktor 1.6 gegenüber dem Jahr 2000 reduziert werden (Figur 3, schwarze Beschriftung). Langfristig soll der Verbrauch auf 2000 Watt (ca. Faktor 2.5) gesenkt werden. Wie die Abbildung weiter zeigt, ist eine Halbierung der fossilen Bruttoenergie bis zum Jahr 2050 und eine Reduktion um den Faktor 6 bis zum Jahr 2150 notwendig (Figur 3, orange Beschriftung).

Das fossile Ziel von einer Tonne CO₂ pro Kopf bzw. 500 Watt wird durch Koschenz et al. entsprechend der Figur 3 auf das Jahr 2150 bis 2200 terminiert und ist im Wesentlichen vom globalen Absenkpfad (oranges Band in Figur 2) abgeleitet. Dies bedeutet aber nicht, dass die Schweiz als hoch entwickeltes Industrieland dieses Ziel nicht schon früher erreichen sollte. In Anlehnung an die Zielvorgaben im Szenario IV mit einer Reduktion um 50 Prozent bis 2050 erscheint eine Reduktion von 3000 Watt auf 500 Watt, also auf einen Sechstel (-82 Prozent), bis 2100 als anspruchsvolles, aber notwendiges Ziel, um auf einen nachhaltigen Energiepfad zu kommen.

Was weiter aus der Figur 3 ersichtlich ist, ist die Tatsache, dass der restliche Energieverbrauch, also Kernenergie und erneuerbare Energien, konstant bleiben, so dass der Absenkpfad einzig durch die Reduktion der fossilen Energien bewerkstelligt wird. Gerade bei einer sehr langfristigen Betrachtung ist es aber schwierig, abzuschätzen, was mit diesen und allenfalls neuen Energiequellen, wie der Kernfusion, passieren wird.

Die Figur 3 zeigt die Verteilung der Bruttoenergie auf die verschiedenen Wirtschaftssektoren, inklusive Energieeinsatz im Umwandlungssektor. Der Energieverbrauch der privaten Haushalte sowie des Verkehrs (inkl. Geschäftsverkehr) machen je etwa einen Viertel des Primärenergieverbrauchs in der Schweiz aus. Die Wirtschaftssektoren Industrie und Dienstleistung benötigen rund 30 Prozent des Primärenergiebedarfs. Die restlichen gut 20 Prozent entfallen auf die Energie, wo vor allem in den Kernkraftwerken, den Raffinerien und den Kehrlichtverbrennungsanlagen (Lieferung von Strom und Fernwärme) Verluste anfallen.

Figur 4: **Anteil der Primärenergie pro Kopf der Bevölkerung aufgeteilt nach Wirtschaftssektoren basierend auf Energiestatistik 2005, BFE (ohne statistische Differenz)**



5 Die Technologie-Roadmap der CORE

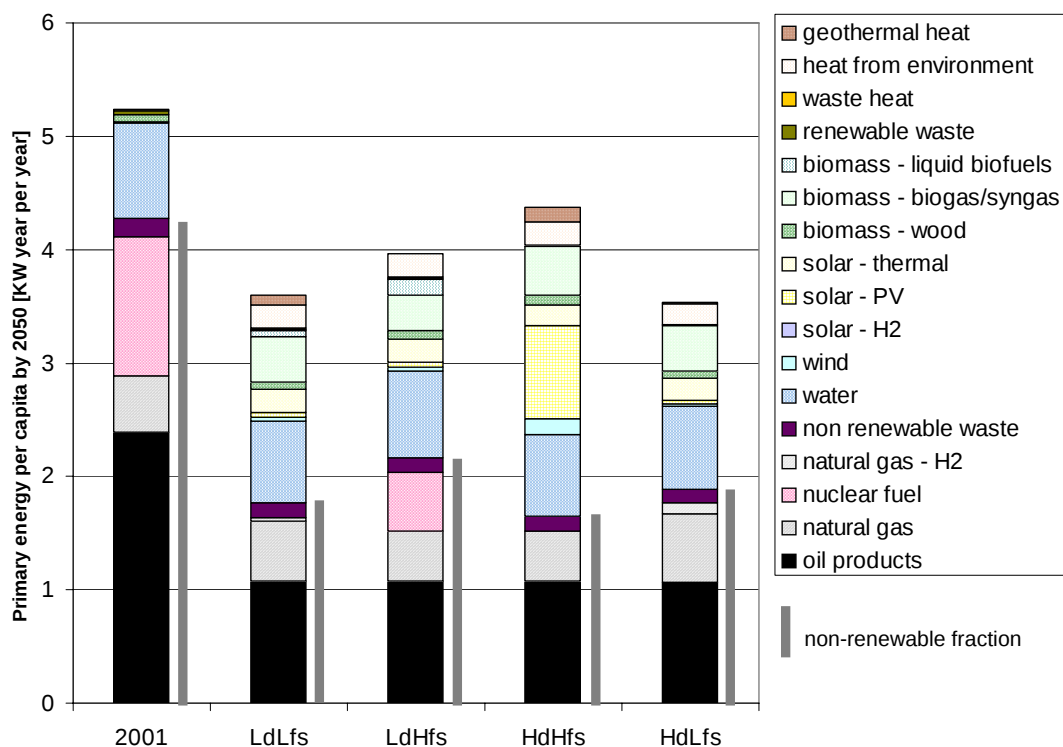
Das zentrale Ziel der CORE-Roadmap (Bührer et al., 2006) ist die Identifizierung von viel versprechenden Technologie-Pfaden zum Erreichen der Vision 2050 der Schweizer Energieforschung. Die Resultate des Roadmap Projekts fliessen ins Konzept der Energieforschung des Bundes 2008 – 2011 ein und dienen somit der Steuerung der Schweizer Energieforschung in Richtung der 2000-Watt-Gesellschaft.

Methodisch wurden von der CORE vier Kernziele formuliert, welche bis 2050 erreicht werden müssen, wenn sich die schweizerische Energieversorgung auf einen Pfad in Richtung 2000-Watt-Gesellschaft begeben soll. Diese Kernziele lauten:

- Eliminierung fossiler Brennstoffe für die alleinige Bereitstellung von Wärme im Gebäudebereich;
- Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudebereich um die Hälfte;
- Erhöhung der Nutzung von Biomasse zur Energieversorgung bis zum ökologischen Nettoproduktionspotenzial;
- Senkung des durchschnittlichen PKW-Flottenverbrauchs von fossilen Treibstoffen auf drei Liter pro 100 km;

Im Bereich der rationellen Nutzung von Primärenergie basiert die Studie auf den Aussagen des Novatlantis-Weissbuchs „Steps towards a 2000-Watt-Society“ (Jochem et al, 2002).

Figur 5: **Primärenergieverbrauch nach Energieträger und pro Kopf**



Primärenergieverbrauch nach Energieträger und pro Kopf im Basisjahr 2001 und im Jahr 2050 für die vier von der CORE untersuchten Szenarien (LdLfs = geringe Dezentralisierung und Ersatz fossiler Energieträger, LdHfs = geringe Dezentralisierung und hoher Ersatz fossiler Energieträger, HdHfs = hohe Dezentralisierung und Ersatz fossiler Energieträger, HdLfs = hohe Dezentralisierung und geringer Ersatz fossiler Energieträger). Die grauen Balken („non-renewable fraction“) zeigen den Anteil nicht erneuerbarer Energieträger an. Je nach Szenario kann der erneuerbare Anteil 46 bis 61 Prozent des Primärenergieverbrauchs abdecken und der Pro-Kopf-Verbrauch kann von rund 5000 Watt auf etwa 3500 Watt gesenkt werden.

Bei der Bereitstellung von Energie wurden die Technologien zur Konversion der Primärenergie gebündelt in zentrale (z.B. Gaskombikraftwerke, Kernkraftwerke, etc.) oder dezentrale Produktion (z.B. Blockheizkraftwerke, Windkraftanlagen, Photovoltaik etc.) und in Technologien, welche fossile Quellen mit kleinen CO₂-Emissionen nutzen (z.B. hoher Wirkungsgrad, oder CO₂-Sequestrierung etc.) oder welche nicht fossile Quellen nutzen (erneuerbare Energien, Kernenergie).

Es wurde gezeigt (siehe Figur 5), dass die Kernziele der CORE auf verschiedenen Technologiepfaden erreicht werden können. Bei einer Steigerung der Nutzenergie um 65 Prozent können der Primärenergie-Verbrauch um 20 bis 30 Prozent gesenkt werden und der Anteil an erneuerbaren Energien in der Energieversorgung 46 bis 61 Prozent erreichen (zum Vergleich: 2001 betrug er knapp 20 Prozent. Der Verbrauch fossiler Energie pro Kopf kann bis 2050 auf 1300 bis 1600 Watt pro Kopf gesenkt werden (zum Vergleich: 2001 betrug er mehr als 2800 Watt pro Kopf, siehe Figur 3). Ohne Berücksichtigung der Kosten und politischen Instrumente würden damit wichtige technische Etappen auf dem Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft erreicht.

Entscheidend für das Erreichen der CORE-Kernziele sind auf der einen Seite die Nutzbarmachung neuer und die Verbesserung bestehender Effizienz- und Konversionstechnologien durch die Energieforschung (Erhöhung der Wirkungsgrade, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit, Akzeptanz, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit etc.).

Auf der anderen Seite müssen neue und verbesserte Energietechnologien auch umgesetzt und breit angewendet werden um einen Effekt zu erzielen. Hier sind vor allem die Privatwirtschaft, die Politik und die Anwender gefordert.

6 Folgerungen

Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft entspricht einem Ressourcen-Effizienzziel: Der Primärenergieverbrauch pro Kopf muss (in den Industrieländern) auf 2000 Watt gesenkt werden. Die Energieressourcen - fossile und erneuerbare - sollen effizient eingesetzt werden. Dieses Effizienzziel greift aber in der Debatte um den Klimaschutz zu kurz, da nicht konkret zwischen fossiler und erneuerbarer Energie unterschieden wird. Um dem Klimaschutz gerecht zu werden, muss deshalb das fossile Unterziel von 500 Watt bzw. eine Tonne CO₂ pro Kopf definiert werden (siehe auch Zieldefinition in der Strategie Nachhaltigkeit des Bundesrats im Kapitel 1 „Einführung“). Dabei darf aber nicht vergessen werden, dass für die Beurteilung der Nachhaltigkeit auch der Mix der nicht-fossilen Energieträger wichtig ist und dass darunter sehr unterschiedliche Energiequellen wie Kernenergie, Kehrlicht, Wasserkraft usw. fallen, deren Beitrag zur Nachhaltigkeit z.T. umstritten ist. Zudem darf die graue Energie, welche in Infrastrukturanlagen, Geräten und Produkten enthalten ist, und welche heute grossenteils importiert werden (beispielsweise Consumer Electronics), im Sinne einer Entmaterialisierung der Gesellschaft nicht vergessen werden.

Aus klimapolitischer Optik ist also die Reduktion des fossilen Energieverbrauchs auf eine Tonne CO₂ pro Kopf wesentlich und nicht das 2000 Watt Effizienzziel, denn es ist vorstellbar, dass man sich dank erneuerbaren Energien unter Berücksichtigung ihrer ökologischen Potenziale, welche durchwegs auch begrenzt sind, einen höheren Energieverbrauch als 2000 Watt pro Kopf leisten kann. Umstritten sind dabei die Beiträge der Kernenergie: diese ist zwar CO₂-frei (Klimaschutz), stösst aber auf Akzeptanzprobleme wegen operativen Risiken (inklusive Proliferation) und der langfristigen Abfallproblematik. Uran ist auch eine endliche Ressource, wobei der Brennstoffanteil an den Gesamtkosten gering ist und bei steigenden Preisen zusätzliche Kernbrennstoffquellen erschlossen werden können.

Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft basiert auf dem Primärenergieverbrauch. Gerade bei erneuerbaren Energie gibt es aber international wenig konsistente Definitionen, wie die Primärenergie aus erneuerbaren Energieträgern zu erfassen ist, und es ist umstritten, ob es sinnvoll ist, deren Primärenergieverbrauch zu erfassen. Bei der Photovoltaik rechnet man z.B. mit Wirkungsgraden von 10-15 Prozent, d.h. mehr als 80 Prozent sind „Umwandlungsverluste“ von Primärenergie, welche aber (ausser als schlecht transportierbare Wärme) nicht anders genutzt werden könnten.

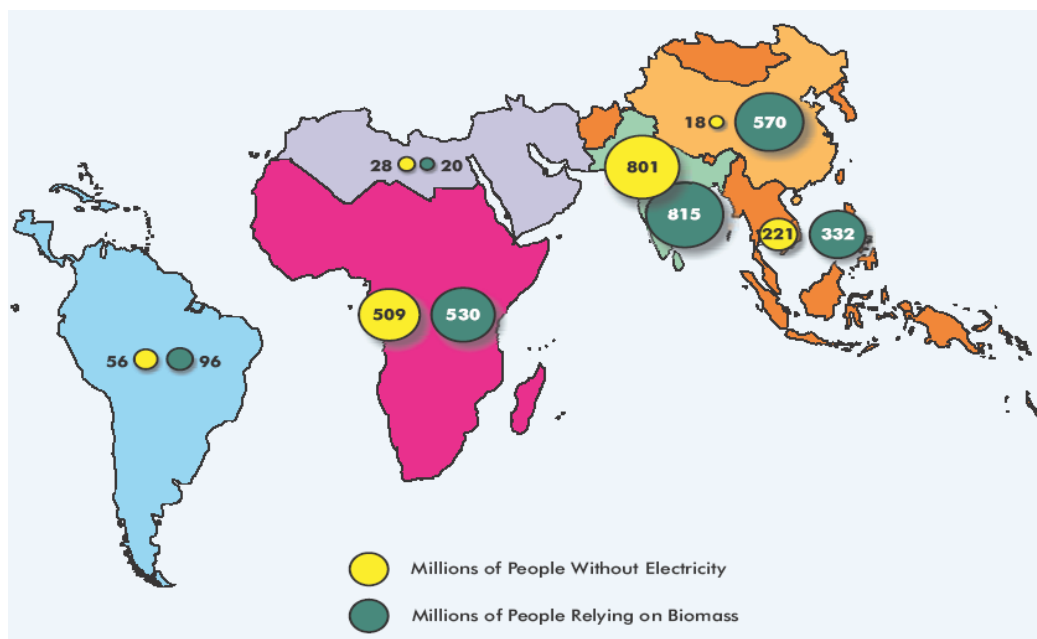
Ähnlich ist die Situation bei Wärmepumpen, welche Umgebungswärme nutzen: Die Umgebungswärme hätte nicht anders genutzt werden können, auch wenn das Wärmereservoir von Boden und Gewässern beschränkt ist. Aus diesem Grund können Wärmepumpen auch zu den Effizienzmassnahmen anstatt zu den erneuerbaren Energien hinzugezählt werden, weil sie rund zwei Drittel weniger (kommerzialiserte) Endenergie benötigen als konventionelle Heizanlagen.

Ein Beispiel, welches gegenteilig gelagert ist, bilden die erneuerbaren Treibstoffe, insbesondere die Biotreibstoffe erster Generation wie Bioethanol aus Rüben, Zuckerrohr oder Biodiesel aus Raps. Diese Biotreibstoffe benötigen zur Herstellung einen gewissen Anteil fossiler und erneuerbarer Energie, so dass der Primärenergieverbrauch insgesamt in der Regel wesentlich höher ist (bis zu einem Faktor 2) als bei rein fossilen Treibstoffen (siehe Concawe-Studie, 2006). Deshalb wird heute an Biotreibstoffen der zweiten Generation geforscht, bei welcher die Biomasse effizienter genutzt werden soll.

Goldemberg und Spreng postulieren, dass 2000 Watt pro Kopf genügen, um Wohlstand, wirtschaftliches Wachstum und Lebensqualität zu gewährleisten. Bei dieser These bleibt aber unklar, wie Wohlstand und Lebensqualität zu definieren sind. Tatsache ist, dass heute immer noch 1.6 Milliarden Menschen ohne Zugang zu Strom leben, und 2.4 Milliarden Personen sind von traditioneller Biomasse (Dung, Losholz) abhängig (siehe Figur 6) mit entsprechenden gesundheitlichen Konsequenzen, z.B. durch offene Feuerstellen in geschlossenen Räumen. Die IEA folgert daraus, dass Entwicklungsländer mehr und v.a. "saubere" Energie wie Elektrizität benötigen und dies zu bezahlbaren Preisen.

Das Szenario IV der Energieperspektiven zeigt, dass das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft nur durch Änderungen und zum Teil auch Einschränkungen der heutigen Bedürfnisse v.a. im Bereich Mobilität realisierbar ist. Mit der immer stärker spezialisierten Arbeitsteilung und individueller Selbstverwirklichung werden immer längere Transportwege in Kauf genommen, welche sich negativ auf den Energiebedarf auswirken und dem Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft entgegen laufen. Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft kann zu schwierigen demokratischen Auseinandersetzungen in vielen Politikbereichen führen. Erforderlich ist eine auf Ressourcenschonung ausgerichtete Wirtschafts-, Raumordnungs- und Verkehrspolitik. Ohne internationale Harmonisierung der Ziele und Politikinstrumente ist dies undenkbar.

Figur 6: **Weltweite Verteilung der Energiearmut**



Figur 6 zeigt die weltweite Verteilung der Energiearmut: 1.6 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu Elektrizität, davon leben 80 Prozent südlich der Sahara und in Südasien. 2.4 Milliarden Menschen haben nur Zugang zu Energie aus Biomasse (IEA, World Energy Outlook 2002).

Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft ist unklar bezüglich des Zeithorizonts, bis wann das Ziel der 2000-Watt- (bzw. 500 Watt fossil) Gesellschaft erreicht werden soll. Vom ETH-Rat wurde die 2000-Watt-Gesellschaft mit dem Zeithorizont 2050 in Zusammenhang gebracht (siehe Jochem et al., 2004), auf den sich die Energieforschung ausrichten soll; im Jahresbericht 2005 des ETH-Rats (2005) und in der Energieforschungsstrategie (Boulouchos et al., 2005) wird aber das Zieljahr 2050 nicht explizit erwähnt. Koschenz et al. (2005) haben den Zeithorizont für die 2000-Watt-Gesellschaft (insbesondere 500 Watt fossil) für 2150 vorgeschlagen, was wesentlich weniger ambitiös als Jochem et al. (2004) ist. Die Figur 3 aus Koschenz et al. (2005) gibt für 2050 eine Halbierung der fossilen Energien vor; dieses Ziel wird in den Energieperspektiven des BFE aufgenommen (- 50 Prozent der CO₂-Emissionen) um die technischen, wirtschaftlichen und politischen Voraussetzungen zur Realisierung zu diskutieren.

Das AWEL Zürich postuliert in seiner Vision 2050 (Jakob, M. et al., 2005) eine Reduktion der CO₂-Emissionen um einen Faktor 6 auf eine Tonne pro Kopf bis 2050; dieses Ziel lässt sich aber nach Auffassung der Autoren nur durch sehr einschränkende Massnahmen (z.B. Verzicht im Bereich Mobilität) erreichen. Die Umweltverbände in ihrem "Wegweiser in die 2000-Watt-Gesellschaft" vom Juni 2006 (Ellipson, 2006) schliessen sich diesen Zielvorgaben bis 2050 an. Auch der Kanton Bern (Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, 2006) nimmt in seiner Energiestrategie 2006 das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft auf und wählt als Zielvorgabe 4000 Watt pro Kopf bis 2035, was in etwa mit den Zielen des Szenario IV der Energieperspektiven BFE und mit Novatlantis übereinstimmt; ein fossiles Ziel wird aber nicht genannt (siehe auch Exkurs 22).

Die CORE-Studie kommt zum Resultat, dass bei einer Ausschöpfung der technischen Potenziale (und weiterhin steigenden Nachfrage), eine Reduktion des Primärenergiebedarfs auf ca. 4000 Watt pro Kopf bis 2050 möglich ist, je nach Szenario.

Wie schon in Kapitel 4 erwähnt, ist das Ziel der 500 Watt fossil bis 2100 anspruchsvoll, aber für ein hoch entwickeltes Land wie die Schweiz nötig, um auf einen nachhaltigen Energiepfad zu kommen - auch wenn dies wahrscheinlich, wie die CORE-Roadmap zeigt, nicht allein durch Technologieentwicklung erreichbar ist. Zudem stellt sich die Frage, was mit den nicht-fossilen Energien, wie Kernenergie und erneuerbaren Energien passieren soll? Entsprechend der Figur 3 bleibt der zukünftige Verbrauch dieser Energien konstant. Auch diese Energien haben aber ihre ökologischen Vor- und Nachteile, welche eine vertiefende Diskussion verlangen.

Allen Studien ist gemeinsam, dass sie wenig über wirtschaftliche, sozio-ökonomische und politische Voraussetzungen und Folgen enthalten. Der ETH-Rat (2005) hat Themen wie Verhaltensänderungen und Innovationen aufgegriffen. Im Szenario IV werden soweit möglich bis Zeithorizont 2035 Politikinstrumente und wirtschaftliche Fragen behandelt. Dabei ist zu beachten, dass die Wirtschaftlichkeit als Komponente der Nachhaltigkeit wegen der unterstellten Innovationen (Kostendegression durch technischen Fortschritt) und Strukturänderungen auch für den Zeithorizont 2035 schwierig und in gewissem Mass spekulativ sind.

Referenzen

Schweizerischer Bundesrat, 2002, Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002, www.konsum.admin.ch/imperia/md/content/nachhaltigeentwicklung/entwicklung02.pdf

K. Boulouchos, J.-M. Cavedon, R. Eichler, F. Gassmann, L. Schlapbach, M.T. Tran, A. Wokaun, 2005, Energieforschung im ETH-Bereich, http://www.psi.ch/medien/medien_bilder/Executive_Summary_d.pdf

Jochem, E., et al., 2002, Steps towards a 2000 Watt-Society, Developing a White Paper on Research & Development of Energy-Efficient Technologies, Pre-study, www.novatlantis.ch

Jochem, E., et al., 2004, Steps towards Sustainable Development, A White Book for R&D of energy-efficient technologies, www.novatlantis.ch

Markus Koschenz, Andreas Pfeiffer, 2005, Potential Wohngebäude: Energie- und Gebäudetechnik für die 2000-Watt-Gesellschaft. Faktor Verlag, Zürich.

Bührer, M. und Cremer, C., 2006, A contribution to the identification of promising technologies for the 2050 Swiss energy R&D policy vision, im Auftrag des BFE.

IEA, 2006, Energy Technology Perspectives – Scenarios and Strategies to 2050.

Brundtland, G.-H., 1987, Brundtland Report, World Commission on Environment and Development (WCED). www.are.admin.ch/are/en/nachhaltig/international_uno/unterseite02330/

IPCC, Climate Change 1995, Second Assessment, 1995, siehe www.ipcc.ch

IPCC, Climate Change 2001: Mitigation – Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of IPCC, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 2001, siehe www.ipcc.ch

Malte Meinshausen, 2005, On the Risk of Overshooting Two Degrees, www.cgd.ucar.edu/~mmalte/simcap/publications/meinshausenm_risk_of_overshooting_final_webversion.pdf

Novatlantis, 2004, Leichter Leben – die 2000-Watt-Gesellschaft, Zürich. www.novatlantis.ch

Kesselring, P., Winter, C.-J., World Energy Scenarios: A Two-Kilowatt Society Plausible Future or Illusion?, Energietage 1994, PSI Villigen, 1994

Spreng und Semadeni, 2001, Energie, Umwelt und die 2000-Watt-Gesellschaft, CEPE working paper no.11, ETHZ, http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/incoll/incoll_420.pdf

Spreng, D., Scheller, A., Schmieder, B., Taormina, N., Das Energieverbrauchsfenster, das kein Fenster ist, CEPE, Zürich, 2002

ETH-Rat, 1998, 2000-Watt-Gesellschaft - Modell Schweiz
http://www.novatlantis.ch/projects/2000W/brochure/resources/pdf/ge_brochure.pdf, Strategie Nachhaltigkeit im ETH-Bereich, Wirtschaftsplattform, ETH Zürich, Zürich.

ETH Rat, 2005, Jahresbericht 2005 des ETH-Rats, www.ethrat.ch

Höhne, N., 2006, What is Next after the Kyoto Protocol? Assessment of options for international climate policy post 2012, ISBN: 90-8594-005-2

Nakicenovic, N., Grübler, A., McDonald, A., Global Energy Perspectives, IIASA/WEC, Cambridge University Press, 0-521-64569-7, 1998

Nakicenovic, N., et al., IPCC Special Report, Emissions Scenarios, Summary for Policymakers, 2000

Prognos, 1997, Ergänzungen zu den Energieperspektiven 1990-2030 (Szenario IV), im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE

Goldemberg, J. et al., World Energy Assessment: Overview 2004 Update, ISBN 92-1-126167-8, UNDP, New York, 2004

Suarez, C.E., Energy Needs for Sustainable Human Development, Energy as an Instrument for Socio-Economic Development, UNDP, New York, 1995

BP, BP Statistical Review of World Energy 2003, siehe www.bp.com

EIA, International Energy Outlook 2003, Energy information Administration (EIA), U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585, 2003 ([http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484\(2003\).pdf](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/pdf/0484(2003).pdf))

IEA, International Energy Agency, Energy Balances of OECD Countries (Edition 2001) and Energy Balances of non-OECD Countries (Edition 2001), 2001a

Concawe, 2006, Well-to-Wheel Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context, <http://ies.jrc.cec.eu.int/wtw.html>

WEO, World Energy Outlook 2002, OECD/International Energy Agency, ISBN 92-64-19835-0, 2002

Jakob, M. et al, 2005, Vision 2050, im Auftrag des Amtes für Wasser, Energie und Luft (AWEL) des Kantons Zürich, <http://www.energie.zh.ch/internet/bd/awel/energie/de/themen/energieplanung.html>

Ellipson, 2006, Wegweiser in die 2000-Watt-Gesellschaft, im Auftrag der Umweltorganisationen. www.ellipson.com/files/studies/Energieperspektive_2050_Dt_kurz.pdf

Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, 2006, Energiestrategie, www.bve.be.ch/site/bve_bve_pub_energiestrategie_d.pdf