# Vision 2050: Nachhaltige Energieversorgung und Energienutzung in der Schweiz

im Auftrag von:

**Bundesamt für Energie** 

Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG)

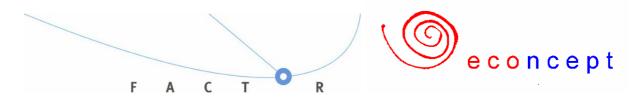
# Schlussbericht Februar 2003

Arbeitsgemeinschaft Factor Consulting + Management AG & econcept AG

In Zusammenarbeit mit:

bremer energie institut

Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Karlsruhe



# Inhaltsverzeichnis

Inh	altsve	erzeichn	is	
1	Einle	eitung		1
	1.1	_	ngslage	
	1.2	•	zung	
		1.2.1	Ziele des Gesamtprojekts	
		1.2.2		
	1.3	Gliede	rung der Studie	
2	Beda	arf für ei	ine Langfriststrategie im Energiebereich	7
	2.1		Langfriststrategien im Energiebereich?	
	2.2		epolitische Strategien und Ziele im EU-Raum	
		2.2.1	Politisch verbindliche Strategien und Ziele auf Ebene der EU	
		2.2.2	Politisch verbindliche Strategien und Ziele auf Ebene der EU-	
			Mitgliedsstaaten	12
		2.2.3	Politiknahe Langfriststudien zum Energiebereich im EU-Raum	13
		2.2.4	Exkurs zur Konsistenz energiepolitischer Ziele	17
		2.2.5	Fazit zur langfristigen Energiepolitik im EU-Raum	19
	2.3	Energi	epolitische Strategien und Ziele der Schweiz	21
		2.3.1	Historischer Abriss der jüngeren Schweizer Energiepolitik	21
		2.3.2	Politisch verbindliche Strategien und Ziele	23
		2.3.3	Stellung der Schweizer Energiepolitik im EU-Raum	28
		2.3.4	Politiknahe Langfriststudien zum Energiebereich	26
		2.3.5	Fazit zur langfristigen Energiepolitik der Schweiz	29
	2.4	Folger	ungen zum Bedarf für ein Gesamtprojekt	30
3	Fors	chungs	bedarf im Hinblick auf eine langfristige, nachhaltige	
	Ene	rgiepolit	ik	33
	3.1	Techni	ische Potenziale und Verhaltenspotenziale	33
	3.2	Strate	gien, Rahmenbedingungen und Massnahmen	44
	3.3	Modell	e für die Auswirkungsanalyse	44
	3.4	Folger	ungen zum Forschungsbedarf im Gesamtprojekt	48
4	Best	immung	g der Nachhaltigkeitsindikatoren	49
	4.1	Einfüh	rung und Zielsetzung	49
	4.2	Stand	der Forschung	51
		4.2.1	Das Konzept der Nachhaltigkeit	51
		4.2.2	Kriterien, Indikatoren und Zielwerte für Nachhaltigkeit	51
		4.2.3	Kriterien und Indikatoren für Nachhaltigkeit im Energiebereich	52
		4.2.4	Zielwerte für Nachhaltigkeit im Energiebereich	54
		4.2.5	Offene Fragen und Probleme	55
	4.3	Abgrer	nzung und Vorgehen	56

		4.3.1	Systemgrenzen	56
		4.3.2	Unterteilung in Leit- und Evaluationsindikatoren	57
		4.3.3	Anforderungen an die Indikatoren	
	4.4	Eingre	nzung anhand des Kriteriums "Eindeutigkeit"	59
	4.5		hl der Leitindikatoren	
		4.5.1	Ökologische Kriterien und Indikatoren	61
		4.5.2	Wirtschaftliche Kriterien und Indikatoren	67
		4.5.3	Gesellschaftliche Kriterien und Indikatoren	74
	4.6	Evalua	tionsindikatoren: Funktion und Beispiele	78
	4.7		menfassung	
5	Best	immung	g der Zielwerte	81
	5.1	Effizie	nz	82
		5.1.1	Zusammenhang von Energieverbrauch, Wohlstand und Bevölkerungszahl	82
		5.1.2	Annahmen zur Entwicklung von Wohlstand und Wohnbevölkerung	
		5.1.3	Ableitung des Zielwertes für die Energieintensität	
	5.2	Klima	und Ressourcen	
		5.2.1	Absolute Zielwerte für die CO <sub>2</sub> -Emissionen und den erneuerbaren	
			Energieanteil	86
		5.2.2	Ableitung des Zielwertes für die CO <sub>2</sub> -Emissionen	86
		5.2.3	Ableitung des Zielwertes für den Anteil erneuerbarer Energien	90
	5.3	Radioa	aktivität und Sicherheit	95
		5.3.1	Radioaktivität	95
		5.3.2	Sicherheit	96
	5.4	Preise	und Solidarität	97
		5.4.1	Preise	97
		5.4.2	Solidarität	97
	5.5	Zielkat	alog für ein nachhaltiges Schweizer Energiesystem	98
6	Ziele	und St	ruktur des Gesamtprojekts	101
	6.1	Nutzer	n des Gesamtprojektes	101
	6.2	Grenze	en des Gesamtprojektes	103
	6.3	Backca	asting als Grundansatz	106
	6.4	Struktu	ur des Gesamtprojektes	109
	6.5	Modul	A: Potenziale	110
		6.5.1	Studie A1: Technische Potenziale Gebäudebereich	110
		6.5.2	Studie A2: Technische Potenziale Bereich Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen	112
		6.5.3	Studie A3: Technische Potenziale Verkehrsbereich	
		6.5.4	Studie A4: Technische Potenziale Bereich Stromerzeugung	
		6.5.5	Studie A5: Verhaltenspotenziale bei Kauf, Investition, Nutzung	
		6.5.6	Studie A6: Suffizienzpotenziale	
		6.5.7	Studie A7: Strukturbedingte Potenziale	
	6.6		chnittsstudien	
	-	6.6.1		

l it	eraturv	/erzeich	nis	145
7	Emp	fehlung	für das weitere Vorgehen	143
	6.11	Finanz	- und Zeitplan des Gesamtprojekts	141
	6.10	Weiter	e Schritte zur Etablierung einer Langfriststrategie	138
		6.9.2	Studie D2: Umsetzung und Kommunkation	137
		6.9.1	Studie D1: Zusammenfassung und Vorschlag zu Massnahmen	135
	6.9	Modul	D: Synthese	135
	6.8	Modul	C: Auswirkungen	131
		6.7.3	Studie B3: Akzeptanz	129
		0.7.2	Rahmenbedingungen und Massnahmen	126
		6.7.2	Studie B2: Überblick, Auswahl und Optimierung von Strategien,	
		6.7.1	Studie B1: Entwicklung Referenzszenario und Zielszenarien	
	6.7	Modul	B: Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen	122
		6.6.2	Querschnittsstudie Q2: Technologieentwicklung	120

# 1 Einleitung

# 1.1 Ausgangslage

Die Energieversorgung und Energienutzung in der Schweiz sollen sich inskünftig stärker am Prinzip der Nachhaltigkeit orientieren. Der Bundesrat empfiehlt in seiner Strategie zur nachhaltigen Entwicklung, die Energie- und Klimapolitik der Schweiz auf lange Sicht am Ziel einer 2000 Watt-Gesellschaft und einem Pro-Kopf-Ausstoss von 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Jahr auszurichten (SBR 2002, S. 24).

Angesichts dessen, dass heute in der Schweiz pro Kopf permanent direkt 5'000 Watt Primärenergie verbraucht und jährlich über 6 Tonnen CO<sub>2</sub> emittiert werden, lässt sich ermessen, ein wie tiefgreifender Wandel des Energiesystems dazu vonnöten ist. Ein solcher Wandel kann nur über mehrere Jahrzehnte realisiert werden, insbesondere da er erst noch zu schaffende technologische Neuerungen voraussetzt und da die Produktion und Nutzung von Energie vielfach langfristigen Investitionszyklen unterworfen ist. Für eine nachhaltige Energie- und Klimapolitik ist daher ein Betrachtungs- und Planungshorizont von 50 Jahren und mehr erforderlich.

Vor diesem Hintergrund möchte das Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen (EWG) des Bundesamtes für Energie (BFE), angeregt durch die Eidgenössische Energieforschungskommission (CORE), eine Studienreihe lancieren zur langfristig nachhaltigen Gestaltung des schweizerischen Energiesystems (nachfolgend "Gesamtprojekt" genannt). Um den Nutzen und die Machbarkeit des Gesamtprojektes zu überprüfen, wurde durch das BFE zunächst das vorliegende Pilotprojekt in Auftrag gegeben.

### 1.2 Zielsetzung

#### 1.2.1 Ziele des Gesamtprojekts

Das übergeordnete Ziel des geplanten Gesamtprojektes ist laut Ausschreibung, für die Schweiz plausible und machbare Wege zu einer nachhaltigen Energieversorgung und Energienutzung bis ins Jahr 2050 aufzuzeigen. Erarbeitet werden soll dazu eine möglichst konkrete, massnahmenbasierte Langfriststrategie.

Die Ergebnisse des Gesamtprojektes sollen die Grundlage schaffen, den als nötig erachteten Prozess einer auf Langfristigkeit ausgerichteten Energiepolitik in Gang zu setzen. Da die ersten Weichen einer solchen Energiepolitik vermutlich in naher Zukunft gestellt werden müssen, sollte das Gesamtprojekt auch konkrete Empfehlungen zuhanden der laufenden Energiepolitik erbringen.

Das übergeordnete Ziel bedingt die Aufnahme einer Reihe von Punkten im Rahmen des Gesamtprojektes. Zu fragen ist:

- welche technischen bzw. technisch-wirtschaftlichen Potenziale langfristig für ein nachhaltiges Energiesystem zu erwarten sind und welche Faktoren ihre Höhe bzw. Realisierung beeinflussen (z.B. Akzeptanz);
- welche Verhaltenspotenziale langfristig für ein nachhaltiges Energiesystem zu erwarten sind und welche Faktoren ihre Höhe bzw. Realisierung beeinflussen;
- wie gezielt eine Beschleunigung der Entwicklung und Realisierung von technischen Potenzialen und Verhaltenspotenzialen induziert werden kann (z.B. F+E, Bildung);
- welches die relevanten Rahmenbedingungen, Faktoren und Mechanismen sind, die die Gestalt der Energieversorgung und Energienutzung beeinflussen, insbesondere, welche Rolle dabei dem wirtschaftlichen Wachstum zukommt;
- welche Strategien, Massnahmen und Instrumente geeignet sind, für das Jahr 2050 formulierte Ziele für ein nachhaltiges Energiesystem zu erreichen;
- wie verschiedene, konkrete Pfade, die möglichst auf die formulierten Nachhaltigkeitsziele führen, hinsichtlich des Ausmasses der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen (Wachstum, Beschäftigung) und deren Verteilung (Wettbewerbsfähigkeit von Branchen, Belastung der Haushalte) abschneiden;
- welche Schritte zu unternehmen sind zur Etablierung einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik und welchen Staatsebenen dabei welche Funktionen und Aufgaben zuzuordnen sind.

Das Gesamtprojekt soll mit seinen Abklärungen den Grundstein dafür legen, dass die Schweiz eine fundierte Position im Hinblick auf eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik einnehmen kann. Dazu sind die Zielsetzungen für ein nachhaltiges Energiesystem breit zu diskutieren, die Mittel zum Erreichen der Ziele sind aufzuzeigen, ebenso die ökonomischen wie gesellschaftlichen Voraussetzungen und Konsequenzen. Schliesslich sind die Chancen und Risiken einer solchen Politik im internationalen Umfeld abzuwägen.

Das Budget des Gesamtprojektes wird auf 1,6 Mio. Fr. veranschlagt. Die Ausschreibung sieht ein etappiertes Vorgehen bis 2005 vor.

#### 1.2.2 Ziele des Pilotprojekts

Primäres Ziel des vorliegenden Pilotprojekts ist, den Nutzen und die Machbarkeit des Gesamtprojektes aufzeigen. Im einzelnen sind dazu die Struktur, die Zwecke und die erforderliche Vorgehensweise des Gesamtprojektes auszuarbeiten.

Der Nutzen des Gesamtprojekts ergibt sich aus dem Bedarf, den es zu erfüllen vermag. Zunächst ist also dieser Bedarf auszuweisen, sodann ist zu fragen, was das Gesamtprojekt zur Erfüllung des Bedarfs beitragen kann:

- Abklärung Strategiebedarf: Inwiefern besteht in der Schweiz ein Bedarf für eine Langfriststrategie im Energiebereich? Benötigt wird eine Recherche der beschlossenen oder sich abzeichnenden energiepolitischen Bestrebungen der EU und ihrer Mitgliedsstaaten, anschliessend ein Vergleich mit dem Stand der Diskussion in der Schweiz. Zu fragen ist dabei zum einen nach der Stellung der Schweiz innerhalb Europas, zum anderen danach, inwiefern das geplante Gesamtprojekt dazu beitragen kann, über das bestehende Instrumentarium der Energieperspektiven hinaus eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik entwerfen und beurteilen zu können.
- Abklärung Forschungsbedarf: Wo liegt in der Schweiz der Forschungsbedarf im Hinblick auf die Bereitstellung von Grundlagen für eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik? Benötigt wird eine Literaturrecherche zu den bereits genannten Bereichen (Potenziale; Strategien, Rahmenbedingungen, Massnahmen; Auswirkungsmodelle). Die jeweiligen Forschungslücken sind zu identifizieren, und es ist zu untersuchen, inwiefern sie für den Entwurf einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik relevant sind. Bisher getroffene Annahmen zur langfristigen Energiezukunft sind kritisch zu hinterfragen, ebenso das Spektrum möglicher Potenziale und Massnahmen. Insbesondere ist klären, wie die Auswirkungsmodelle angemessen auf die Langfristbetrachtung ausgelegt werden können.
- Abklärung Nutzen- und Machbarkeit: Welcher Beitrag ist vom Gesamtprojekt als Grundlage für eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik zu erwarten? Dazu ist ein Vorschlag für die Struktur und das Vorgehen des Gesamtprojekts auszuarbeiten. Die

Grenzen des Gesamtprojekts sind zu diskutieren. Zudem sind Hinweise zu den konkreten Methoden zu geben, mit denen im Gesamtprojekt gearbeitet werden soll, und darauf, wo für die Aufgaben neue Ansätze und Methoden zu entwickeln sind.

Als wichtigste Beurteilungskriterien für den Nutzen und die Machbarkeit des Gesamtprojektes werden herangezogen, ob:

- die Schweiz einen relevanten energiepolitischen Handlungsspielraum und Handlungsbedarf innerhalb Europas hat;
- es aus Sicht der Energiepolitik signifikante Forschungslücken gibt, welche das Gesamtprojekt klären kann bzw. muss;
- über einen Zeitraum von 50 Jahren überhaupt sinnvolle Aussagen möglich sind;
- sich politisch, gesellschaftlich und ökonomisch robuste Verfahren entwickeln lassen, mit denen der Weg in eine nachhaltige Energiezukunft geplant, überprüft und gesteuert werden kann.

Als konkrete Vorgabe für das Gesamtprojekt sollen im Rahmen des Pilotprojekts Indikatoren und Zielwerte zur Charakterisierung eines nachhaltigen Schweizer Energiesystems im Jahr 2050 vorgeschlagen werden. Dazu sind ökologische, wirtschaftliche und soziale Indikatoren und Zielwerte zu diskutieren und die wichtigsten Zielkonflikte aufzuzeigen.

## 1.3 Gliederung der Studie

Die Studie besteht aus einer ausführlichen Zusammenfassung, dem vorliegenden Hauptbericht sowie einem Beilagenband. Der Hauptbericht ist wie folgt strukturiert:

- 1. Kapitel 2 fasst die Abklärungen zum Strategiebedarf zusammen, Kapitel 3 die Abklärungen zum Forschungsbedarf.
- 2. Die Kapitel 4 und 5 beschäftigen sich mit der Frage, welche Indikatoren und Zielwerte ein nachhaltiges Energiesystem charakterisieren. Es handelt sich dabei um einen eigenständigen, von der Aufnahme des Gesamtprojektes unabhängigen Beitrag. In Kapitel 5 wird eine Auswahl von Indikatoren getroffen, welche ein nachhaltiges Energiesystem charakterisieren. Im anschliessenden Kapitel wird ein Vorschlag entwickelt, welche Zielwerte die Indkatoren bis 2050 erreichen sollten. Eine Auswahl von Indikatoren und Zielwerten wurde in einem Workshop mit Vertretern verschiedener Interessengruppen zur Diskussion gestellt. Dessen Ergebnisse wurden in den hier präsentierten Vorschlag eingearbeitet.
- 3. Ausgehend von der Bedarfsanalyse und den Nachhaltigkeitszielsetzungen wird in Kapitel 6 ein Vorschlag für die Strukturierung des Gesamtprojekts erarbeitet. Es wird expliziert, welche Aufgaben im Hinblick auf die Etablierung eines nachhaltigen Zielpfades der Energiepolitik mit welchen Methoden zu behandeln sind. Dazu gehört insbesondere, aufzuzeigen, wie die einzelnen Module des Gesamtprojektes zu einer kohärenten Strategie zusammengeführt werden können.

# 2 Bedarf für eine Langfriststrategie im Energiebereich

If long-term emission reduction is the goal, we cannot follow 'business as usual' even in the short-term. Action needs to start now.<sup>1</sup>

Inwiefern besteht in der Schweiz ein Bedarf für eine Langfriststrategie im Energiebereich? Das vorliegende Kapitel untersucht diese Frage zunächst anhand der beschlossenen oder sich abzeichnenden energiepolitischen Bestrebungen der EU und ihrer Mitgliedsstaaten. Anschliessend wird der Stand der Diskussion in der Schweiz in bezug auf eine langfristige Energiepolitik aufgearbeitet. Ein Vergleich zwischen der Schweiz und Europa zeigt auf, ob und wo die Schweiz einen relevanten energiepolitischen Handlungsspielraum und Handlungsbedarf innerhalb Europas hat.

Die Ansätze, auf denen die langfristigen Elemente der jeweiligen Energiepolitiken beruhen, werden auf ihre Eignung hin untersucht. Für die Schweiz sind dies insbesondere die Energieperspektiven der Bundesverwaltung. Daraus wird der Bedarf abgeleitet, für den Entwurf und die Beurteilung einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik über das bestehende Instrumentarium hinausgehen zu müssen.

Eine ausführlichere Darstellung der Energiepolitik im EU-Raum findet sich im Beilagenband (Kapitel 1) zu diesem Bericht.

-

Grübler und Messner 1998, S. 495.

## 2.1 Wofür Langfriststrategien im Energiebereich?

#### Lange Reinvestitionszyklen und Vorlaufzeiten in F+E

Energierelevante Technologien und Strukturen zeichnen sich zum Teil durch ausserordentlich lange Reinvestitionszyklen und Vorlaufzeiten der Forschung und Entwicklung aus. Die Erneuerungsrate der Gebäudeinfrastruktur des "Bauwerks Schweiz" etwa beträgt zumindest 50 Jahre. Das bedeutet, im laufenden Jahrzehnt getroffene Investitionsentscheidungen haben einen Einfluss auf das Erreichen von Nachhaltigkeitszielen für das Jahr 2050 (Imboden-Zitat!?).

Ähnliches gilt für die Eisenbahninfrastruktur, für Flugzeuge, Kraftwerke und manche Prozesstechnologien (Jochem *et al.* 2002, S. 10f.). Die langsame Durchdringung des Marktes mit neuen Technologien ist dort eine Folge der langen Lebensdauer und der hohen Kapitalkosten der jeweiligen Geräte und Anlagen. So wird für Flugzeuge erwartet, dass die Flotte des Jahres 2050 im Durchschnitt die Spitzentechnologie des Jahres 2025 aufweisen wird, deren Entwicklung wiederum gegen 2010 beginnen wird.

Mehr als die Hälfte des derzeitigen Primärenergieverbrauchs fällt in Bereichen an, wo in den nächsten Jahren anstehende Entscheidungen über Forschungs- und Entwicklungs- ausgaben oder gar konkrete Investitionsentscheidungen die Gestalt des Energiesystems in 2050 massgeblich beeinflussen. Ob die Politik eine Langfristoptik einnimmt oder nicht – heutige energiepolitische Entscheidungen wirken sich auf die Energielandschaft in der ferneren Zukunft aus. Daraus lässt sich zweierlei folgern:

- 1. Die Politik verschenkt einen Handlungsspielraum, wenn sie sich im Energiebereich keine Langfristziele setzt. Erst mit solchen Zielen wird das heutige energiepolitische Handeln in seinen Langfristwirkungen erfassbar, planbar und bewertbar.
- 2. Die Politik muss im Hinblick auf die Langfristziele bereits heute Strategien, Instrumente und Massnahmen entwickeln und umsetzen.

Der Bedarf für eine Langfriststrategie ist somit dem Energiebereich inhärent, will sich die Politik dort den ihr möglichen Handlungsspielraum sichern.

#### Verhinderung einer gefährlichen anthropogenen Störung des Klimasystems

Neben den auf technischer und ökonomischer Ebene angesiedelten Eigenheiten des Energiesystems gibt es gute ökologische Gründe, sich frühzeitig mit den Anforderungen an den Wandel des Energiesystems auseinanderzusetzen. An erster Stelle zu nennen ist dabei die in der UN-Klimarahmenkonvention geforderte Begrenzung der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auf einem Niveau, bei dem es zu keiner gefährlichen anthropogenen Störung des Klimasystems kommt.

Wegen der langen Verweilzeit von CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre von über 100 Jahren ist der Klimawandel nicht so sehr bestimmt durch das Ausmass der aktuellen CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern vielmehr das der kumulierten CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>2</sup> Nicht der genaue Emissionspfad entscheidet über den Klimawandel, sondern die im Verlauf eines Jahrhunderts total emittierte CO<sub>2</sub>-Menge. Zwar ist noch immer unklar, welches CO<sub>2</sub>-Konzentrationsniveau in der Atmosphäre eine gefährliche Störung des Klimasystems ausschlösse. Alles deutet aber darauf hin, dass dazu die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen um zumindest die Hälfte bis zwei Drittel zurückgehen müssen. Fordert man eine globale Verteilungsgerechtigkeit der Emissionsbudgets, bedeutet das für die Schweiz die Notwendigkeit zur Emissionsreduktion gegenüber heute um 60–80%.

Die Trägheit des Klimasystems hat zur Folge, dass relativ kurzfristige Ziele wie jene des CO<sub>2</sub>-Gesetzes oder des Kyoto-Protokolls für die Bekämpfung des langfristigen Klimawandels von beschränkter Relevanz sind. Die Erfüllung der Kurzfristziele ist im Prinzip zweitrangig, wenn danach entsprechende Emissionsreduktionen gelingen. Für die Bekämpfung des Klimawandels ist vielmehr entscheidend, dass langfristige Ziele gesetzt werden, welche zu einer Begrenzung der kumulierten Emissionen führen.

Diese Forderung überträgt sich unmittelbar auf jene nach einer Langfriststrategie im Energiebereich, ist dieser doch wegen der Nutzung fossiler Energien aufs Engste mit der Treibhausgasproblematik verknüpft. Eine Langfriststrategie im Energiebereich ist nötig, weil die Treibhausgasminderungspolitik notwendig langfristig ist. Hasselmann *et al.* (2003) bemerken dazu:

While binding long-term commitments cannot be expected from governments, political declarations of intent beyond the short and intermediate term are feasible and essential for the investment plans of businesses, particularly for energy technologies characterized by long capital life-times. A long-term perspective is important not only for policy makers and business, which must define and implement climate policies, but also for the public, which must understand and support the policies.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Zur grossen Trägheit des globalen Klimasystems tragen daneben bei die enorme Wärmekapazität der Ozeane sowie die langen Zeitskalen, auf denen sich die Bio- und Kryosphäre verändern.

## 2.2 Energiepolitische Strategien und Ziele im EU-Raum

In diesem Abschnitt fragen wir nach den in die weitere Zukunft gerichteten energiepolitischen Strategien und Zielen der EU und ihrer Mitgliedsstaaten, seien sie verbindlich artikuliert oder lediglich mit Hilfe politiknaher Langfriststudien exploriert.

#### 2.2.1 Politisch verbindliche Strategien und Ziele auf Ebene der EU

Die Europäische Kommission hat in ihrem Ende 2000 vorgelegten Grünbuch "Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit" folgende Schwerpunkte einer langfristigen energiepolitischen Strategie festgelegt (EK 2000, S. 4):

- "Die Union muss durch eindeutige Massnahmen zugunsten einer nachfrageorientierten Politik ein Gegengewicht zur angebotsorientierten Politik schaffen. Der Aktionsspielraum zur Steigerung des Gemeinschaftsangebots ist angesichts des Bedarfs nur gering, während die Handlungsmöglichkeiten auf der Nachfrageseite vielversprechender sind.
- Auf der Nachfrageseite ruft das Grünbuch zu einer grundlegenden Änderung des Verbraucherverhaltens auf. Die Besteuerung wird als Instrument der Orientierung der Nachfrage auf einen stärker kontrollierbaren und umweltfreundlicheren Verbrauch herausgestellt. Steuerabzüge bzw. steuerähnliche Abgaben werden empfohlen, um den von den Energieträgern verursachten Umweltschäden Rechnung zu tragen. Für den Verkehrssektor und das Bauwesen müssen aktive Energieeinsparungs- und Energiediversifizierungsmassnahmen zugunsten sauberer Energieträger vorgesehen werden.
- Auf der Angebotsseite ist den Massnahmen zur Drosselung der globalen Erwärmung Vorrang zu geben. Kernstück einer Veränderung ist der Ausbau neuer und erneuerbarer Energiequellen, einschliesslich der Biobrennstoffe. Bis zum Jahr 2010 sollte ihr Anteil an der Energiebilanz von 6% auf 12% steigen, bei der Stromerzeugung ist das Ziel 22% (von heute 14%). (...)
- Der mittelfristige Beitrag der Kernenergie ist ebenfalls zu pr
  üfen, vor allem angesichts
  der Entscheidung der meisten Mitgliedsstaaten, sich aus diesem Sektor zur
  ückzuziehen, sowie im Hinblick auf die Bekämpfung der globalen Erw
  ärmung, die Versorgungssicherheit und die nachhaltige Entwicklung."

Die Kommission präsentiert in ihrem Grünbuch umfangreiche und konkrete Vorschläge für eine nachhaltige Energiepolitik. Im Mittelpunkt stehen dabei die folgenden Aktionsfelder:

 Senkung des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor durch Verlagerung insbesondere des Güterverkehrs auf die Schiene, Förderung eines umweltfreundlichen städtischen Nahverkehrs, Förderung der Entwicklung sparsamerer Fahrzeuge mit herkömmlichen und neuen Antriebstechnologien sowie die Erhöhung des Anteils von alternativen Kraftstoffen wie Biodiesel, Erdgas und Wasserstoff im Verkehrsmarkt auf 20% im Jahr 2020.

- Senkung des Energieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudesektor durch verbindliche Festlegung von Schwellenwerten für Energieeinsparungen in Gebäuden sowohl für Neubauten als auch für Altbauten, Einführung einheitlicher Energiezertifikate und Massnahmen zur Erhöhung des Anteils von alternativen Brennstoffen für Heizzwecke wie z.B. Biomasse auf 20% im Jahr 2020.
- Die Förderpolitik für die Verbreitung besonders energieeffizienter Technologien soll vom Angebot auf die Nachfrage umgestellt werden: Dadurch sollen schrittweise Märkte ausreichender Grösse geschaffen werden, die wiederum über die mengenabhängige Senkung der Produktionskosten zur weiteren Verbreitung der Effizienztechnologien führen. Die Beihilfen sollen also in Zukunft von der Industrie auf die potenziellen Nutzer (Städte, Gemeinden, Regionen und ihre Einwohner und ihre Wirtschaft) umgelenkt werden, um eine höhere Wirkung zu erzielen.
- Ein zentrales Objekt der Effizienzförderung ist die gemeinsame Produktion von Strom und Wärme, allgemein als **Wärme-Kraft-Kopplung** (WKK) bezeichnet. Es wird geschätzt, dass sich die WKK unter geeigneten Rahmenbedingungen in einem liberalisierten Markt bis 2010 gegenüber 1994 verdreifachen könnte, was zu einer jährlichen Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses um 130 Mio. t führen würde. Die Europäische Kommission will mit einer speziellen Richtlinie dafür sorgen, dass hocheffiziente WKK-Anlagen neben anderen umweltfreundlichen Erzeugungstechnologien eine Schlüsselstellung einnehmen, wenn in den nächsten zehn Jahren die Entscheidungen über die Reinvestitionen in die Stromerzeugungsanlagen der EU fallen.
- Mit der Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen wird der Rahmen für eine nennenswerte mittelfristige Steigerung dieser Art von Strom in der EU geschaffen und sein Zugang zum Elektrizitätsbinnenmarkt gefördert. Daneben soll eine gemeinschaftliche Normierung die Kommerzialisierung und Etablierung erneuerbarer Energiequellen auf dem Markt wesentlich erleichtern: Normen für solarthermische Anlagen, für Photovoltaik- und Windkraftanlagen sowie drei Normen für Biodiesel und sieben Normen für feste Biomasse werden von der EU gefordert und gefördert.

Von grosser Bedeutung für die Energiepolitik wird zudem die Abstimmung der energiepolitischen Instrumente auf die europäische Klimapolitik sein. Diesbezüglich stellt die im Dezember 2002 erzielte Einigung des EU-Ministerrats auf die Etablierung eines EU-weiten Treibhausgashandelssystems für industrielle Grossemittenten ab 2005 einen Markstein dar. Mit der Ausformulierung der nationalen Allokationspläne und damit der Bewertung von Vorleistungen sind Entscheidungen von erheblicher Tragweite zu treffen, die den

künftigen Energieträgermix stark beeinflussen werden. Dennoch ist vorderhand damit zu rechnen, dass die Strom- und Gasmärkte national orientiert bleiben werden.

Angesichts der fehlenden zentralen Umsetzungskompetenz für Energiepolitik ist die EU darauf angewiesen, dass die Mitgliedsstaaten die Richtlinien vollständig und zügig umsetzen, die Förderprogramme der EU aufgreifen und gegebenenfalls mit eigenen Mitteln verstärken und in der nationalen Energie- und Umweltpolitik dieselben Ziele wie die Union verfolgen. Im Hinblick auf die langfristigen Schwerpunkte ihrer Energiepolitik wirbt die Kommission daher um die Verleihung zusätzlicher, ausreichender Kompetenzen, da sie die Gefahr sieht, dass ohne eine zentrale europäische Energiepolitik die in bezug auf Versorgungssicherheit, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit gesetzten Ziele nicht erreicht werden können.

In ihrem mehrjährigen Programm (2003-2006) "Intelligente Energie für Europa" (EK 2002) expliziert die Europäische Kommission die im Grünbuch genannten energiepolitischen Ziele. Ob und wie schnell sie die darin erneut geforderte Stärkung der Gemeinschaftsinstrumente – sowohl der gesetzgeberischen Massnahmen als auch der Förderprogramme – in die Tat umsetzen kann, wird wesentlich den Erfolg der europäischen Politik für eine umweltfreundliche und nachhaltige Energieversorgung bestimmen.

### 2.2.2 Politisch verbindliche Strategien und Ziele auf Ebene der EU-Mitgliedsstaaten

Wie die Untersuchung der Energiepolitiken ausgewählter Mitgliedsstaaten zeigt, gibt es grosse Unterschiede zwischen den Ländern, die zum Teil darauf beruhen, dass für manche Energieeinsparung und Klimaschutz bis vor wenigen Jahren noch kein politisches Thema war, während andere schon seit mehreren Jahrzehnten auf diesem Gebiet aktiv sind. Ganz allgemein kann man feststellen, dass die Nationalstaaten überwiegend die auch von der EU benannten energiepolitischen Schwerpunkte verfolgen, wenn auch mit unterschiedlichem Engagement.

- Energieverbrauchssenkung in den Sektoren Verkehr und Gebäude; zusätzlich Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien (z.B. Biobrennstoffe zur Senkung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen);
- Steigerung der Energieeffizienz in allen Sektoren, insbesondere in den energieintensiven Industrien, häufig über freiwillige Vereinbarungen mit Branchenverbänden;
- Ausbau der Wärme-Kraft-Kopplung, teilweise mit staatlicher Förderung oder mit erhöhter Einspeisevergütung; entsprechende Programme gibt es allerdings nicht in allen untersuchten Mitgliedsstaaten;

- Förderung erneuerbarer Energieerzeugung, insbesondere der Stromerzeugung aus Wind und Sonne, über Subventionen, Steuern und Einspeisevergütung;<sup>3</sup>
- Einsatz spezieller Energie-/Ökosteuern nicht in allen Ländern zur Steuerung des Energieverbrauchs und Förderung von Effizienzsteigerungsmassnahmen;
- Aufbau von Energiespar-Institutionen, die Industrie und Verbraucher beraten und gezielte Energiespar-Aktionen durchführen; teilweise Finanzierung über Umlagen der EVU an ihre Kunden;
- besondere Anforderungen an öffentliche Gebäude bzw. Einrichtungen bezüglich des effizienten Umgangs mit Energie.

#### 2.2.3 Politiknahe Langfriststudien zum Energiebereich im EU-Raum

Konkrete politische Ziele über 2020 hinaus existieren im EU-Raum (und auch anderswo) praktisch keine. In verschiedenen Ländern wurden aber regierungs- oder parlamentsnahe Stellen mit der Erarbeitung von Langfristperspektiven betraut. Auch wenn die dabei formulierten Zielwerte unverbindlich sind, so zeigen sie doch auf, in welchem Zielkorridor bis 2050 eine nachhaltige Energieversorgung und –nutzung zu stehen kommen wird.

#### Deutsche Enquete-Kommission zur nachhaltigen Energieversorgung

Die Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung" des Deutschen Bundestages hat im Juli 2002 einen Bericht über Energieoptionen für Deutschland bis 2050 und daraus abzuleitende politische Schlussfolgerungen vorgelegt. Der Bericht wurde hochgradig kontrovers diskutiert und in harschem Dissens verabschiedet.

Die Kommission setzte sich als Leitziel, Wege zu einem Energiesystem zu entwerfen, welches 2050 gegenüber 1990 um 80% geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweist. Drei Szenarien wurden daraufhin untersucht, mit welchen sozialen und ökonomischen Folgen sie dieses Ziel im Vergleich zu einem Referenzszenario zu erreichen vermögen (s. Tabelle 1). Dabei wurden im Referenzszenario zwar optimistische Annahmen zur Steigerung der Energieeffizienz unterstellt, das Treibhausgasziel wird aber dennoch deutlich verfehlt.

\_

Es werden aber auch bereits Stimmen laut, die die wirtschaftliche Sinnhaftigkeit dieser Politik hinterfragen: zum einen bedeutet der stochastische Charakter etwa der Windenergie einen erheblichen zusätzlichen Regelaufwand, zum anderen macht die Expansion einen Ausbau des Übertragungsnetzes erforderlich, was erhebliche Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung mit sich bringen wird.

Szenario UWE	Emissionsminderung im Umwandlungssektor unter Einbezug von CO <sub>2</sub> -Abtrennung und -Deponierung. Kernenergieausstieg bis 2030.
Szenario RRO	Massive Erhöhung der Effizienz des Energiesystems mit schrittweiser Dezentralisierung. Konsequente Markteinführung erneuerbarer Energien. Kernenergieausstieg bis 2030.
Szenario FNE	Ausbau der Kernenergie (Neubau von 50 bis 70 Atomkraftwerken). Einbezug von CO <sub>2</sub> -Abtrennung und -Deponierung. Keine Forcierung von erneuerbaren Energien und Energieeffizienz.

Tabelle 1: Szenarien der deutschen Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung" (Enquete 2002)

Aus dem Vergleich der Szenarien (s. Tabelle 2) zog die Kommissionsmehrheit der Regierungskoalition die folgenden Schlüsse:

- Nur das RRO-Szenario genügt den Kriterien der Nachhaltigkeit.
- Eine Vollversorgung nur mit regenerativen Energien ist bis 2050 möglich, aber teuer.
- Auf Kernenergie kann trotz des scharfen Klimaziels verzichtet werden.
- Braun- und Steinkohle können ihren Stellenwert nur halten, wenn eine kostengünstige Technik zur CO<sub>2</sub>-Abtrennung gefunden wird.
- Erdgas kommt eine wichtige Überbrückungsfunktion zu beim Übergang zu CO<sub>2</sub>-freien Energieträgern.
- Langfristig wird sich ein neuer Sekundärenergieträger etablieren, vermutlich Wasserstoff.

Für die Kommissionsminderheit der Oppositionsparteien erwies sich das FNE-Szenario als Favorit, da es die geringsten volkswirtschaftlichen Kosten aufweist. Umstritten blieb jedoch bis zuletzt die Höhe der externen Kosten der Kernenergie, die von der Minderheit weitaus geringer veranschlagt wurde.

	Referenz	UWE	RRO	FNE
Erneuerbare	1.765	3.130	4.266	2.381
Fossil	10.127	6.218	4.285	4.321
Nuklear	0	0	0	5.563
Total PEV	11.937	9.348	8.652	12.266

Tabelle 2: Ergebnisse zum Primärenergieverbrauch in EJ in den Szenarien der Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung", Berechnung des Wuppertal-Instituts (Enquete 2002, S. 70)

Die Kommission leitete aus dem Vergleich der Szenarien eine ganze Reihe von Empfehlungen für Strategien und Massnahmen ab, die im Laufe der nächsten 10 bis 15 Jahre zu ergreifen sind, um dem RRO-Szenario zum Durchbruch zu verhelfen. Einige Beispiele:

- Ergänzung der zentralisierten Angebotsstrukturen durch dezentrale Optionen; kleine Produzenten und Selbstversorger stärken
- Stärkung der Energieeffizienz auf der Nachfrageseite; Einrichten eines Energieeffizienzfonds
- Weiterentwicklung des KWK-Gesetzes und des Erneuerbare-Energien-Gesetzes
- Weiterentwicklung der Ökosteuer (Internalisierung externer Kosten)
- Abbau von Subventionen energieintensiver Energieträger (z.B. Steinkohle)
- Wettbewerbssichernde und –ermöglichende Massnahmen (Vermeidung von Machtkonzentration, grössere Akteursvielfalt, Netzzugangsverordnung u.a.)
- Forschungs- und bildungspolitische Offensive für nachhaltige Energieformen

Konkret nennt die Kommission die folgenden Ziele, die über 2010 hinaus erreicht werden sollen (Enquete 2002, S. 34):

- Die Energieproduktivität soll bis 2020 um jährlich 3% steigen, das entspricht einer Zunahme um ca. 80% gegenüber 2000. Im Lauf der neunziger Jahre nahm die Energieproduktivität um insgesamt 20% zu.<sup>4</sup>
- Verlangt wird eine Ausweitung des Einsatzes erneuerbarer Primärenergien um den Faktor 3,5 bis zum Jahr 2020. Das würde einen Anteil von etwa 7,4% am Primärenergieverbrauch bedeuten.<sup>5</sup>
- Die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien soll bis 2020 um den Faktor 4 erh
   öht
   werden. Das k
   äme einem Anteil von rund 25% gleich.
- Die Stromerzeugung aus WKK-Anlagen soll sich zwischen 2000 und 2020 verdreifachen. Der WKK-Anteil an der Stromerzeugung müsste somit von rund 8% auf 24% anwachsen.
- Des weiteren wird jeweils bis 2020 eine Absenkung des durchschnittlichen spezifischen Endenergieverbrauchs neu sanierter Altbauwohnungen auf 50 kWh/m² gefor-

In der Nachhaltigkeitsstrategie der deutschen Bundesregierung wird dieses Ziel sogar noch verschärft (DBR 2002, S. 93): Die Energieproduktivität soll sich zwischen 1990 und 2020 verdoppeln und bis 2050 vervierfachen. Für die Energieintensität der Wirtschaft würde das entsprechend eine Halbierung bis 2020 und eine Viertelung bis 2050 bedeuten. In absoluten Zahlen hiesse das eine Absenkung von 6.48 MJ/\$99 auf 3.24 MJ/\$99 bis 2020 und auf 1.62 MJ/\$99 bis 2050.

Die Nachhaltigkeitsstrategie der deutschen Bundesregierung macht auch hierzu weitergehende Aussagen: Angestrebt wird ein Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch von 50% bis 2050. Aus diesem Ziel seien Orientierungswerte für die zwischen 2010 und 2050 liegenden Jahre abzuleiten. Das Ziel sei allein mit einem Ausbau der erneuerbaren Energien aber nicht zu erreichen, dazu müsse auch der Energieverbrauch reduziert werden (DBR 2002, S. 97).

dert sowie des Flottenverbrauchs der PW-Neuzulassungen auf 3,5 bis 4 Liter pro 100 km.

Die Enquete-Kommission (2002, S. 45f.) empfiehlt ebenso wie der Sachverständigenrat für Umweltfragen der Deutschen Bundesregierung (Umweltrat 2002) gegenüber dem Stand von 1990 eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion um 40% bis 2020 und um 80% bis 2050. Diese Ziele wurden allerdings in die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung nicht explizit übernommen.

Die im Auftrag der deutschen Enquete-Kommission geleisteten Arbeiten stellen einen wichtigen Orientierungspunkt für das hier zur Diskussion stehende Gesamtprojekt dar. Wir werden im weiteren öfters auf den Kommissionsbericht zurückgreifen, da er wichtige Hinweise auf den Nutzen und die Machbarkeit des Gesamtprojektes enthält.

#### **UK Government Energy White Paper**

In Grossbritannien wurde, ausgelöst durch ein Strategiepapier der Regierung (PIU 2002), eine breite öffentliche Diskussion angestossen, wie die Energieversorgung bis 2050 gestaltet werden soll. Diese Diskussion erreichte mit der Veröffentlichung eines Weissbuchs der Regierung zur Energiepolitik im Februar 2003 (DTI 2003) einen vorläufigen Kulminationspunkt.

Mittels Szenarien wurden verschiedene Pfade evaluiert, wie das Energiesystems bis 2020 bzw. 2050 gestaltet werden müsste, um bsi 2050 eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 60% zu erreichen. Wie in Deutschland wurden die Szenarien mit aufwendigen Energiesystemmodellen berechnet. Die vier untersuchten Szenarien wurden aber eher anekdotisch umschrieben und mit Hilfe von Expertenbefragungen und über die Anwendung von Lernkurven für den technischen Fortschritt ausgewertet. Die ausgewiesenen quantitativen Angaben zum Energieverbrauch der verschiedenen Sektoren werden denn auch als "spekulativ" bezeichnet (PIU 2001, S. 28).

Die Analyse zeigt, dass in zumindest zwei der Szenarien eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 60%, wie sie von der *Royal Commission on Environmental Pollution* als notwendig erachtet wird, im Bereich des Möglichen liegt. Voraussetzung ist, dass griffige Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz ergriffen werden, die Stromerzeugung sehr CO<sub>2</sub>-arm bzw. CO<sub>2</sub>-Sequestrierung marktfähig wird und bedeutende Fortschritte hin zum wasserstoffbasierten Privatverkehr erzielt werden.

Im Strategiepapier der Regierung werden aus der Analyse zwei konkrete längerfristige Ziele abgeleitet (PIU 2002, S. 5ff.):

- Die Energieeffizienz der Haushalte soll in diesem und dem n\u00e4chsten Jahrzehnt also bis 2020 – um jeweils 20% gesteigert werden. Unklar ist noch, mit welchem Indikator diese Verbesserung gemessen werden soll.
- Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung soll bis 2020 auf 20% wachsen

Das Weissbuch der Regierung konnte in die vorliegende Arbeit nicht mehr einbezogen werden. Es demonstriert aber, dass Grossbritannien gewillt ist, eine Langfristoptik bei seiner Energiepolitik einzunehmen.

#### 2.2.4 Exkurs zur Konsistenz energiepolitischer Ziele

Tabelle 3 führt einige Kennzahlen für verschiedene Länder auf, um vorab einen Eindruck der Grössenordnungen und der unterschiedlichen Voraussetzungen der jeweiligen Energiemärkte zu geben. Es ist deutlich erkennbar, dass die Schweiz innerhalb der Industrieländer eine hervorragende Stellung innehat.<sup>6</sup> Sie weist mit 5 kW einen durchschnittlichen Pro-Kopf-Energieverbrauch auf, liegt aber wegen ihrer nicht-fossilen Stromproduktion bei den Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich unter dem Durchschnitt.

Land	PEV (PJ)	PEV/Kopf (kW)	PEV/BIP (MJ/\$) <sup>a</sup>	CO₂ aus Energie (Mt)	CO <sub>2</sub> /Kopf (t)	CO₂/BIP (kg/\$) ª
Schweiz	1'132	4.98	4.7	44	6.2	0.19
EU 15	60'447	5.08	6.4	3'114	8.3	0.33
Deutschland	14'118	5.45	5.4	832	10.1	0.32
Niederlande	3'101	6.21	6.5	172	10.9	0.36
Dänemark	840	5.00	4.2	56	10.4	0.28
USA	95'040	11.03	11.1	5'509	20.2	0.64
China	45'567	1.15	47.3	2'524	2.0	2.62

a. BIP nominal Schweiz 2000: 404.392 Mrd. Fr. Durchschnittlicher Wechselkurs 2000: 1\$ = 1.6928 Fr.

Tabelle 3: Kennzahlen zum Energiemarkt der Schweiz für das Jahr 2000 (BFE 2001) und verschiedener Länder für das Jahr 1999 (DBR 2002, S. 135)

Die unterschiedlichen Voraussetzungen der Energiemärkte übersetzen sich in unterschiedliche energiepolitische Zielsetzungen der jeweiligen Länder (s. Tabelle 4). Auffällig ist, dass die Schweiz, was den Einsatz erneuerbarer Energieträger angeht, im europäi-

Sie verdankt dies allerdings der Tatsache, dass sie einen vergleichsweise überdurchschnittlich hohen Import an grauer Energie und grauen CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweist (Frischknecht 2001). Dies wird in den herkömmlichen Länderstatistiken, die nach dem Absatzprinzip aufgebaut sind, nicht erfasst. Der Import an grauer Energie wird auf 20% des Primärenergieverbrauchs geschätzt.

schen Vergleich sehr gut dazustehen scheint. Grund dafür ist der mit heute 60% sehr hohe Anteil der Wasserkraft an der Stromerzeugung. Weniger augenfällig ist, wie anspruchsvoll die Zielsetzungen der Schweiz im Bereich der Energieintensität sind. Während diese in den 90er Jahren stagnierte, soll sie im laufenden Jahrzehnt um 2,5% pro Jahr abnehmen.

Indikator	CH <sup>a</sup> (EEV)		_	EU 15 (PEV)		D (PEV)	
	2000	2010	1999	2010	1999	2010	
Energieverbrauch (PJ)	855	≈ 800	60'447	57'600 <sup>b</sup>	14'118		
Energieintensität der Wirtschaft	3.58 MJ/\$ <sub>00</sub>	2.69 MJ/\$ <sub>00</sub>	6.4 MJ/\$ <sub>99</sub>	4.7 MJ/\$ <sub>99</sub> <sup>d</sup>	5.4 MJ/\$ <sub>99</sub>		
Anteil Erneuerbare am Energieverbrauch	16.3%	18.0%	5.9%	12% <sup>e</sup>		4.2%	
Anteil Erneuerbare an Stromerzeugung	54.4%	55.1%	14%	22%		12.5%	
Anteil WKK an Stromerzeugung	ca. 3%	_	11%	18%	7.5%		
Energetische CO <sub>2</sub> - Emissionen	+5.8%	-10%		-8%		<b>-</b> 21%	

- a. Ergibt sich implizit aus den Zielen des Programms EnergieSchweiz: Zwischen 2000 und 2010 Reduktion des Verbrauchs fossiler Energien um 10%, Begrenzung der Zunahme des Stromverbrauchs auf 5%, Stabilisierung des Anteils der Wasserkraft am Endverbrauch bei 13%, Zunahme der Stromerzeugung aus anderen erneuerbaren Quellen um 0.5 TWh und der erneuerbaren Wärmeerzeugung um 3.0 TWh.
- b. Ergibt sich aus dem Ziel für die Energieintensität bei dem von der EU angestrebten Wirtschaftswachstum von jährlich 2.4%.
- c. Dies entspricht einer jährlichen Reduktion um 2,8%. Angenommenes Wirtschaftswachstum: 2,2% p.a.
- d. Unter der Annahme, die Energieintensität nehme ohne weitere Massnahmen um jährlich 1,7% ab und könne um ein zusätzliches Prozent reduziert werden (EEA 2002, S. 35).
- e. Ein eigenes Ziel wird verfolgt für den Anteil von Biotreibstoffen am Gesamtabsatz der Treibstoffe. Dieser soll 2010 mindestens 5,75% betragen.

Tabelle 4: Politisch festgelegte Zielwerte für einige Nachhaltigkeitsindikatoren im Energiebereich für das Jahr 2010 und Vergleich mit den realen Werten von 1999 bzw. 2000 (eigene Zusammenstellung)

Kübler (2001) hat nun darauf hingewiesen, dass die verschiedenen quantitativen energieund umweltpolitischen Ziele der EU deren Energieverbrauch und Energiemix für das Jahr 2010 praktisch fixieren. Dies belegt, dass die Interdependenz von Leitindikatoren zu restriktiven, im Extremfall gar sich wechselseitig ausschliessenden Forderungen an die Energieversorgung führen kann.

Im konkreten Fall der EU zeigt Kübler, dass die Zielwerte für das Wachstum des BIP und der Energieintensität, für die Treibhausgasemissionen sowie den Anteil erneuerbarer Energieträger den Energiemix der EU bis 2010 fast vollständig bestimmen. Nur unter der Annahme, die Stromproduktion aus Kernenergie bleibe stabil, der kohlenstoffärmste fossile Energieträger Erdgas schöpfe sein Wachstumspotenzial aus und die Hälfte der Treibhausgasreduktionsverpflichtung werde ausserhalb der EU erfüllt unter Zuhilfenahme der

flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls, sind die Anforderungen in der Summe überhaupt erfüllbar. Das würde dann aber zusätzlich den Ausstieg aus der Kohle bis 2010 bedingen, eine Massnahme, die den im Grünbuch der Europäischen Kommission (EK 2000) geäusserten energiepolitischen Vorstellungen zuwiderliefe. Daraus ist die Lehre zu ziehen, dass bei der Festlegung von langfristigen Nachhaltigkeitszielen grosser Wert zu legen ist auf deren logische Konsistenz.

	1998	2010
Kohle	9.3	0.1
ÖI	25.2	30.9
Gas	13.2	18.4
Kernenergie	8.8	8.8
Erneuerbare	3.6	8.0
Summe	60.1	66.2

Tabelle 5: Implizite, aus der Energie- und Klimapolitik der EU abgeleitete Zielwerte für den Primärenergieverbrauch einzelner Energieträger bis 2010 in EJ (Kübler 2001)

#### 2.2.5 Fazit zur langfristigen Energiepolitik im EU-Raum

Die EU und einige Mitgliedsstaaten haben sich ambitiöse energiepolitische Ziele gesetzt; diese reichen allerdings – mit Ausnahme von Fristen zum Ausstieg aus der Kernenergie – lediglich bis 2020. Dies ist nach politischen Massstäben zwar ein beachtlich langer Zeithorizont, wirklich langfristig im hier verstandenen Sinne ist er aber nicht. Insbesondere ist er zu kurz, um auf die klimapolitischen Herausforderungen angemessen reagieren zu können. Einzelne Mitgliedsstaaten beginnen, dies zu erkennen. Es ist daher damit zu rechnen, dass sich im EU-Raum nationale Energiepolitik zunehmend auf langfristige, primär klimapolitisch motivierte Überlegungen stützen wird. Denkbar ist, dass sich darüber hinaus im weiteren Verlauf der internationalen Klimaverhandlungen die Erkenntnis durchsetzt, dass ein global gerechtes Klimaregime nur mittels einer Langfristoptik gezielt etabliert werden kann.

Die Chancen für eine wirksame, gemeinsame europäische Energiepolitik hängen von der institutionellen und politischen Weiterentwicklung der EU ab. Tendenziell ist längerfristig mit einer Stärkung der zentralen Entscheidungskompetenzen und damit auch der Möglichkeiten zur gemeinsamen politischen Willensbildung zu rechnen. Daraus ist aber nicht ohne weiteres eine schlüssige Aussage abzuleiten, inwiefern sich eine europaweit harmonisierte langfristige Energiepolitik etablieren lässt. Auch mit der Beibehaltung föderaler Strukturen, an welche energiepolitische Entscheidungen delegiert werden, muss nämlich gerechnet werden. Kritisch zu hinterfragen ist deshalb, ob es der EU gelingen wird, ihre Ziele auch auf Ebene der Mitgliedsstaaten durchzusetzen. Fragezeichen ergeben sich

hier gerade auch bezüglich der Beitrittsländer, die in diesem Jahrzehnt in die EU aufgenommen werden.

## 2.3 Energiepolitische Strategien und Ziele der Schweiz

Analog zum vorhergehenden Abschnitt beschreiben wir im folgenden Entwicklung und Perspektiven der Schweizer Energiepolitik im Hinblick auf in die fernere Zukunft gerichtete Strategien und Ziele. Wiederum unterscheiden wir dabei nach politisch verbindlichen Zielen und Strategien und solchen, die lediglich mit Hilfe politiknaher Langfriststudien exploriert wurden.

#### 2.3.1 Abriss der jüngeren Schweizer Energiepolitik

Als Reaktion auf die erste Ölpreiskrise wurde 1978 im Rahmen der eidgenössischen Kommission für die **Gesamtenergiekonzeption** (GEK) ein Konzept für eine schweizerische Energiepolitik entworfen, welches schon damals die auch heute noch prioritären Zielsetzungen Energiesparen und Substitution fossiler Energieträger durch einheimische und erneuerbare Energieträger postulierte. 1985 erarbeiteten die Kantone ein eigenes energiepolitisches Programm.

Nach der Katastrophe von Tschernobyl im April 1986 liess das BFE 1988 durch die Expertengruppe Energieszenarien (EGES) die längerfristigen Entwicklungsperspektiven von Elektrizitätsangebot und –nachfrage untersuchen. In der Volksabstimmung vom 23. September 1990 wurde der **Energieartikel** (Art. 89 nBV) klar angenommen. Damit erhielt der Bund von den Stimmberechtigten die Kompetenz für eine zukunftsgerichtete Energiepolitik und den Auftrag zur sparsamen und effizienten Energieverwendung sowie zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Am selben Abstimmungstermin wurde die **Ausstiegsinitiative** zur Kernenergie knapp abgelehnt, die **Moratoriumsinitiative** (10-jähriges Kernenergiemoratorium) jedoch gutgeheissen. Dies brachte eine Beruhigung der politischen Diskussion um die Kernenergie. Heute befindet sich die Schweiz mit den Abstimmungen vom 18. Mai 2003 über ein neuerliches Moratorium bzw. einen Ausstieg am selben Ort wie vor 13 Jahren.

Der Verfassungsauftrag des Energieartikels fand im **Energienutzungsbeschluss** (ENB) des Parlamentes vom 14. Dezember 1990 eine erste, teilweise Konkretisierung. Im Februar 1991 lancierte der Bundesrat das **Aktionsprogramm Energie 2000** (E2000) mit quantitativen Zielsetzungen bezüglich Energieverbrauchsentwicklung und Einsatz erneuerbarer Energien, die bis ins Jahr 2000 erreicht werden sollten. Der ENB wurde auf das Jahr 1999 hin durch das **Energiegesetz** (EnG) abgelöst und damit in eine definitive Regelung überführt.

Die Schweiz unterzeichnete im Dezember 1997 das **Kyoto-Protokoll**, dessen Ratifikation im Laufe von 2003 erwartet wird. Das Protokoll verpflichtet die Schweiz, im Zeitraum 2008–2012 (erste Verpflichtungsperiode) die Emissionen ausgewählter Treibhausgase

gegenüber dem Stand von 1990 um 8% zu vermindern. Bereits seit dem 1. Mai 2000 ist das **CO<sub>2</sub>-Gesetz** in Kraft, welches bezweckt, die energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen in der ersten Verpflichtungsperiode um 10% unter das Emissionsniveau von 1990 zu senken. Dabei gelten separate Reduktionsziele für den Treibstoff- und Brennstoffbereich von –8% bzw. –15%. Das Gesetz gibt dem Bundesrat die Kompetenz zur Einführung einer CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe ab 2004.

Am 27. September 1998 nahm das Schweizervolk die **leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe** (LSVA) an, mit der der Schwerverkehr vermehrt auf die Schiene verlagert werden soll (Abgabe von 0,6 bis 3 Rp. pro km und Tonne Gesamtgewicht, bei gleichzeitiger Erhöhung der Gewichtslimite auf 40 Tonnen). Mit der Annahme des Bundesbeschlusses über **Bau und Finanzierung von Infrastrukturvorhaben des öffentlichen Verkehrs** (FinÖV) am 29. November 1998 (Fonds, der mit 2/3 der LSVA-Einnahmen, Mineralölsteuermitteln und einer Erhöhung der Mehrwertsteuer um 0,1% gespeist wird) wird die Refinanzierung des geplanten Ausbaus des öffentlichen Verkehrs gesichert (NEAT, Bahn 2000 1. und 2. Etappe, Anschluss an das europäische Hochgeschwindigkeitsnetz, Lärmschutz entlang der Bahnstrecken).

Bis Ende 2000 schufen alle Kantone gesetzliche Grundlagen für ihre Energiepolitik in den jeweiligen kantonalen Energie- oder Bau- und Planungsgesetzen. Mit dem Übergang vom ENB zum EnG mussten etliche Massnahmen des ENB kantonal geregelt werden. Das führte in verschiedenen Kantonen bei der VHKA in bestehenden Gebäuden, bei der Bewilligungspflicht für elektrische Widerstandsheizungen, bei Heizungen im Freien, bei Warmluftvorhängen, Beleuchtungsanlagen, Rolltreppen und Sportanlagen zu einem Abbau von energetischen Vorschriften (UVEK 2001). Die meisten Kantone verfügten 2001 über die gesetzlichen Grundlagen für den Erhalt von Globalbeiträgen des Bundes für kantonale Förderprogramme. Zur mittelfristigen Koordination der kantonalen Energiepolitik erarbeiteten die Kantone "Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich" (MuKEn), mit welchen die Kantone eine methodische Harmonisierung, einheitliche Mindestanforderungen im Gebäudebereich und einheitliche Verschärfungen/Ergänzungen zu diesen Mindestanforderungen anstreben.

Am 24. September 2000 lehnte der Souverän die **Solar-Initiative** (von 0,1 auf 0,5 Rp./kWh ansteigende Abgabe auf nicht-erneuerbare Energien während 25 Jahren zur Förderung der Sonnenenergie und rationeller Energienutzung), die als Gegenvorschlag präsentierte "Förderabgabe" (0,3 Rp./kWh während 10–15 Jahren zugunsten von erneuerbaren Energien, rationeller Energienutzung und der Erhaltung/Erneuerung von Wasserkraft) sowie die **Energielenkungsabgabe** (max. 2 Rp./kWh Abgabe auf nichterneuerbare Energien, volle Rückerstattung an Unternehmen und Erwerbstätige) ab. Dasselbe Schicksal erlitt auch die im Dezember 2001 zur Abstimmung gelangende, ebenfalls in die Richtung einer ökologischen Steuerreform zielende **Initiative** "**Energie statt Arbeit besteuern**". Damit wurde den Bestrebungen zur Schaffung der Voraussetzungen

für marktwirtschaftliche Instrumente im Energiebereich sowie zu einem grösseren Förderprogramm für energetische Massnahmen bis auf weiteres vom Volk eine Absage erteilt.

Im September 2002 lehnte der Souverän mit dem **Elektrizitätsmarktgesetz** auch die Liberalisierung des Elektrizitätsmarktes ab. Dieser Entscheid hinterlässt eine unklare Situation mit noch unabsehbaren Auswirkungen auf die Steigerung der Effizienz und den zusätzlichen Einsatz erneuerbarer Energien im Strombereich. Aktuell noch in der Beratung des Parlaments befindet sich die Erneuerung des **Kernenergiegesetzes**, mit dem die langfristigen Rahmenbedingungen für den Weiterbetrieb der bestehenden KKW, für den Brennstoffzyklus und die Entsorgung der Abfälle sowie für die Ausserbetriebnahme der bestehenden und die Erstellung neuer KKW geschaffen werden sollen.

#### 2.3.2 Politisch verbindliche Strategien und Ziele

#### **Energiegesetz**

Das Energiegesetz (EnG) ist die langfristige Basis der Schweizer Energiepolitik. Gesetz und zugehörige Verordnung (EnV) legen die allgemeinen Ziele (sichere, wirtschaftliche, sparsame, effiziente Energienutzung, verstärkte Nutzung erneuerbarer und einheimischer Energieträger) und die zu ihrer Umsetzung vorgesehenen Massnahmen fest. Das EnG schafft den Rahmen für die in den neunziger Jahren entwickelte Energiepolitik mit den Hauptstossrichtungen Energiesparen/Energieeffizienzsteigerungen und Einsatz erneuerbarer Energien. Quantitative Ziele werden jedoch keine vorgegeben.

Das EnG sieht eine Aufgabenteilung vor zwischen einerseits Bund/BFE und Kantonen/Energiefachstellen andererseits. Für den Erlass und den Vollzug von Vorschriften im Gebäudebereich sind die Kantone zuständig. Der Bund kann die Kantone dabei unterstützen und stellt ihnen im Rahmen von Globalbeiträgen (derzeit total 12–15 Mio. Fr./a) Mittel für die objektgebundene Förderung zur Verfügung.

Wasserkraft bis 1 MW Leistung und dezentral produzierte Elektrizität aus erneuerbaren Energien werden mit dem EnG über garantierte Einspeisetarife (derzeit 15 Rp./kWh) gefördert. Für dezentrale WKK-Anlagen mit Wärmenutzung besteht eine Abnahmegarantie zu marktorientierten Bezugspreisen des abnehmenden EVU.

Die Umsetzungsstrategie des EnG ruht auf den Pfeilern: Kooperation mit den Kantonen und der Wirtschaft (der Bund kann bei der Umsetzung der Energiepolitik mit privaten Organisationen zusammenarbeiten), Mobilisierung wirtschaftlicher Potenziale über das Programm EnergieSchweiz (s.u.), "verbindliche" Freiwilligkeit von Massnahmen im Rahmen des Programms EnergieSchweiz, begrenzte Fördermassnahmen, ein Minimum an gesetzlichen Vorschriften.

#### **Programm EnergieSchweiz**

Seit Januar 2001 besteht das Programm EnergieSchweiz des Bundes. Für die Programmaktivitäten stehen 50–55 Mio. Fr./a zur Verfügung.<sup>7</sup> Das Programm basiert weitgehend auf denselben Grundsätzen wie sein Vorläufer E2000:<sup>8</sup> freiwillige Massnahmen, Vereinbarungen mit Branchen und bestehenden Agenturen, Umsetzung gesetzlicher Massnahmen (EnG, EnV, CO<sub>2</sub>-Gesetz) mit den prioritären Stossrichtungen Energiesparen/Energieeffizienz, Einsatz erneuerbarer Energien und neu explizit die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Unter Federführung des BFE werden dabei mit externen Partnern die vier Programmsektoren Öffentliche Hand/Gebäude (Kantone, Minergie, energho, eCH für Gemeinden, KVA/ARA), Wirtschaft (EnAW, eae, S.A.F.E.), Mobilität (Eco-Drive, Langsamverkehr, Mobilcenter, Vel2, Car-Sharing, EcoCar) und Erneuerbare Energien (AEE, Netzwerke) bearbeitet (EnergieSchweiz 2002).

EnergieSchweiz wurden folgende quantitative Ziele für das Jahr 2010 vorgegeben:

- Reduktion des Verbrauches fossiler Energien um 10% gegenüber 2000;
- die Ziele des CO<sub>2</sub>-Gesetzes;
- Verbrauchszunahme von Elektrizität um weniger als 5% gegenüber 2000;
- Steigerung von erneuerbar produziertem Strom um 1% und von Wärme um 3%;
- stabile Wasserkrafterzeugung.

Die **Stärken** von EnergieSchweiz liegen in der Schaffung langfristig tragfähiger Strukturen, in der partnerschaftlichen Zusammenarbeit und Vernetzung der relevanten Akteure, im Beitrag zu einer stufenweise zunehmenden Professionalisierung bei den Ausführenden im Energiebereich, in der Festschreibung des Energiethemas in der politischen Agenda sowie in den Köpfen vieler Akteure bei schwierigen Rahmenbedingungen und in der Vermittlung bzw. Kommunikation der langfristigen energie- und klimapolitischen Ziele.

Seine **Schwächen** liegen in der Freiwilligkeit (Verbrauchszielwerte im Verkehr konnten nicht durchgesetzt werden), die besonders bei geringerer Wirtschaftlichkeit sehr strapaziert wird, in der ungenügenden Unterstützung durch marktwirtschaftliche Instrumente (Abgaben, Beiträge etc.) und Vorschriften in ausgewählten Bereichen sowie in den Ansprüchen, die der kooperative, partnerschaftliche Ansatz an die Organisation und das Vorgehen stellt.

Dieser Betrag ist massiv geringer als der E2000 anfangs der neunziger Jahre in Aussicht gestellte. Gegenwärtig werden sogar diese Mittel im Zuge der Umsetzung der Schuldenbremse im Bundeshaushalt in Frage gestellt.

E2000 wurden für das Jahr 2000 die folgenden quantitativen Ziele gesetzt: Stabilisierung des Verbrauchs fossiler Energien auf dem Niveau von 1990; Stabilisierung der Verbrauchszunahme von Elektrizität; Steigerung von erneuerbar produziertem Strom auf 0,5% der Gesamtproduktion und der Wärme um 3% der Wärmeerzeugung; Ausbau der Wasserkraft um 5% und Leistungserhöhung der KKW um 10%. E2000 erreichte diese Zielvorgaben nur zum Teil, trotz schwacher Konjunktur in der ersten Hälfte der neunziger Jahre, aber bei bis 1998 real sinkenden fossilen Energiepreisen: Bei den fossilen Energien und der Elektrizität betrug der Zielerreichungsgrad Mitte1999 nur 36% (Balthasar 2000, S. 156f.), bei der Produktion von Wärme aus erneuerbaren Energien 62%, beim Strom 88%; die Zielsetzung bei der Wasserkraft wurde zu 85% und bei den KKW-Leistungserhöhungen zu 60% erreicht (Balthasar 2000, s. 158f.).

#### Klimapolitik

Die klimapolitischen Ziele der Schweiz sind im CO<sub>2</sub>-Gesetz niedergelegt. Die Ziele des Gesetzes sollen primär mit bestehenden politischen Massnahmen erreicht werden (EnG, EnergieSchweiz, LSVA etc.). Grosses Gewicht wird wie im EnG auf freiwillige Massnahmen gelegt. Im Vordergrund stehen Zielvereinbarungen zu Verbrauchsreduktionsmassnahmen, die von der Energieagentur der Wirtschaft mit Betrieben, Branchen und Verbrauchergruppen abgeschlossen werden.

Wenn sich abzeichnet, dass die Ziele nicht erreicht werden, führt der Bundesrat frühestens 2004 – nach heutigem Kenntnisstand wohl nicht vor 2005 – eine CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe ein, die vollständig an Wirtschaft und Bevölkerung rückverteilt wird. Der Abgabesatz richtet sich nach den Ziellücken und muss vom Parlament genehmigt werden. Einzelne Grossverbraucher und Gruppen von Verbrauchern haben die Möglichkeit zur Befreiung von der Abgabe, wenn sie sich gegenüber dem Bund zur Reduktion ihrer CO<sub>2</sub>-Emissionen verpflichten.

#### **Forschungspolitik**

Energieforschung ist ein Grundpfeiler der schweizerischen Energiepolitik und wird seit dem ersten Energieforschungskonzept des Bundes von 1984 durch das BFE betreut, welches dabei von der eidgenössischen Energieforschungskommission (CORE) beraten wird. Die schweizerische Energieforschung ist langfristig ausgerichtet und hat die Aufgabe, das Erreichen der langfristigen Zielsetzungen der Energie- und Umweltpolitik zu unterstützen. Sie soll zudem einen Beitrag zur Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit des Wissenschafts- und Technologiestandortes Schweiz leisten und den Zugang zu neuen Technologien fördern (CORE 2002).

Die Energieforschungspolitik basiert auf den folgenden Vorgaben aus dem energiepolitischen Dialog über das energiepolitische Programm nach 2000 (CORE 2002):

- Erste Priorität kommt der Steigerung der Energieeffizienz, dem verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien und der drastischen Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses zu. Als konkretes Ziel wird hierbei ein CO<sub>2</sub>-Ausstoss von 1 t pro Kopf und Jahr bis 2050 genannt.
- Die Energienachfrage soll sich nach 2000 stabilisieren, der Anteil der Erneuerbaren an der Energieproduktion bis 2030 soll 10–20% betragen.
- Die Grundpfeiler im Strombereich sind die rationelle Stromverwendung, die Nutzung der Wasserkraft sowie der verstärkte Einsatz erneuerbarer Energien.
- Die Laufzeit der bestehenden KKW wird auf ein noch zu bestimmendes Mass begrenzt. Der Bau neuer KKW wird dem fakultativen Referendum unterstellt.

In den neunziger Jahren sind die realen Energieforschungsausgaben um etwa 30% gesunken. Sie sollen nun wieder von 173 Mio. Fr. in 2001 auf 213 Mio. Fr. in 2007 erhöht werden. Eine Reduktion der Forschungsgelder wird einzig im Bereich Kernenergie vorgeschlagen (auf 40 Mio. Fr./a). Auf den Bau von Pilot- und Demonstrationsanlagen sowie auf die orientierte Grundlagenforschung sollen je etwa 20% entfallen.

#### 2.3.3 Politiknahe Langfriststudien zum Energiebereich

Der Horizont der Schweizer Energiepolitik beträgt, was konkrete Ziele betrifft, etwa 10 Jahre. Auch in der Schweiz bestehen aber mit den 1996 veröffentlichten Energieperspektiven Grundlagen für die Ausgestaltung und die Evaluation der schweizerischen Energiepolitik, die bis ins Jahr 2030 reichen.<sup>9</sup> Eine Ausweitung der Perspektivarbeiten auf das Jahr 2040 ist im Zuge der gegenwärtigen Überarbeitung vorgesehen.

Die Energieperspektiven ermöglichen die Evaluation energiepolitischer Strategien und Massnahmen und bilden somit eine wichtige Basis für die Formulierung energiepolitischer Ziele, Strategien und Massnahmen und für das Aufzeigen des energiepolitischen Handlungsbedarfes. Sie vermitteln ein Bild der Entwicklung der Energienachfrage sowie des Stromangebotes unter unterschiedlichen wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen. Für die Periode 1990–2030 liefern sie jeweils:

- ein Mengengerüst zur Entwicklung der relevanten wirtschaftlich-demographischen Rahmendaten (Referenzvariante und Variante mit tiefem Wirtschaftswachstum);
- ein Mengengerüst zur Entwicklung des Referenzenergieverbrauches bei den 1996 absehbaren energiepolitischen Rahmenbedingungen in der Schweiz (mit Energiegesetz, Variante mit CO<sub>2</sub>-Gesetz), Entwicklung des Verbrauchs in den Sektoren private Haushalte, Industrie, tertiärer Sektor, und Verkehr;
- Grundlagen für die Analyse und Bewertung der Entwicklung des Elektrizitätsangebotes;
- Analysen der wirtschaftlichen Auswirkungen unterschiedlicher energiepolitischer Strategien und Rahmenbedingungen sowie Auswirkungsanalysen von in der Zwischenzeit untersuchten energiepolitischen Massnahmen (Volksinitiativen).

Methodisch basieren die Perspektiven auf einem im Prinzip einfachen Ansatz. In den einzelnen Sektoren wird die Entwicklung des Energieverbrauchs mit Hilfe eines Bottom-up-

-

Perspektiven der Energienachfrage der privaten Haushalte (Prognos 1996), Perspektiven der Energienachfrage der Industrie (Basics 1996), Perspektiven der Energienachfrage des tertiären Sektors (Forschungsgruppe Energieanalysen ETH 1996), Perspektiven der Energienachfrage des Verkehrs (Infras 1996), Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebotes (Prognos 1996b), Ergänzungen zu den Energieperspektiven 1990–2030 (Prognos 1997), Szenarien zu den Initiativen 'Strom ohne Atom' sowie 'Moratorium Plus' (Prognos 2001) sowie diverse weitere Auswirkungsanalysen, basierend auf diesen Perspektiven.

Ansatzes abgeschätzt. Diese wird errechnet aus der Entwicklung der Energieverbrauchsflächen (EBF) und des spezifischen Verbrauches pro EBF (beim Verkehr: Energieverbrauch pro Verkehrsträger = Aktivität x spezifischer Verbrauchsfaktor).

Innerhalb der vier Sektoren werden Untergruppen und in diesen jeweils einigermassen homogene Kohorten gebildet, deren Veränderung primär auf die EBF zurückwirkt. Der technische Fortschritt dagegen wirkt primär auf den spezifischen Verbrauch pro EBF einer Kohorte/Fahrzeugschicht oder Anwendung. Die Wirtschaftsentwicklung sowie die Entwicklung der unterschiedlichen Sektoren und Wirtschaftsbranchen (Arbeiten von Graf, SGZZ 1994), der Bevölkerung (Bevölkerungsentwicklung des BFS von 1996) sowie der Gebäudeflächen (Wüest und Partner 1994) bilden Inputs für die Perspektiven.

Die Entwicklungsdynamik in den verschiedenen Szenarien hängt vom "autonomen" technischen Fortschritt, von den veränderten Wirtschaftlichkeitsverhältnissen infolge angenommener energiepolitischer Massnahmen sowie von der angenommenen Entwicklung der Rahmenbedingungen (Wirtschaft, Energiepreise, Bevölkerung etc.) ab.

Auch wenn in den neuesten Szenarien zu den Atominitiativen Anpassungen an den Grundlagen vorgenommen wurden (Prognos 2001), **erweist sich das bestehende methodische Gerüst zunehmend als begrenzt**, insbesondere für Perspektiven bis 2050:

- Die für Vergleiche und die Evaluation von Massnahmen wichtige Referenzvariante ist zusehends überholt, ihre Struktur müsste der heutigen bzw. der in Zukunft absehbaren Situation angepasst werden. Die Wirtschafts-, Branchen- und Bevölkerungsentwicklung sollte auf den heute zugrundegelegten Trends beruhen. Für die sehr langfristigen Entwicklungen (> 2030) sollten eine oder mehrere Varianten mit grösseren kulturell-wirtschaftlichen Veränderungen erarbeitet werden (alternde Bevölkerung, mehr Migration).
- Die in den Perspektiven zugrundegelegte Technologieentwicklung ist zum Teil überholt. Mindestens die Referenzentwicklung und die Szenarien IIa und IIb rechnen längerfristig (nach 2015/2020) mit zu wenig technischem Fortschritt und zu konservativen Zielwerten (heutige 'best available technology' oder Zielwerte, die zum Teil jetzt schon überholt erscheinen und nicht auf Absenkpfaden oder Fortschrittsraten basieren). Die Technologieentwicklung wird wie schon erwähnt auf heute schon absehbare Technologien begrenzt, der technische Fortschritt wird nicht endogenisiert.
- Die Methodik mit Kohorten-Durchschnittswerten (z.B. Energiekennzahlen für homogene Nutzungen/Anwendungen) kann infolge struktureller Veränderungen immer weniger gut fortgeschrieben werden und basiert zusehends auf "plausiblen Ad-hoc-Annahmen" (bspw. Veränderung der Branchengewichte, veränderte Wertschöpfungsund Produktionsstrukturen, neue Energiedienstleistungen, veränderte Bedürfnisse etc.).

Mit Ausnahme des Szenario IV wurden die Energieperspektiven bislang nicht zur Untersuchung verwendet, ob und wie vorgegebene Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können. Sie dienten vielmehr der Evaluation der Auswirkungen gezielter energiepolitischer Strategien und Massnahmen. Das Szenario IV ist insofern im Rahmen der Perspektivarbeiten ein Sonderfall, als es mit der Vorgabe arbeitete, eine Reduktion der schweizerischen CO<sub>2</sub>-Emissionen um 60% bis 2030 sei zu erreichen. Das Nachhaltigkeitsziel wurde jedoch nicht konsequent angewendet. Man kam zum Schluss, dass nur eine Reduktion um 46% möglich sei.

#### 2.3.4 Stellung der Schweizer Energiepolitik im EU-Raum

Wo steht die Schweizer Energiepolitik im Vergleich zu den geschilderten Bemühungen in diesem Bereich im EU-Raum? Was den Zeithorizont betrifft, fällt auf, dass in der EU zunehmend Ziele für das Jahr 2020 formuliert werden, während der Horizont der Schweiz lediglich 10 Jahre beträgt. Ein Grund dafür mag sein, dass nach den diversen, entgegen dem Sinne des Bundesrates verlaufenen Energie-Abstimmungen, die ja einen Horizont von bis zu 25 Jahren hatten, die Schweizer Energiepolitik sich in einer eigentlichen Blockadesituation befindet. Dieser Ansicht ist offenbar auch der Bundesrat. Es darf angenommen werden, dass ihn diese Analyse zum Ende 2002 ergangenen Auftrag an das BFE bewog, Schlussfolgerungen aus den Abstimmungen zu ziehen und energiepolitische Strategien bis 2020 zu erarbeiten.

Was die Strategien und Ziele betrifft, so kann zurzeit (noch) nicht von einem Hinterherhinken der Schweiz gesprochen werden, auch wenn mit den Arbeiten der Enquete – Kommission in der BRD Vorarbeiten für eine langfristig ausgerichtete Eenrgiepolitik gemacht wurden, die in dieser Form (Aktualität, Zeithorizont) für die Schweiz nicht vorliegen. Zu bedenken sind bei einem Vergleich der Schweiz mit der EU zunächst die Eigenheiten des schweizerischen Energiesystems, vor allem des Stromsektors. Der sehr geringe Anteil fossiler Stromerzeugung, der enorm hohe Anteil an Wasserkraftstrom und dessen hoher Wert als Spitzenstromreservoir heben die Schweiz von anderen Ländern ab. Entsprechend gestalten sich die Schwerpunkte der Energiepolitik auch punktuell anders. So nimmt etwa die WKK-Förderung praktisch keinen Raum in der Schweizer Energiepolitik ein, was sich allerdings bei abnehmender Kernenergieproduktion langfristig einmal als Unterlassung erweisen könnte.

Was die rationelle Energienutzung betrifft, wird ihr ein mindestens so grosser Stellenwert beigemessen wie im EU-Raum (Minergie-Strategie, Ziele und Aktivitäten von EnergieSchweiz, Einbezug rationelle Energienutzung in Förderprogramme). Tendenziell im Hintertreffen befindet sich die Schweiz hingegen in der Unterstützung erneuerbarer Energien in den Bereichen Biomasse (Holz, Energiepflanzen, etc.) und Sonnenenergienutzung. Die Potenziale sind zwar in der Schweiz relativ begrenzt, aber doch vorhanden und

bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Grossangelegte Förderprogramme wie die Förderung erneuerbarer Energie im Rahmen des EEG in Deutschland scheinen nach der Ablehnung der diesbezüglichen Vorlagen durch das Volk in den nächsten Jahren ausgeschlossen.

Auf den ersten Blick vorbildlich scheint die Klimapolitik des Bundes mit dem CO<sub>2</sub>-Gesetz. Durch die Etablierung eines EU-weiten Emissionshandelssystems wird sich aber eine Dynamik des Klimaschutzes im EU-Raum ergeben, bei der die Schweiz nicht abseits stehen sollte.

Die bereits enge wirtschaftliche und inskünftig tendenziell enger werdende politische Verflechtung der Schweiz mit Europa grenzt den autonomen Handlungsspielraum der Schweiz im Hinblick auf eine langfristige Nachhaltigkeitspolitik zweifelsohne ein. Ein forcierter Nachhaltigkeitspfad, der nur von der Schweiz alleine in Europa beschritten wird, dürfte wegen den kurzfristigen Kosten nur dann eine Chance vor dem Volk finden, wenn längerfristige Vorteile plausibel kommunizierbar sind und wenn allgemein erwartet wird, dass sich auch die umgebenden europäischen Länder über kurz oder lang auf diesen Pfad begeben werden (Vorreiterrolle Schweiz ja - "splendid isolation" der Schweiz wohl kaum). Auch der technische Fortschritt wird weitgehend durch die internationale Entwicklung bestimmt. Die Schweiz kann aber die Geschwindigkeit der Umsetzung der technischen Potenziale selbst bestimmen. Eine Vorreiterrolle birgt dabei ebenso Chancen und Risiken, wie sie sich auf der Ebene innovativer Produkte jeweils den "First Movers" bieten. Technologieorientierung mit dem Zweck, bei nachhaltigen, innovativen Material- und Energietechnologien eine starke Position bei Spezialitäten aufzubauen, könnte neue Exportmöglichkeiten schaffen und bei einem nicht auszuschliessenden künftigen Bedeutungsverlust des schweizerischen Finanzsektors<sup>10</sup> volkswirtschaftliche Chancen eröffnen. Die besonderen naturräumlichen Voraussetzungen der Schweiz unterstreichen andererseits den Bedarf nach einer gesonderten Betrachtung. Eine frühzeitige Ausrichtung der Schweiz auf eine langfristige Perspektive im Energiebereich ist trotz der Eingebundenheit in den europäischen Raum möglich und nützlich.

#### 2.3.5 Fazit zur langfristigen Energiepolitik der Schweiz

Mit Ausnahme der Energieforschung und der Energieproduktion ist die Schweizer Energiepolitik auf einen Zeitraum von etwa 10 Jahren ausgerichtet, für den auch quantitative, verbindliche Ziele vorliegen. Der Grundansatz der Energiepolitik hat sich dabei in den letzten 30 Jahren nicht grundlegend verändert: Im Vordergrund steht angebotsseitig die sichere, wirtschaftliche und umweltgerechte Versorgung unter Einschluss eines vermehr-

Aufgrund sinkender komparativer Vorteile der Schweiz im Finanzbereich (europaweite Konzentration der Börsenplätze, abnehmende Bedeutung der Schweiz als Hort der Stabilität, Druck auf Zinsbesteuerung und Bank(kunden)geheimnis.

ten Einsatzes erneuerbarer Energien, nachfrageseitig das Energiesparen bzw. Effizienzsteigerungen.

Es existieren zwar Absichtserklärungen und Vorstellungen für eine langfristig angelegte Nachhaltigkeitspolitik (2000 Watt-Gesellschaft), eine Anbindung der kurz- bis mittelfristigen Energiepolitik an diese Langfristziele (z.B. über Absenkpfade) gibt es aber nicht. Die Gefahr besteht, dass darob gerade die im Energie-Infrastrukturbereich wichtigen langfristigen Massnahmen und Trends zuwenig Beachtung erhalten.

Das gegenwärtige energiepolitische Klima in der Schweiz ist im Hinblick auf ambitiöse Langfristziele zur Nachhaltigkeit ungünstig (verlorene Energieabstimmungen zu marktwirtschaftlichen Instrumenten, Förderbeiträgen und zur Marktöffnung).

Die langfristige Umsetzung der Hauptstossrichtungen der aktuellen Energiepolitik ist nicht unproblematisch, weil es nicht gelungen ist, neben Energiegesetz, CO<sub>2</sub>-Gesetz und LSVA weitere Instrumente für eine Verstärkung der Energiepolitik im Hinblick auf die ambitiösen Langfristziele der Nachhaltigkeit zu etablieren.

- Die Liberalisierung der Energiemärkte in der Schweiz ist vorläufig gescheitert: Langfristig sind zwar weitere Schritte zu erwarten, kurz- bis mittelfristig bleibt die Situation aber unklar.
- Ebenso gescheitert ist die Einführung zusätzlicher marktwirtschaftlicher Instrumente (Abgaben, ökologische Steuerreform, Beiträge)
- Die durchaus mögliche und sinnvolle Verschärfung oder die Schaffung neuer Vorschriften (z.B. im Gebäudebereich) stösst auf wenig Akzeptanz.
- Die Zukunft der Kernenergie ist weiterhin offen: Die Frage der sicheren Betriebsdauer ist kontrovers, die Endlagerung ist noch nicht gelöst und zum künftigen Ersatz der KKW ist kein Konsens in Sicht.
- Die Verkehrsleistung und mit ihr der Energieverbrauch im Verkehr nehmen weiterhin zu, wogegen kein Kraut gewachsen scheint. Der Erfolg der angestrebten Verkehrsverlagerung auf die Schiene ist unsicher.
- Am meisten Erfolg versprechen zurzeit Energiespar- und –effizienzmassnahmen, zum Beispiel im Rahmen einer Effizienz- und Komfortstrategie Minergie.

# 2.4 Folgerungen zum Bedarf für ein Gesamtprojekt

- Feststellen und Benennen des Bedarfs und der zu schliessenden Lücken für eine Langfriststrategie in der Schweiz
- Aufzeigen der Vorteile einer Langfristpolitik bzw. der Nachteile ihres Fehlens

Aufgabe der Energiepolitik im Hinblick auf Nachhaltigkeit ist es, die Randbedingungen der Versorgung mit und Nutzung von Energie so auszugestalten, dass eine nachhaltige Entwicklung möglich wird. Zumindest im Grundsatz kommt die Energiepolitik des Bundes dieser Aufgabe bereits nach. Was fehlt, ist hingegen eine klare Ausrichtung der Energiepolitik auf langfristige Nachhaltigkeitsziele mit zugehörigen Zielsetzungen und möglichen Absenkungspfaden und ein Instrumentarium, mit welchem die Wirkung von Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen zum Erreichen dieser Ziele beurteilt werden kann.

Die Analyse zeigt, dass im EU-Raum eine aktive langfristige Energiepolitik mit einem Horizont von 50 Jahren nicht existiert. Einzelne EU-Staaten beginnen sich jedoch näher mit der Frage einer langfristig auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Energiepolitik zu beschäftigen. Entsprechende Berichte und Vorarbeiten von Regierungen oder Parlamenten liegen bereits vor (Enquetze BRD, Grossbritannien) oder sind in Vorbereitung. Verbindliche politische Konsequenzen haben sich daraus bislang jedoch noch nicht ergeben. Die Erkenntnis, dass den komplexen Anforderungen an der Nachhaltigkeit im Energiebereich nur mit einer Langfristperspektive angemessen begegnet werden, kann macht sich aber zunehmend in Politik und Verwaltungen breit – nicht zuletzt von der Wissenschaft ausgelöst.

Aus der Sicht einer langfristig auf die Nachhaltigkeitsziele ausgerichteten Energiepolitik bestehen zurzeit die folgenden Defizite bzw. der folgende Handlungsbedarf:

- Die quantitativen mittelfristigen Zielsetzungen der aktuellen Energiepolitik müssen durch langfristige Ziele ergänzt werden. Dazu gehören Vorstellungen über die anzustrebenden Pfade von den Mittelfrist- zu den Langfristzielen.
- Der Zeithorizont der aktuellen energiepolitischen Strategien und Aktivitäten muss erweitert werden. Die quantitativen Ziele für 2010 von EnergieSchweiz vom CO<sub>2</sub> Gesetzes sind nicht ausreichend. Die Strategien müssen grundsätzlich auf die Langfristzielsetzung ausgerichtet werden, mit indikativen quantitativen Zwischenzielen zwischen den quantitativen Mittelfristzielen (2010) und der Langfristzielsetzung (Zielpfad(e)).
- Für eine stärker auf die Langfristziele ausgerichteten Energiepolitik müssen die dazugehörigen Grundlagen ausgebaut werden: Verlängerung des Zeithorizontes der Energieperspektiven, Einbezug alternativer gesellschaftlich-wirtschaftlicher Entwicklungsszenarien (nicht nur Referenzszenarien mit etwas mehr oder weniger Wirtschgaftswachstum auch visionärere langfristige Veränderungen der gesellschaftlichwirtschaftlichen Verhältnisse (nach 2020)), Verbesserung des Einbezuges der Technologieentwicklung (Dynamisierung).
- Ausbau des energiepolitischen Instrumentariums: EnergieSchweiz leistet einen grossen Beitrag zur Mobilisierung freiwilliger Potenziale in wirtschaftlichkeitsnahen Bereichen. Um die Ziele einer nachhaltigen Energiepolitik zu erreichen, werden in Zu-

kunft zusätzliche Instrumente benötigt (zusätzlich zu EnergieSchweiz, zur Vereinbarungsstrategie gemäss EnergieSchweiz und CO<sub>2</sub> -Gesetz, zur LSVA, zum Energiegesetz und zu den aktuellen kantonalen Erlassen).

Chancen der Technologieentwicklung besser nutzen: Gerade die Schwierigkeiten beim Ausbau des energiepolitischen Instrumentariums gebieten es, den Spielraum, den die Technologieentwicklung anbietet, zu nutzen. Technologischen Möglichkeiten eilen in der Regel der Energiepolitik voraus (ausser wenn energiepolitische Rahmenbedingungen erst die Voraussetzungen für den wirtschaftlichen Durchbruch von Technologien schaffen). Sie können durchaus zur grösseren Akzeptanz von energiepolitischen Massnahmen und Instrumenten beitragen. Forschung und Entwicklung sowie Pilot- und Demonstrationsanlagen/-projekte verdienen daher weiterhin besondere Beachtung.

Die Anpassung der Energieperspektiven 2030 an die laufenden Entwicklungstrends wird infolge struktureller, gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Veränderungen, technologischer Neuerungen und veränderten Energiedienstleistungsbedürfnissen zusehends schwieriger. Zweckmässige Energieperspektiven bis 2050 sollten daher auf mittelfristig neu erarbeiteten Grundlagen basieren, die die Technologieentwicklung verstärkt endogenisieren und möglichen langfristigen Trends gesellschaftlich-wirtschaftlicher Veränderungen mittels unterschiedlichen Referenzszenarien Rechnung tragen.

# 3 Forschungsbedarf im Hinblick auf eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik

Ausgehend von den heute verfügbaren Grundlagen wird der Forschungsbedarf im Hinblick auf die Bereitstellung von Grundlagen für eine langfristige, nachhaltige schweizerische Energiepolitik aufgezeigt. Die relevanten Potenziale der Technologieentwicklung in den Bereichen Gebäude, Verkehr, Industrie/Gewerbe/Dienstleistungen, Stromproduktion und Materialeffizienz sowie das Potenzial von Verhaltensmassnahmen werden abgeschätzt und bestehende Forschungslücken identifiziert.

Die Ausführungen dieses Kapitels stützen sich auf die detaillierteren im Beilagenband (Teil II) enthaltenen Untersuchungen.

## 3.1 Technische Potenziale und Verhaltenspotenziale

#### 3.1.1 Einleitung

Abbildung 1 veranschaulicht die prinzipiellen Möglichkeiten, die Energieeffizienz und den Ersatz nichterneuerbarer Energien zu steigern. Dies kann durch Beeinflussung der Energienachfrage oder des Energieangebots geschehen: Entsprechend gliedern wir die Studien dieses Moduls in zwei Gruppen:

- Technische Potenziale: Technische Potenziale umfassen Energieproduktions-, Energieeffizienz- und Emissionsreduktionspotenziale und beziehen sich auf die Angebotsseite. Die Ausschöpfung technischer Potenziale bewirkt entweder die Verminderung des Bedarfs an Nutzenergie zur Befriedigung einer bestimmten EDL-Nachfrage oder die Reduktion des Energieeinsatzes durch Effizienzsteigerungen bei der Energieumwandlung bzw. beim fraglichen Energienutzungssystem (z.B. Gebäude, Fahrzeug) oder die Verminderung des spezifischen Verbrauchs nichterneuerbarer Ressourcen durch einen veränderten Energieträgermix (z.B. Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energieträger). Noch aussagekräftiger als Angaben zum etheoretischen technischen Potenzial sind Angaben zu wirtschaftlichen Potenzialen. Diese umfassen nur Einsatzmöglichkeiten, die einigermassen wirtschaftlich sind bzw. in Zukunft wirtschaftlich werden könnten und berücksichtigen dabei Ersatzzyklen, Abschreibefristen und Opportunitätskosten. Technisch-wirtschaftliche Potenziale sind geringer als technische Potenziale. Die Zuverlässigkeit technisch-wirtschaftlicher Potenzialschätzungen nimmt mit wachsendem Zeithorizont schneller ab als diejenige technischer Potenziale.
- Verhaltenspotenziale: Verhaltenspotenziale beziehen sich auf die Senkung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen und auf energiesparendes Verhalten. Zu ih-

nen gehören Änderungen des Verhaltens der EDL-Nachfrager bei Kauf- und Investitionsentscheiden sowie bei der Nutzung energieverbrauchender Güter und Dienstleistungen. Das führt zu einem geringeren Bezug von EDL<sup>11</sup> und/oder zu einem geringeren Verbrauch von Energie für effizientere und energiesparender genutzte Energiedienstleistungen. Hinzu kommen bewusste Verzichte auf EDL im Zuge eines Wandels von Lebensstil und Wertesystemen (Suffizienz). Schliesslich subsummieren wir hierunter auch strukturbedingte Potenziale (Veränderung der Strukturen, die einer EDL-Nachfrage zugrundeliegen), z.B. durch Veränderung der Raumordnung.

• Im Schnittbereich zwischen technischen und verhaltensorientierten Potenzialen sind die Themen Reduktion "grauer Energiebedarf" und "Dematerialisierung" angesiedelt. Dazu zählen z.B. die Substitution von energieintensiven Massengütern wie Zement, Stahl und Glas durch weniger energieintensive Alternativen sowie die Reduktion des Materialeinsatzes durch materialsparende Produktegestaltung und -herstellung. Diese Potenziale beziehen sich auf die Nachfrage der herstellenden Industrien nach Energiedienstleistungen. Die Fragestellung ist aber stark technisch geprägt und massgeblich durch die Technologieentwicklung im Materialbereich determiniert.

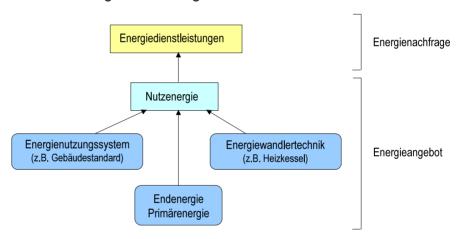


Abbildung 1: Einflussgrössen von Energieangebot und Energienachfrage (eigene Darstellung)

In den Szenarienrechnungen der Enquete-Kommission wurden "wegen ihrer mangelnden Prognostizierbarkeit und Operationalisierbarkeit die verhaltensbedingten Potenziale nicht explizit berücksichtigt" (Enquete 2002, S. 618). "Die Probleme der Quantifizierbarkeit erschweren es, bei politischen und wirtschaftlichen Entscheidungsträgern ein Verständnis dafür zu wecken, dass die verhaltensbedingten Potenziale langfristig ebenso wichtig sein können, wie die in Szenarien im Regelfall erfassten technisch-wirtschaftlichen Potenziale. (...) Zum anderen verstellt die unvermeidliche Konzentration auf (Einzel-) Techniken in Szenarienanalysen den Blick dafür, dass die für Szenarienzwecke nicht quantifizierbaren Systemoptimierungen über ganze Prozessketten, durch verändertes Design und Kreislaufführung sowie durch neue Nutzungskonzepte ("nutzen statt besitzen") einerseits eine stark verhaltens- und akzeptanzorientierte Kom-

ponente und andererseits ein beeindruckendes Energie- und Ressourceneinsparpotenzial aufweisen. Fehlende "harte Daten" dürfen daher nicht zum Anlass genommen werden, die verhaltensbedingten Potenziale weniger wichtig zu nehmen. Dies gilt insbesondere mit Blick auf die langfristige Bedeutung von Lerneffekten, die eine unverzichtbare Voraussetzung und Fortschrift der Werbaltensänderungen wie auch die Grundlage für technologische Innovationen und Fortschrift

darstellen." (Enquete 2002, S. 621)

## 3.1.2 Bedeutung der Technologieentwicklung und der technischen Potenziale für eine nachhaltige Energieversorgung 2050

Aus ökologischer Sicht ist eine nachhaltige Entwicklung mit wirtschaftlichem Wachstum nur vereinbar, wenn neue Technologien die Voraussetzungen dafür schaffen, dass der Verbrauch nicht-erneuerbarer Ressourcen und die Emissionen umweltbelastender Stoffe trotz Wachstum wirtschaftlich verringert werden können. Angesichts der Schwierigkeiten, für ein wirksames energiepolitisches Instrumentarium Akzeptanz zu finden, ist es für die Nachhaltigkeitszielsetzung umso wichtiger, die Möglichkeiten der Technologieentwicklung weitgehend auszuschöpfen. Technischer Fortschritt kann die Spannungen, die mit der Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele verbunden sind, verkleinern und die (technischen) Voraussetzungen schaffen, dass Verhaltenspotenziale dauerhaft realisiert werden.

Die Abschätzung der Entwicklung technischer Potenziale für einen Zeithorizont von etwa 50 Jahren wie dies die Nachhaltigkeitspolitik erfordert, ist mit objektiven Ungewissheiten verbunden. Die Analyse des technischen Fortschrittes und der Technologieentwicklung zeigt, dass sich die Verbesserung der technologischen und wirtschaftlichen Eigenschaften von Technologien und Produkten mit Lern- und Erfahrungskurven darstellen lassen (IEA/OECD 2000; Barreto 2001). Die daraus ableitbaren Lernraten bzw. Fortschrittsraten<sup>12</sup> können für die Abschätzung der künftigen Kostenentwicklung einer Technologie verwendet werden (z.B. in Perspektivmodellen). Die Entwicklung der technischwirtschaftlichen Potenziale, das heisst die Verfügbarkeit von Technologien und die Degression der spezifischen Kosten durch Lern- und Skaleneffekte, ist in einem grossen Masse auch von internationalen Entwicklungen abhängig und durch die schweizerische Energiepolitik nur begrenzt beeinflussbar (in einzelnen Bereichen, in denen die Schweiz eine Spitzenposition einnimmt sowie durch die Beschleunigung der Know-how-Diffusion).

#### 3.1.3 Technologiepotenziale im Gebäudebereich

#### a) Einleitung

Bei der Analyse der technischen Potenziale im Gebäudebereich bis 2050 müssen die folgenden Faktoren berücksichtigt werden:

- Die Lebensdauern und die Amortisationsfristen im Gebäudebereich sind hoch: Bei baulichen Massnahmen an der Gebäudehülle 30–50 Jahre. Energetische Verbesserungen und Anpassungen an neue Technologien und neue Standards sind praktisch nur im Rahmen des Amortisationszyklus wirtschaftlich.
- Die Energieverbrauchsausgaben weisen bei den aktuellen Energiepreisen im Gebäudebereich eine geringe Kostenrelevanz auf. Das Investor-Benutzer-Dilemma und

Fortschrittsrate f: Mass für die Veränderung der Kosten bei einer Verdoppelung der kumulierten Produktionsmenge Lernrate L = 1 - f: Kostenreduktion bei einer Verdoppelung der kumulierten Produktionsmenge

die Orientierung an den Investitionskosten behindern die Diffusion neuer Technologien.

Noch ist unklar, wie sich die Bevölkerungsentwicklung (BFS 2002) auf die künftigen Wohnungs- und Wohnflächenbedürfnisse der alternden Bevölkerung sowie auf die resultierende Wohnungsnachfrage auswirken wird. Hinausgeschobene Erneuerungen oder gar ein sinkender Gebäudebestand würden die Diffusion neuer Technologien und die Nutzung von Energieeffizienztechnologien verzögern.

Wohngebäude und gewerblich genutzte Gebäude verbrauchen zurzeit rund 385 PJ Endenergie pro Jahr für Raumwärme, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung, Beleuchtung, elektrische Geräte, Regelung/Steuerung und IT-Anwendungen. Dazu kommen etwa 68 PJ/a% grauer Endenergieverbrauch (Novatlantis 2002, S. 72).

#### b) Potenziale nach Anwendungsbereich

Verglichen mit einer Referenzentwicklung, die auf aktuellen Technologien beruht, bestehen im Gebäudebereich Endenergie-Effizienzpotenziale von 66% (>250 PJ/a ohne graue Energie, bis 2050), die sich wie folgt zusammensetzen (Novatlantis 2002, S. 18):

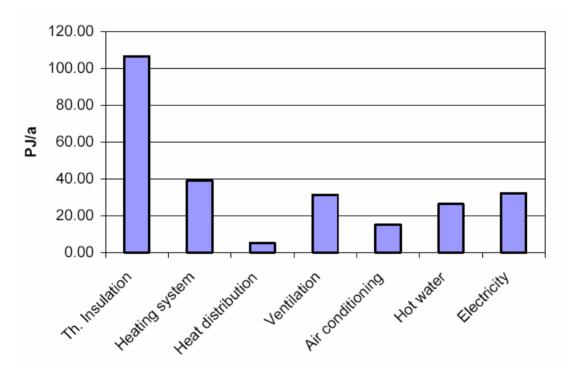


Abbildung 2 Endenergie-Effizienzpotenziale 2050 im Gebäudebereich gegenüber einer Referenzentwicklung mit heutigen Technologien (aus Novatlantis 2002, S. 18)

#### Wärmeschutz

Das grösste Energiesparpotenzial liegt beim **Wärmeschutz** der Gebäudehüllen (24%; 107 PJ/a). Deutlich verbesserte Hochleistungs-Dämmstoffe bis hin zu Vakuum-Isolationspaneelen werden in Zukunft auch bei Sanierungen und bei schwierigen bauli-

chen Voraussetzungen massive Einsparungen ermöglichen. Ihre Wirtschaftlichkeit, Langlebigkeit und Einsatztauglichkeit müssen noch stark verbessert werden. Zukünftige Fenster werden nochmals verbesserte Dämmeigenschaften aufweisen, bei geringeren g-Wert-Einbussen. Dem Fenster wird eine zentrale Rolle bei der Regulierung des Licht- und Wärmedurchlasses der Gebäudeaussenfläche zukommen. Die künftigen Funktionen des Fensters bei der Beeinflussung von Licht- und Wärmedurchgang und allenfalls bei der Lüftung sind aber noch zu klären.

#### Wärmeerzeugung, Raumheizung:

Obwohl die Effizienz der Wärmeerzeugung heute schon hoch ist, bestehen in diesem Bereich die zweitgrösstern Einspar- und Substitutionspotenziale (ca. 50 PJ/a). Neben (begrenzten) weiteren Wirkungsgradverbesserungen bei Öl- und Gasfeuerungen weisen vor allem die Holz- und Biomassefeuerungen und die elektrischen Wärmepumpen ein grosses Einspar- und Substitutionspotenzial auf. Ihre Konkurrenzfähigkeit hängt von künftigen technischen (JAZ, Wirkungsgrad) und wirtschaftlichen Verbesserungen ab.

#### Kontrollierte Lüftung:

Ein grosses technisches Potenzial besteht bei der Reduktion der **Lüftungsverluste** (ca. 31 PJ/a, Novatlantis 2002, S. 79). Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung ist nicht nur oder nicht einmal primär eine energetische Massnahme, sondern eine Komfortmassnahme mit grossen energetischen Nutzen. Die grösste Herausforderung besteht bei der Entwicklung kostengünstiger Systeme für Sanierungen und bei Qualitätsverbesserungen zur Reduktion von Akzeptanzproblemen (v.a. Lärm, Geruchübertragung). Noch unklar ist, ob es in Zukunft auch befriedigende passive Lüftungssysteme geben wird.

#### Warmwasser und Elektrizitätsverbrauch:

Der Energieverbrauch für **Warmwasser** und für **Elektrizität** (Geräte, Beleuchtung) nimmt immer noch zu. Bei der Beleuchtung und bei Geräten bestehen relevante Effizienzpotenziale, die wegen der relativ kurzen Geräte-Lebensdauern schneller umsetzbar sind als die Potenziale bei der Gebäudehülle (ca. 41 PJ/a, Novatlantis 2002, S. 85). Es bleibt aber vorerst unklar, ob die Effizienzsteigerungen im Gerätebereich die Zunahme von Anwendungen übertreffen werden. Bei einem sinkenden Heizenergiebedarf wird bei Nullenergie-Häusern der Warmwasserverbrauch durch ein eigenes System gedeckt werden müssen, wodurch die wirtschaftliche Attraktivität von Sonnenkollektor- und WP-Anlagen, die dann nicht mehr nur Zusatzsystem sind, steigt. Sowohl Sonnenkollektoranlagen als auch WP haben noch beträchtliche technologische Verbesserungs- und Kostensenkungspotenziale.

#### Klimatisierung:

Es wird eine grosse Herausforderung sein, bei tendenziell steigenden Komfortbedürfnissen den Energieverbrauch für Klimatisierung zu senken. neben den (architektonischen) Potenzialen zur Reduktion des Klimatisierungsbedarfes (Sonnenschutz, Speicherverhalten der Gebäudestruktur) geht es um die Weiterentwicklung effizienter Klimatisierungstechnologien (WP-Systeme, Lüftung mit Erdregister, solare Stirlingmotor-Klimaaggregate,

neue Glastechnologien mit Wärmeschutz, lärmabsorbierende Elemente, hygroskope Bauteile).

#### c) Forschungsbedarf, Forschungslücken

#### Künftige Entwicklung von Wohn-/Gebäudeflächen und Sanierungstätigkeit :

Die langfristigen Auswirkungen der Bevölkerungsentwicklung (v.a. der Altersentwicklung) und der strukturellen wirtschaftlichen Veränderungen auf die pro Kopf-Wohnflächennachfrage bzw. auf die Geschäftsflächennachfrage pro Arbeitsplatz sind für unterschiedliche wirtschaftlich-gesellschaftliche Rahmenbedingungen zu klären (wichtige Einflussfaktoren: Einkommensentwicklung, Migration, Präferenzen für Wohnen/Wohnfläche). Das Zusammenspiel zwischen Bevölkerungs- bzw. Altersstrukturentwicklung und Gebäudeflächenentwicklung sollte im Hinblick auf die Formulierung der Energieperspektiven untersucht werden. Dabei interessiert insbesondere ob in Zukunft die Flächennachfrage stagnieren oder gar sinkende könnte und wie sich dies auf die Erneuerung des Gebäudebestandes und auf die Diffusion innovativer Effizienztechnologien auswirken wird.

#### Energieeinsparungen, Wärmeschutz:

Innovative Wärmeschutztechnologien, neue Fenstertechnologien und energiesparende Lüftungssysteme ermöglichen heute schon die Erstellung von Null-Heizenergiebauten. Bisher hinkte die Baupraxis und die Regulierungspraxis hinter der Technologieentwicklung her und war zuwenig zukunftsorientiert. Für die Ausgestaltung der praktischen Nachhaltigkeitspolitik sind **Absenkpfade** zu entwickeln, die auf den vorhandenen und auf den sich abzeichnenden technisch-wirtschaftlichen Möglichkeiten sowie auf unterschiedlichen gesellschaftlich-wirtschaftlichen Rahmenszenarien beruhen.

Hochleistungs-Isolationsmaterialien wie VIP und moderne (multifunktionale) Fenstersysteme sind zentrale Technologien für eine drastische Reduktion des Wärmeenergiebedarfes von Gebäuden. Die technisch-wirtschaftlichen Perspektiven dieser Technologien für eine nachhaltige Energieversorgung sind zu vertieft zu untersuchen (vgl. Es ist zu klären, ab wann bei Neubauten und ab wann bei erneuerten Bauten ein Null-Heizenergiestandard vertretbar sein wird.

Die Entwicklung des optimalen Technologiemix für Neubauten und für Sanierungen in Zukunft ist noch offen. Dabei geht es um den künftigen relativen Stellenwert von Wärmeschutztechnologien, der noch notwendigen Raumwärmeproduktion und der erneuerbaren Energien zur Warmwasserproduktion/unterstützenden Raumwärmeproduktion (für Neubauten und Sanierungen).

#### Lüftung/Klimatisierung (Komfort)

Die Komfort- und Klimatisierungsansprüche werden in Zukunft weiter zunehmen. Die technologische Lösung von Lüftung und Klimatisierung, das technische Konzept ist noch nicht konsolidiert, die bestehenden mechanischen Systeme haben Akzeptanzprobleme

und sind zum Teil noch nicht wirtschaftlich. Die bestehenden Arbeiten zu den Perspektiven der aktuellen Lüftungs- und Klimatisierungskonzepte (wirtschaftlich, technologisch und akzeptanzmässig) sind im Hinblick auf die nachhaltige Energieversorgung vertieft zu evaluieren, mit einem integralen Ansatz ('Komfort im Gebäude'), unter Einbezug von passiven Systemelementen und im Hinblick auf Kostensenkungsmöglichkeiten durch Modulbauweise und Standardisierung.

#### 3.1.4 Technologiepotenziale im Verkehrsbereich

#### 3.1.5 Technologiepotenziale in Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen (IGD)

#### a) Einleitung

Wir unterscheiden technologische Potenziale von Querschnittstechnologien<sup>13</sup> und von Prozessen in Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen (IGD). Die technischen Potenziale im Gebäudebereich von Industrie/Gewerbe/Dienstleistungen (IGD) werden im Gebäudekapitel behandelt.

In der Periode von 1990 bis 2001 hat der Endenergieverbrauch in IGD von 296 PJ/a auf 335 PJ/a zugenommen (+13%). Davon verbrauchten 1999 die neun energieintensiven Branchen Papier, Chemie/Pharma, Zement, Nahrungsmittel, Metall, Maschinen, Elektro, Bau, Textil rund 140 PJ/a.

Die Entwicklung der künftigen Energienachfrage im Bereich IGD hängt neben der Technologieentwicklung massgeblich vom Wirtschaftswachstum (BIP) und vom wirtschaftlichen Strukturwandel ab. Der Trend der Schweizer Wirtschaft zu wertschöpfungsintensiver **Nischenproduktion**, zur **Tertiarisierung** und die weiter abnehmende Bedeutung der Grundstoffproduktion in der Schweiz unterstützen in Zukunft die Reduktion der Energieintensität<sup>14</sup>.

### b) Technologiepotenziale im Bereich Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen

Querschnittstechnologien: Die deutsche Enquete-Kommission (2002) unterscheidet Beleuchtung, Pumpen/Ventilatoren, sonstige elektrische Antriebe, Druckluft, thermische Anwendungen bis 200°C bzw. von 200 bis 500°C bzw. > 500°C, Elektrotechnologien und sonstige Querschnittstechnologien. (Basics 2000) unterscheidet Elektromotoren, Kompressoren, Wärmetauscher, Trockner, Brenner, WKK-Anlagen, Kessel, Recycling, tribologische Massnahmen, Messen/Regeln/Steuern, Cax, Automatisierung, Robotisierung, Biotechnologien. Novatlantis bezeichnet dagegen die neuen Informations- und Kommunikationstecnologien sowie die Leistungselektronik als 'cross-cutting technologies' (No-

vatlantis 2002, S. 36 ff.)

Bisher haben sich Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch nicht oder bestenfalls ansatzweise entkoppelt, trotz

Tertiarisierung und teilweiser Dematerialisierung (s. BFE 2002: Gesamtenergiestatistik 2001, S. 48).

\_

Neben der Optimierung von Prozessen und Querschnittstechnologien, dem Energiemanagement und der Optimierung der betrieblichen Energieversorgung ermöglichen neue Werkstoffe, materialeffiziente Produkte- und Prozessgestaltung langfristig einen geringeren Energieeinsatz und höhere Energieeffizienz. Neuartige Nutzungskonzepte und Mehrfachnutzungen ergeben zusätzliche Ressourceneinsparungen.

In den folgenden Ausführungen zu den Potenzialen stehen die Querschnittstechnologien im Vordergrund. Die Möglichkeiten bei der betrieblichen Energieversorgung (WKK, Erneuerbare) werden in anderen Abschnitten angesprochen. Energiemanagement liegt primär auf der Ebene der Verhaltensmassnahmen, obwohl es dabei auch technologische Aspekte geben kann (intelligente Gebäudetechnik, Steuerung/Regelung mit IT-Technologien kombiniert). Auf neue Nutzungskonzepte und Ökoprodukte und Dienstleistungen wird am Schluss des Kapitels verwiesen.

#### Prozesse:

Die Reduktionspotenziale bei (energieintensiven) Prozessen erfordern vertiefte Abklärungen pro Prozess, allgemeine Angaben sind wegen der Heterogenität und wegen dem spezifischen Charakter der jeweiligen Prozesse nur begrenzt möglich. Für die sechs Branchen Papier, Chemie/Pharma, Zement, Nahrungsmittel, Textil und Abwasserreinigung werden die Effizienzpotenziale auf 20-50% geschätzt (Novatlantis 2002, S. 23).

	Sector	Pulp & Paper	Chemi- cals Pharma	Cement	Food	Textile	Waste water
	Final energy demand in 1999	27.1 PJ	21.1 PJ	18.1 PJ	17.7 PJ	5.4 PJ	3 PJ *)
	Estimated efficiency gains	max. 30%	30-50%	max. 30%	max. 35%	20-50%	~30%
System aspects (on system level	Process and Product development		++ (A2-2)	+		++ (A2-5)	
	development Process and Product development Process optimisation (methodologies, tech- nologies) Material efficiency (e.g. recycling, new prod- ucts)		++ (A2-2)	+	+	++	
	Material efficiency (e.g. recycling, new prod- ucts)	++ (A2.1)	++ (A2-2)				
nit ocesses	Reaction heat		++ (A2-2)	++	+	++	
	Mechanical separation	++ (A2.1)				+	+
	Drying	+	+		+ (A2-6)	<b>++</b> (A2-6)	+
	Distillation, Crystalisa- tion, Concentration		++ (A2-2)		+ (A2-2)		
	Grinding / Crushing	+		<b>++</b> (A2-3)			

\*) Only municipal wastewater treatment plants (also included is an additional 1 PJ a· heat demand for sludge drying)

Abbildung 3 Industriebranchen, Endenergieverbrauch 1999, Effizienzpotenziale und relevante Prozesse der Novatlantis -Vorstudie (Novatlantis 2002, S. 23)

Importance for future energy efficiency: + = important; ++ = very important

Values in brackets refer to the chapter in Appendix 2 where the corresponding Fact Sheets presented.

#### Querschnittstechnologien (QT):

Querschnittstechnologien (QT) werden nicht spezifisch für einen bestimmten Prozess eingesetzt, sondern sind Technologien, die in diversen Branchen, bei unterschiedlichen Prozessen Energiedienstleistungen erbringen. Sie gelten in der Regel als periphere Anwendungen und werden im Vergleich mit den energieintensiven Kernprozessen tendenziell vernachlässigt. Bei KMU bestimmen sie den Energieverbrauch massgeblich mit. Basics (2000, S. 122) fasst die wesentlichen QT und deren durchschnittliches Reduktionspotenzial bis 2015–2030 zusammen (s. unten).

Technologie	Anwendungsber	eich	Typische Reduktion des Gesamt- energieverbrauchs der besten Technologien gegenüber dem heutigen Durchschnitt in den Jahren 2015 bis 2030 (in %)
Elektromotoren Drehzahlregulierung, Lastmanagement, Vermeidung von Teillastzuständen	Umwandlung von Elektrizität in mechanische Energie		1
Kompressionsmaschinen Pumpen Verrohrungsgeometrie	Bereitstellung und Trans- port von Fluiden		2 - 15 8 - 20 5 - 25
<b>Wärmetauscher</b> Kaskadennutzung	Wärmerückgewinnung		4 - 15 8 - 30
Trockner Erwärmungstechnologien: Laser, Lichtbogen, Mikrowellen, Infrarot, induktives Heizen	Erwärmung		2 - 15 5 - 25
Brenner Kondensationskessel	Total and a garage		4 - 10 6 - 8
Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen	Elektrizitäts- und produktion	Wärme-	5 - 12 (Primärenergie)
Kessel Rohre (heisse und kalte Fluide)	Wärmedämmung		4 - 8 5 - 20
<b>Recycling</b> (Papier, Karton, Glas, Aluminium, Stahl u.a.)	n, Rohstoffe/Ausgangsstoffe		15 - 80
Biotechnologie			0 - 95
Schmieren, Kuppelungen, Transmission, Getriebe	Tribologische nahmen	Mass-	3 - 20
CAx Roboterisierung Automatisierung Biotechnologie	Produktionsablauf		(-2)* - 15 (-10)* - 10 (-5)* - 18 0 - 95
für alle Produktionsprozesse	Messen, Regeln, Steuern		6 - 15

Minuszeichen: Zunahme

Tabelle 6: Energieeffizienzpotentiale von Querschnittstechnologien 2015–2030 (Basics 2000)

#### c) Forschungsbedarf, Forschungslücken

#### Erneuerung der Energieperspektiven von IGD:

Der wirtschaftliche Strukturwandel erfordert einen konsistenten Einbezug der erwarteten Branchen-, Betriebsgrössen und Produktionsstrukturentwicklung in der Schweiz bis 2050 als Basis für die Formulierung der Referenzentwicklung und für die Ausgestaltung der Nachhaltigkeitsstrategie. Dabei ist insbesondere der künftige Stellenwert der noch verbliebenen Branchen mit grosser Energieintensität und die Entwicklung des Stromkonsums von IGD zu klären.

#### Prozesse:

Der Bereich der energieintensiven Prozesse ist sehr heterogen. Die Betriebe bzw. die jeweiligen Branchen haben wegen dem verhältnismässig hohen Energiekostenanteil einen starken Anreiz zu Effizienzsteigerungen und zur Schliessung noch bestehender Forschungslücken (Hinweise auf Forschungsbedarf bei einzelnen Technologien wie Membrantechnik, neue Trocknungsverfahren, Katalysatoren etc. s. Novatlantis 2002, S. 24). Daher sehen wir keinen spezifischen Forschungsbedarf im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie. Als Grundlage für die Nachhaltigkeitspolitik empfiehlt sich dagegen für ausgewählte Technologien (die eine minimale Verbreitung haben) ein Technologiemonitoring vorzunehmen, das die technisch-wirtschaftliche Entwicklung dokumentiert und Voraussetzungen für die Ableitung von Erfahrungskurven und die Vorgabe von technologischwirtschaftlichen Benchmarks schafft.

#### Querschnittstechnologien:

Kein Forschungsbedarf im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie (die Forschung findet bei den in- und ausländischen Technologieanbietern statt). Auch hier wird wiederum der Aufbau eines Technologiemonitorings vorgeschlagen, um die Entwicklung der Querschnittstechnologien zu verfolgen. Damit können Informationen für die Vermarktung energieeffizienter Technologien und für die Schaffung von Rahmenbedingungen für die Nachhaltigkeitspolitik generiert werden. Mit dem Technologiemonitoring sind zudem Informationen für die Abschätzung der Perspektiven der einbezogenen Technologien im Rahmen der nachhaltigen Energieversorgung bereitzustellen (Forschrittsraten, technischwirtschaftliche Kennziffern).

#### 3.1.6 Erhöhung von Ressourcen- und Materialeffizienz

#### a) Einleitung, Potenzial

Im Bereich IGD geht es nicht nur um eine hohe energetische Effizienz bei der Leistungserstellung, sondern um Energieeinsparungen durch Dematerialisierung, Substitution energieintensiver Werkstoffe und Technologien, Produkte-Wiederverwendung und Stoffrecycling. Der Energieverbrauch energieintensiver Stoffe in der Industrie ist für etwa einen Drittel des Energieverbrauches im Bereich Industrie verantwortlich. Daher weisen die Substitution energieintensiver durch energieextensivere Werkstoffe, energiesparende Prozesse und Logistikkonzepte, die Verbesserungen von Werkstoffeigenschaften, materialsparende Produktegestaltung, aber auch Produkte- und Materialrecycling und -wiederverwendung ein beträchtliches energetisches Spar- und Effizienzpotenzial auf. Novatlantis schätzt nur schon das Energieeffizienzpotenzial von neuen und/oder verbesserten Werkstoffen und materialeffizienter Produktegestaltung auf 40 – 80 PJ/a um 2050; (Novatlantis 2002, S. 41).

Die Voraussetzungen für Produkte- und Materialrecycling und –wiederverwendung müssen bereits bei der Produkteentwicklung und –gestaltung geschaffen werden (Materialkennzeichnung, Trennbarkeit, etc.). Dazu werden primär geeignete Rahmenbedingungen benötigt (Anreize und Vorschriften, s. **eco**ncept 2000)<sup>15</sup>, welche die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in diese Richtung lenken.

#### b) Forschungsbedarf

Die Forschung bei den Werkstofftechnologien und Materialwissenschaft läuft international und national bei einer Vielzahl öffentlicher und privater Forschungsinstitutionen. Im Rahmen der Nachhaltigkeitsstrategie geht es zum einen um die Erforschung der geeigneten Voraussetzungen und Rahmenbedingungen, die zu energiesparender Materialeffizienz führen.

Daneben ist der künftige Stellenwert bzw. die Möglichkeiten von Mehrfachnutzungen und Lebensdauerverlängerungen unklar und sollte im Hinblick auf den Energieverbrauch und die Stoffflüsse identifiziert und evaluiert werden. Das gilt gleichermassen für **neuartige Leistungserstellungskonzepte** (Produktion, Logistik, etc.) bezogen auf die künftige schweizerische Branchenstruktur (zurzeit ist es beispielsweise nicht klar, ob durch Prozessoptimierung, Reduktion von Lagerhaltung und gebauter Infrastruktur der Materialund Energieeinsatz gesenkt oder nur auf andere (mobile) Verbraucher bzw. auf die Nutzer verlagert wird).

#### 3.1.7 Technologiepotenziale bei der Energieproduktion? Stromproduktion?

\_

e c o n c e p t 2000, Ökologische Steuerreform und marktwirtschaftliche Instrumente für eine nachhaltige Abfallwirtschaft, SPPU/IP Abfall, Zürich Jan. 2000

#### 3.1.8 Verhaltenspotenziale

Neue Produkte- und Dienstleistungsnutzungskonzepte: Chancen von Nutzungsintensivierung durch Mehrfachnutzungen (Car Sharing, Maschinenpools, etc.) und Möglichkeiten zu Kaskadennutzungen (Mehrfachnutzungen für u.U. sinkende Ansprüche zur Verlängerung der 'Marktlebensdauer' im Rahmen der technischen Lebensdauer).

## 3.2 Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen

Die Ausschreibung hält fest, dass unklar ist, ob und wie ein nachhaltiges Energiesystem im Rahmen einer offenen Gesellschaft überhaupt erreichbar ist.

## 3.3 Modelle für die Auswirkungsanalyse

#### Zweck von Modellen

Quantitative computergestützte Modelle werden im hier interessierenden Kontext eingesetzt, um die Auswirkungen verschiedener politischer Strategien und Massnahmen auf die Entwicklung des Energiesystems und damit auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft abzuschätzen. Sie können verwendet werden zur Bewertung von Szenarien, die sich in jeweils unterschiedlicher Gewichtung aus verfügbaren energietechnischen Optionen zusammensetzen. Untersucht werden damit mögliche Entwicklungspfade hin zu vorgegebenen Nachhaltigkeitszielen, die dann anhand ihrer ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen verglichen werden. Ist es technisch, wirtschaftlich und gesellschaftlich möglich, das Energiesystem so umzugestalten, dass es den Nachhaltigkeitszielen genügt?

#### Aufbau von Modellen (Input/Output etc.)

Was ist Input, was Output? Input: Potenziale, Nachfrage (?), bestimmte SRM; Output: Energiesystem, dessen Auswirkungen auf Nachhaltigkeitsziele. Die Frage lautet: Was wird exogen vorgegeben, was wird dynamisch, modellendogen verändert? An welchen

Schrauben kann überhaupt gedreht werden? Was verändert sich mit den SRM? Wie werden die Auswirkungen bestimmter SRM auf die Potenziale modelliert?

#### **Erfassung technischen Wandels im Modell**

Die Ergebnisse von Modellen werden entscheidend davon beeinflusst, in welcher Weise der technische Wandel in ihnen erfasst und abgebildet wird. Bislang wurde er mehrheitlich exogen vorgegeben, d.h. als unbeeinflussbar angenommen. Bei einer exogenen Betrachtung fällt der technische Fortschritt gewissermassen wie "Manna vom Himmel". Es wird implizit vorausgesetzt, dass sich Technologien "autonom" entwickeln, ihre Kosten wie nach einem festen Plan sinken, der technische Fortschritt also sozusagen ohne besonderes Zutun entsteht.

Zu jedem Zeitpunkt werden die Kosten einer energietechnischen Massnahme und (nicht immer explizit) die Höhe ihres Marktpotenzials als bekannt vorausgesetzt. Diese Grössen werden als Input ins Modell vorgegeben. In der Realität werden die Kosten einer energietechnischen Massnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt jedoch davon abhängen, in welchem Umfang zuvor in die Installation der Massnahme investiert wurde. Jede Energietechnologie profitiert von einem Lerneffekt, der sich mit zunehmender Installation (Erfahrung) einstellt und sich in sinkenden Kosten äussert. Dieser kann mittels Lernkurven bzw. Lernraten erfasst werden.

Eine exogene Vorgabe technischer Potenziale wirkt sich in den Modellen in mehrfacher Hinsicht ungünstig aus (Grübler und Messner 1998):

- Sie führt zu erheblichen Fehleinschätzungen der Wirtschaftlichkeit energietechnischer Optionen. Mit ihr sind die Kosten einer Technologie für jeden Zeitpunkt vorgegeben unabhängig davon, wo man sich zu diesem Zeitpunkt auf der Lernkurve tatsächlich befindet. Im Modell wird dadurch eine neue Technologie (z.B. PV) dann kompetitiv, wenn ihre Kosten auf ein entsprechendes Niveau gefallen sind. Ab diesem Zeitpunkt wird in die Technologie investiert und sie gewinnt Marktanteile.
- Bezogen auf die Lernkurve bedeutet eine exogene Vorgabe, dass bis zu einem gegebenen Zeitpunkt eine Technologie eine bestimmte kumulierte Produktionsmenge aufweist. Gerade diese Produktionsmenge wird ja aber im Rahmen des Modells mittels der vorgegebenen technischen Potenziale erst errechnet. Die innere Konsistenz von Input und Output des Modells ist deshalb bei einer exogenen Vorgabe der technischen Potenziale nicht gewährleistet.
- Durch die exogene Vorgabe wird suggeriert, dass es sich volkswirtschaftlich lohnt, Investitionen in Technologien zur Emissionsvermeidung zu verschieben. Mit Investitionen in solche Technologien kann gewartet werden, bis der Zeitpunkt erreicht ist, wo

deren Kosten "von selbst" auf ein kompetitives Niveau gefallen sind. (Denselben Effekt löst die Annahme einer höheren Diskontrate aus.)

Bei einem modellendogenen Einbezug des technischen Wandels treten diese Probleme hingegen nicht auf. Die Wirtschaftlichkeit einer Technologie wird dann dynamisch abhängig vom Ausmass, in dem bis zu einem betrachteten Zeitpunkt in die Technologie investiert worden ist. Jede Investitionsentscheidung beeinflusst spätere Investitionsentscheidungen, indem sie zu einer Bewegung auf der Lernkurve hin zu tieferen Kosten führt. Dabei wird die Lernrate als bekannt vorausgesetzt und dem Modell anstatt des Potenzials als exogener Input vorgegeben (McDonald und Schrattenholzer 2001). Die Marktpenetration neuer Technologien setzt dadurch typischerweise früher ein als bei einer exogenen Betrachtung, weil die – möglicherweise durch Massnahmen gestützte – Investition in sie die Kostendegression beschleunigt.

Grundsätzlich führt die Endogenisierung zur Bevorzugung möglichst frühzeitiger Investitionen in neue, emissionsmindernde Technologien. Studien zeigen, dass es dabei zum Erreichen eines langfristigen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziels besser sein kann, verstärkte Investitionen in F+E sowie in P+D-Anlagen vorzunehmen, als das Geld für unmittelbar wirksame, aber teure Emissionsreduktionen auszugeben (Grübler und Messner 1998, Goulder und Schneider 1999). Diese Investitionen zahlen sich langfristig aus, indem sie technologische Lerneffekte auslösen, dank denen das langfristige Reduktionsziel zu insgesamt geringeren Kosten erreicht wird. Je früher diese Investitionen in neue Technologien getätigt werden, desto schneller sind auch die Früchte in Form tieferer Kosten dieser Technologien zu ernten. Umgekehrt sind die Investitionen aber sogar Voraussetzung, damit eine Technologie die Barriere ihrer Unwirtschaftlichkeit überwinden kann. Ohne Anfangsinvestitionen werden sich die bei einer exogenen Vorgabe unterstellten technischen Potenziale gar nicht einstellen.

Der Grund, weshalb bislang eine Endogenisierung des technischen Fortschritts kaum je in ein Modell eingebaut worden ist, ist technischer Natur. Die Modelle werden dadurch nichtlinear und mit positiven Rückkopplungen ausgestattet (je mehr eine Technologie eingesetzt wird, desto stärker wird der Anreiz, sie noch mehr einzusetzen). Die Behandlung wird algorithmisch äusserst aufwendig (z.B. Nicht-Konvexität der Lösungsfunktion), so dass erst seit neuerer Zeit die erforderliche Rechenleistung zur Verfügung steht, um die Modelle mit vertretbarem Aufwand zu lösen (McDonald und Schrattenholzer 2001).

Entscheidend für den Erfolg der Endogenisierung ist auch, dass eine verlässliche empirische Datenbasis für die Lernraten existiert. Diese sind für den Energiebereich bislang erst rudimentär untersucht und mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet. Eine offene Forschungsfrage betrifft insbesondere das Wechselspiel zwischen F+E-Aufwendungen für eine Technologie und deren Einfluss auf die Lernrate. Die Unsicherheiten gilt es im Modell selbst wiederum abzubilden, um ihren Einfluss auf die Ergebnisse des Modells abzu-

schätzen. Tendenziell führen unsichere Lernraten zu einer Lösung mit weniger aggresiver Investitionspolitik in neue Energietechnologien (Grübler *et al.* 1999, S. 270).

Bezogen auf das Gesamtprojekt ist nicht klar, wie die Vorteile einer Endogeniserung eingebaut und genutzt werden können. Da im Gesamtprojekt nur das Schweizer Energiesystem betrachtet wird, ist eine Endogenisierung vorderhand nicht sinnvoll: Investitionen in der Schweiz in Energietechnologien wie auch in F+E haben global praktisch keinen Einfluss darauf, wo man auf der Lernkurve steht. Andererseits würde im Gesamtprojekt die Dynamik des technischen Fortschritts unterschätzt, wenn exogen technische Potenziale vorgebeben würden. Vorzuziehen wäre es, global oder zumindest europäisch dynamisch modellierte Potenziale dem Schweizer Modell exogen vorzugeben. (Sensitivitätsanalyse mit verschiedenen exogenen Vorgaben?) --> Vergleich vorliegender europäischer bzw. globaler Nachhaltigkeitsszenarien sollte gemacht werden.

Trade-offs zwischen konkurrierenden Zielen (nach Sektoren): Bedeutet die Erreichung des Klimaziels zugleich einen Verzicht auf Wachstum oder auf Konsum, Verteilungseffekte? Gibt es Möglichkeiten, die Nachhaltigkeitsziele zu erreichen ohne Wachstumseinbussen? Der Einfluss der Gestalt des Energiesystems auf das WW scheint vernachlässigbar (UKEWP); gilt auch das Umgekehrte?

Zehnjahresschritte!? Den Modellen und Szenarien kann entnommen werden, unter welchen technischen, sozialen und wirtschaftlichen Bedingungen bestimmte Ziele erreicht werden können und welche politischen Rahmenbedingungen hierfür nötig sind. (Wie??)

Lineare Programmierung: Zielfunktion minimiert die gesamten Kosten (ohne Steuern, Abgaben, Subventionen) des Energiesystems im Zeitraum 2000-2050 (Investitionskosten, fixe/variable Betriebskosten, Stillegungskosten, Restwert von Anlagen als Gutschrift). Technologien werden nach Kostenwirksamkeit bis zur Ausschöpfung ihres Potenzials eingesetzt (unter Beachtung vorgegebener Randbedingungen z.B. zu CO<sub>2</sub> u.a.). Resultat: Marktanteile der Technologien und dafür zu installierende Kapazitäten.

"Wichtigste Einschränkung aller Modelle ist ihre Subjektivität: In jedem Modell wird ein teil der Welt simplifiziert und mit mathematischen Verfahren abgebildet, um Vorhersagen zu machen; doch welcher teil mit welchen Berechnungsverfahren und Rahmendaten abebildet wird, ist unterschiedlich und hängt von den subjektiven Einschätzungen und Wertsetzungen des Modelbildners ab. Es lässt sich sehr scher entscheiden, welcher der vielen Ansätze zur Modellierung eines sozioökonomischen Systems am besten geeignet ist." (Enquete 2001, S. 656).

## 3.4 Folgerungen zum Forschungsbedarf im Gesamtprojekt

Existenz signifikanter Forschungslücken aus Sicht der Energiepolitik: Die haben gezeigt, dass die Nachhaltigkeitsziele nicht von selbst erreicht werden, dass diese Ziele ambitiös sind und dass zur Zeit noch nirgends eine Strategie implementiert wird, die Chancen hat, diese Ziele zu erreichen. Trotz einer nahezu unüberschaubaren Literaturfülle besteht nach wie vor Forschungsbedarf in bezug auf die Frage, wie ein langfristig nachhaltiges Energiesystem erreicht werden kann.

## 4 Bestimmung der Nachhaltigkeitsindikatoren

Die Nachhaltigkeitsdiskussion verliert ihre Beliebigkeit und Folgenlosigkeit erst dann, wenn über quantifizierte Umweltqualitätsziele und Leitindikatoren in einem demokratischen Prozess Einigkeit erzielt wird. Quantifizierte Leitziele sind keine dirigistischen Planvorgaben, sondern sie sind ein Kompass für gesellschaftliche Entwicklungen, eine Orientierung für Programme und Massnahmen und eine Messlatte für gesellschaftlichen Fortschritt.<sup>16</sup>

## 4.1 Einführung und Zielsetzung

Als Grundlage und Richtschnur für das Gesamtprojekt wird im vorliegenden Kapitel ein konkretes, knappes Set von Indikatoren entworfen, mit welchem sich das Schweizer Energiesystem langfristig in bezug auf seine Nachhaltigkeit charakterisieren lässt. Im anschliessenden Kapitel werden für die Indikatoren zugehörige Zielwerte bis 2050 diskutiert.

Zweck des hier entwickelten Vorschlags ist, im Rahmen des Gesamtprojektes das Schweizer Energiesystem mit wenigen Kenngrössen auf seine Nachhaltigkeit hin zu beurteilen und mit dem Zeithorizont 2050 eine realistische Vision mit konkreten Zielwerten für dieses System zu entwerfen. Auf die dabei bestehenden Zielkonflikte wird ausführlich eingegangen.

Die Auswahl der Indikatoren orientiert sich an den Postulaten des Bundesrates zur nachhaltigen Entwicklung (SBR 2002) sowie an den im Rahmen des Projekts "Monet" der Bundesverwaltung formulierten Postulaten (BFS et al. 2002). Auf die angemessene Erfassung der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit wird grosser Wert gelegt, eine detaillierte Abbildung der vielfältigen Wechselwirkungen zwischen dem Energiesystem einerseits und Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt andererseits wird hingegen nicht angestrebt.

Die den Indikatoren zugehörigen Zielwerte zeigen auf, wie – nach heutigem Wissensstand – eine nachhaltige Ausgestaltung des schweizerischen Energiesystems im Jahr 2050 aussehen könnte. Sie dienen der im Gesamtprojekt auszuführenden Vision als Richtschnur und Arbeitshypothese, haben jedoch nur indikativen Charakter und sind politisch nicht konsolidiert.

Ein erster Entwurf für ein Indikatorenset und zugehörige Zielwerte wurde in einem Kreis von Fachleuten aus verschiedenen an der Frage interessierten Stakeholdern im Rahmen

\_

Enquete 2002, S. 130.

eines Workshops diskutiert. Die Ergebnisse der dortigen Diskussion wurden in den hier präsentierten Vorschlag eingearbeitet.

### 4.2 Stand der Forschung

Die folgenden Ausführungen fassen den im Beilagenband (Kapitel xx) enthaltenen Überblick über den Stand der Forschung zu Nachhaltigkeitsindikatoren und Zielwerten für den Energiebereich zusammen.

#### 4.2.1 Das Konzept der Nachhaltigkeit

Um über Indikatoren und Zielwerte für Nachhaltigkeit im Energiebereich sprechen zu können, muss zunächst geklärt werden, was unter Nachhaltigkeit verstanden wird. Die am häufigsten genannte Definition von Nachhaltigkeit geht zurück auf die sogenannte Brundtland-Kommission und stammt von 1987. Ihr zufolge ist eine Entwicklung dann nachhaltig, wenn sie "gewährleistet, dass die Bedürfnisse der heutigen Generation befriedigt werden, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zur Befriedigung ihrer eigenen Bedürfnisse zu beeinträchtigen". Nachhaltigkeit steht also mithin für die Vision einer Welt, in welcher materielle und gesellschaftliche Ressourcen so genutzt werden, dass legitime menschliche Bedürfnisse intra- und intergenerationell gerecht befriedigt werden.

In der internationalen Diskussion hat sich die Sprechweise durchgesetzt, dass die Wirkungen menschlichen Handelns in drei Richtungen oder Dimensionen zu untersuchen sind. Pauschal sind dies die Dimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Nachhaltiges Handeln nimmt im Sinne des Bundesrats (SBR 2002, S. 9f.) ökologische Verantwortung wahr, wenn es den Lebensraum für Menschen, Tiere und Pflanzen erhält und die natürlichen Ressourcen mit Rücksicht auf die zukünftigen Generationen nutzt. In bezug auf die Wahrung der wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit erhält nachhaltiges Handeln den "Wohlstand und die Entwicklungsfähigkeit der Wirtschaft". Die gesellschaftliche Solidarität respektiert nachhaltiges Handeln, indem es "ein Leben und eine Entwicklung der Menschen in Solidarität und Wohlbefinden ermöglicht". Die drei Dimensionen, so wird betont, sind gleichrangig zu behandeln. Wer nachhaltig handeln will, muss also eine ständige Abwägung der drei Zieldimensionen vornehmen. Dabei ist sicherzustellen, dass diese nicht systematisch zulasten des immer gleichen Bereichs geht und dass die begrenzte Belastbarkeit der Biosphäre in Rechnung gestellt wird.

#### 4.2.2 Kriterien, Indikatoren und Zielwerte für Nachhaltigkeit

Zur Operationalisierung der Nachhaltigkeit ist zunächst zwischen Kriterien, Indikatoren und Zielwerten zu unterscheiden.

 Nachhaltigkeitskriterien müssen so gewählt werden, dass sie eine repräsentative Beobachtung des Grades ermöglichen, in dem in einem Handlungsfeld die in bezug auf die drei Dimensionen Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft zu respektierenden Nachhaltigkeitsziele erreicht werden. Diese Ziele können beispielsweise in Form von Postulaten formuliert werden, welche die Anforderungen, die Nachhaltigkeit an das Handeln stellt, konkretisieren (vgl. dazu Scheller und Altwegg 2001). Die Kriterien sollten dann mit einem oder mehreren der Postulate korrespondieren.

- Nachhaltigkeitsindikatoren sind die einem Kriterium zugeordneten Messgrössen. Indikatoren können quantitative oder qualitative Grössen sein.
- Jedem Indikator kann idealerweise ein quantitativer Zielwert zugeordnet werden, bei dem sich das fragliche Handlungsfeld im Zustand der Nachhaltigkeit befindet. In der Praxis werden solche absoluten Sollwerte kaum anzugeben sein. Die Festlegung quantitativer Zielwerte ist dennoch notwendig, um Aussagen darüber machen zu können, ob ein Zustand nachhaltig ist bzw. welchen Beitrag eine bestimmte Massnahme zur Nachhaltigkeit leistet. Wo keine quantitativen Indikatoren vorhanden sind, ist zumindest die erforderliche Entwicklungsrichtung vorzugeben.

Im Laufe des vergangenen Jahrzehnts sind zahlreiche Überlegungen angestellt worden, mit welchen Kriterien und welchen Indikatoren die Nachhaltigkeit verschiedener Politikfelder erfasst werden könnte. In der Schweiz wird derzeit von der Bundesverwaltung im Rahmen des Projekts "Monet" (**Mo**nitoring der nachhaltigen Entwicklung) ein Indikatorensystem entwickelt, das die aktuelle Lage und Entwicklung der Schweiz hinsichtlich der sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Aspekte der nachhaltigen Entwicklung misst und dokumentiert. Das fertige Indikatorensystem ist für März 2003 angekündigt.

Es ist davon auszugehen, dass dieses eine hohe Verbindlichkeit erhält, ist doch der Bundesrat bestrebt, ein methodisches Instrumentarium zur Nachhaltigkeitsbeurteilung zu entwickeln, welches die Auswirkungen von Gesetzesvorlagen, Konzepten und Projekten im Hinblick auf ihre Nachhaltigkeit prüfen soll (SBR 2002, S. 35). Diese Beurteilung wird aller Voraussicht nach auf die Monet-Indikatoren zurückgreifen. Deshalb muss für den hier entwickelten Vorschlag zu Nachhaltigkeitsindikatoren für den Energiebereich ein Abgleich mit den Monet-Indikatoren erfolgen.

#### 4.2.3 Kriterien und Indikatoren für Nachhaltigkeit im Energiebereich

Der Diskussionsstand zu Nachhaltigkeitskriterien und -indikatoren im Energiebereich ist in der Schweiz bereits recht fortgeschritten. Dies verdankt sich in erster Linie dem durch das Forschungsprogramm "Energiewirtschaftliche Grundlagen" des BFE in Auftrag gegebenen Bericht "Nachhaltigkeit: Kriterien und Indikatoren für den Energiebereich" (Brodmann *et al.* 2001). Der Bericht listet 27 Kriterien und 60 Indikatoren auf, die zu weiten Teilen eine Synthese der diversen bereits sich in Gebrauch befindlichen Indikatorensysteme darstellen. Zugleich decken sie die in der Departementsstrategie des UVEK (2001) festgehaltenen energiepolitischen Nachhaltigkeitsziele ab.

Brodmann *et al.* (2001, S. 25f.) unterscheiden vier Typen von Kriterien bzw. Indikatoren, die speziell auf den Energiebereich zugeschnitten sind (s. Abbildung 4):

- Wirkungsindikatoren bezeichnen die Wirkungen des Energiebereichs auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft.
- Aktivitätsindikatoren beschreiben die Produktion und den Konsum von Gütern und Dienstleistungen in den vier klassischen Verbrauchergruppen Industrie, Dienstleistung, Haushalte und Verkehr. Deren Aktivitätsniveau ist eine entscheidende Triebkraft für die Entwicklung der Nachfrage nach Nutzenergie.
- Effizienzindikatoren bezeichnen die Effizienz, mit der die Nachfrage nach Energie bzw. Energiedienstleistungen befriedigt wird. Die Effizienz des Energiesystems ist dabei eine Funktion der zum Einsatz gelangenden Technologien zur Nutzenergiebereitstellung.
- Politikindikatoren bilden die Reaktionen ab, mit denen die Politik auf die verbesserte Nachhaltigkeit im Energiebereich hinwirkt. Sie messen Aufwand und Ertrag energiepolitischer Strategien und Massnahmen, mit denen Einfluss auf die Form des Energiesystems genommen wird.

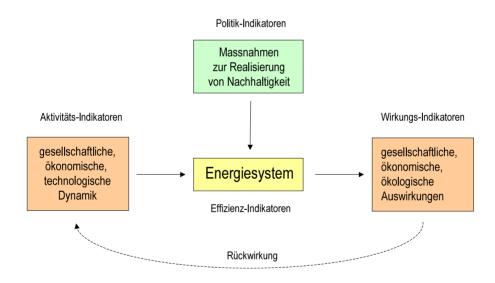


Abbildung 4: Zuordnung der vier Indikatortypen aus Brodmann et al. (2001)

14 der 27 Kriterien beziehen sich auf die Wirkungen des Energiesystems auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft (vgl. Tabelle 7). Aus Gründen, auf die wir in Abschnitt 4.4 zu sprechen kommen, werden wir uns in der Folge hauptsächlich mit diesen beschäftigen.

Ökologische Kriterien	Wirtschaftliche Kriterien	Gesellschaftliche Kriterien	
Ressourcen	Versorgungsqualität	Solidarität	
Klima	Preise	Partizipation	
Lufthygiene	Effizienz	Individualität	
Radioaktivität	Stabilität	Sicherheit	
Landschaft & Lebensräume			
Nicht ionisierende Strahlung			

Tabelle 8: Wirkungskriterien des Energiebereichs nach Brodmann et al. (2001)

Die Wahl der Kriterien und Indikatoren – das zeigt der Vergleich mit anderen Systemen – ist bis zu einem gewissen Grad beliebig und entsprechend anfechtbar. Entscheidend ist, dass ein Indikatorensystem in sich konsistent und auf die besonderen Bedürfnisse zugeschnitten ist, die es befriedigen soll. Dabei ist im Einzelfall transparent zu machen, warum gerade diese spezifische Auswahl von Indikatoren getroffen wurde, welche Aspekte von Nachhaltigkeit die Indikatoren abdecken und welche Interdependenzen zwischen den Indikatoren bestehen.

#### 4.2.4 Zielwerte für Nachhaltigkeit im Energiebereich

Gefestigte Vorstellungen zu Zielwerten für Nachhaltigkeit sind (nicht nur) im Energiebereich noch kaum vorhanden. Ein wesentlicher Grund dafür ist, dass nur die wenigsten Indikatoren isoliert betrachtet werden können. Oft stehen je zwei Indikatoren für gegenläufige Ziele, und Zielwerte für die Indikatoren scheinen die bestehenden Zielkonflikte quasi zu zementieren. Politisch sind daher solche Zielfestlegungen äusserst heikel, setzen sie doch klare Güterabwägungen und Wertentscheidungen voraus.

Die wissenschaftliche Diskussion über Zilewerte wird aber durchaus geführt, zumindest für einzelne Indikatoren. Auf der Grundlage natur- und technikwissenschaftlicher sowie ökonomischer Erkenntnisse ergeben sich solche Zielwerte aus langfristigen Szenarien, die abzuschätzen versuchen, wie sich Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt im Lauf der nächsten Jahrzehnte entwickeln könnten, wenn Politik, Gesellschaft und Wirtschaft sich am Leitbild der Nachhaltigkeit ausrichteten. Dabei ist zu beachten, dass Szenarien der Exploration möglicher Zukünfte dienen und mit ihnen keinerlei normative Aussage verbunden ist. Sie vermitteln lediglich eine Vorstellung davon, wohin man auf einem an der Nachhaltigkeit orientierten Weg gelangen könnte und welche Zielwerte potenziell erreichbar sind.

Verschiedene solcher Szenarien wurden für die Schweiz betrachtet (Prognos 1997, SATW 1999, Infras 2000, Factor 2001, Jochem *et al.* 2002). Als zentrale Indikatoren wurden dabei jeweils der Primär- oder Endenergieverbrauch, der Anteil an fossiler oder er-

neuerbarer Energie am Verbrauch sowie die energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen angesehen. Es zeigte sich, dass das vom Bundesrat anvisierte Ziel einer 2000 W-Gesellschaft mit einem Pro-Kopf-Ausstoss von 1 t CO<sub>2</sub> bis 2050 technisch im Bereich des Möglichen liegt. Die Autoren der Studien machen aber klar, dass dieses Ziel enorme und bereits heute einsetzende Anstrengungen erfordern würde. Politik, Wirtschaft und Gesellschaft müssten das Ziel als erstrebenswert anerkennen und gemeinsam auf dieses zusteuern.

Es zeigte sich aber auch, dass der Zielwert von 2000 W pro Kopf weder eine physikalische Grenze noch eine der Nachhaltigkeit darstellt. Die restriktivere Grenze wird hier durch den Zielwert für den CO<sub>2</sub>-Ausstoss gesetzt. Nach Berechnungen des *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre zumindest auf einem Niveau von 450 ppm zu begrenzen. Fordert man eine globale Verteilungsgerechtigkeit der Emissionen leitet sich daraus ab, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Schweiz 2050 grob geschätzt 2 t/Kopf nicht überschreiten sollten. Das vom Bundesrat gesetzte Ziel von 1 t/Kopf wäre dagegen erst für 2100 anzustreben.

#### 4.2.5 Offene Fragen und Probleme

Verschiedene Fragen und Probleme sind offen, was Indikatoren und Zielwerte für Nachhaltigkeit im Energiebereich betrifft:

- Harmonisierung: Es besteht ein nationaler wie internationaler Bedarf zur Harmonisierung der verschiedenen Indikatorensysteme. Erst so werden auch die Politiken, die sich auf diese Systeme stützen, vergleichbar.
- Koordination und sektorielle Integration: Der anschliessend präsentierte Vorschlag für Indikatoren und Zielwerte sollte im Hinblick auf seine Integrierbarkeit in die weitere Entwicklung von Indikatorensystemen zum Monitoring der Nachhaltigkeit in der Schweiz überprüft werden (neben Energie z.B. Verkehr, Nahrungsmittelproduktion, Gesundheitswesen).
- Ausgewogenheit der drei Dimensionen: In bezug auf Qualität wie Quantität dominieren in Indikatorensystemen die Umweltindikatoren. Zusätzliche Anstrengungen zur Etablierung von Indikatoren, die der sozialen und ökonomischen Dimension von Nachhaltigkeit Rechnung tragen, sind wünschenswert.
- **Grundlagen für Zielwerte:** Es fehlt mit wenigen Ausnahmen (z.B. Klima) eine angemessene wissenschaftliche Diskussion von Zielwerten. Der Ansatz der *Transdisziplinärität* könnte helfen, diese Diskussion mit normativem Charakter zu führen.
- Aggregation der Indikatoren: Eine offene Frage ist, wie Indikatoren untereinander gewichtet werden können. Es handelt sich dabei um eine Bewertungsfrage, die nicht von der Forschung im Alleingang beantwortet werden kann.

## 4.3 Abgrenzung und Vorgehen

Primäres Ziel dieses Kapitels ist, eine Auswahl von Indikatoren zu treffen, mit der sich das Schweizer Energiesystem langfristig in bezug auf seine Nachhaltigkeit charakterisieren lässt. Wie die Diskussion im Beilagenband (Kapitel xx) zeigt, gibt es dazu verschiedene Ansätze. Zwei Fragen zur Abgrenzung stellen sich, bevor mit der eigentlichen Auswahl der Indikatoren begonnen werden kann.

#### 4.3.1 Systemgrenzen

Zum ersten ist zu diskutieren, ob die eingeengte Betrachtung nur des Schweizer Energiesystems sinnvoll und machbar ist. Klarerweise ist das Problem eines Mangels an Nachhaltigkeit des Energiesystems nicht auf die Schweiz begrenzt. Im Gegenteil ist der Beitrag der Schweiz sowohl zum Problem wie auch zu dessen möglicher Lösung sogar eher gering. Der Umbau des Energiesystems in Richtung Nachhaltigkeit ist eine globale Notwendigkeit, die aber auf je nationalem Massstab umzusetzen ist. Eine Bewertung des Vorankommens auf diesem Weg ist daher ebenfalls national vorzunehmen. In diesem Sinne des "Jeder leistet seinen Beitrag" hat die Schweizer Energiepolitik erheblichen Gestaltungsspielraum und auch Gestaltungsbedarf.

Die engen, nur die Schweiz umreissenden Systemgrenzen sind dann aber auch in einer weiteren Hinsicht erläuterungsbedürftig. Der schweizerische Energieverbrauch ist mit vielfältigen "grauen" Wirkungen verbunden, die bei einem importierten Energieträger im Ausland anfallen. Da der Importanteil der schweizerischen Energieversorgung derzeit rund 80% beträgt, sind diese Wirkungen für eine globale Bilanz der Nachhaltigkeit des Schweizer Energiesystems durchaus von Bedeutung.<sup>17</sup> Aus Gründen der Praktikabilität und Datenverfügbarkeit ist aber eine **Beschränkung auf das Territorialprinzip** angezeigt. Als einzige Abweichung von dieser Regel schlagen wir vor, die mit den grenzüberschreitenden Flugreisen der Schweizer Bevölkerung verbundenen Energieverbräuche und Emissionen konsequent der Schweiz zuzurechnen (Inländerprinzip).<sup>18</sup>

Ein zweiter Diskussionspunkt ist, wie sinnvoll und machbar eine sektoral abgegrenzte Beurteilung der Nachhaltigkeit des Energiesystems ist. In der Tat ist ja das Energiesystem eingebettet in das Wirtschafts- und Gesellschaftssystem. Energie ist Mittel zur Befriedigung zahlreicher gesellschaftlicher Bedürfnisse und zugleich Mittel zur Erbringung wirtschaftlicher Wertschöpfung. Die Form des Energiesystems ist deshalb wesentlich eine Funktion der gesellschaftlichen, ökonomischen wie auch der technologischen Dynamik. Ihrerseits zeitigt aber die Form des Energiesystems vielfältige gesellschaftliche, ökonomischen

Je nach Fragestellung kann eine Ausweitung der Systemgrenzen auch in anderen Fällen in Betracht gezogen werden.

\_

Hinzu kommen die "grauen" Wirkungen der Energie, die in (Nicht-Energie-)Importprodukten steckt.

sche und insbesondere ökologische Wirkungen, welche wiederum die das Energiesystem bestimmende Dynamik beeinflussen. Dieses Geprägtsein des Energiesystems durch gesellschaftliche, ökonomische, technologische und schliesslich auch politische Faktoren bringt es mit sich, dass eine umfassende Charakterisierung des Energiesystems auch Indikatoren einbeziehen muss, die diese Faktoren abbilden.

Trotz dieser komplexen Wechselwirkungen erscheint eine sektoral abgegrenzte Betrachtungsweise durchaus sinnvoll und machbar: Das Gesamtprojekt soll den Handlungsbedarf und -spielraum der Energiepolitik in bezug auf die nachhaltige Gestaltung des Energiesystems aufzeigen. Als "Energiesystem" definieren wir dabei das technische System zur Bereitstellung und Nutzung von Endenergie mit dem Ziel der Erbringung von Energiedienstleistungen wie Beheizung des Wohnraums, Güter- und Personentransport, etc. Zwangsläufig muss das Gesamtprojekt dabei auch die Schnittstellen zu anderen Politikbereichen wie z.B. Umwelt- und Raumordnungspolitik aufzeigen.

#### 4.3.2 Unterteilung in Leit- und Evaluationsindikatoren

Für die Zwecke des Gesamtprojektes treffen wir an dieser Stelle eine Unterscheidung, die sich – gerade wegen der beschriebenen Verknüpfungen – für die abgegrenzte Betrachtung des Energiesystems als hilfreich erweisen wird: Um eine handhabbare Vision für das Jahr 2050 formulieren zu können, beschränken wir uns auf eine Beurteilung der Nachhaltigkeit des Schweizer Energiesystems auf einer aggregierten Ebene. Die dazu erforderlichen Indikatoren bezeichnen wir als **Leitindikatoren**. Damit ist gemeint, dass das Energiesystem möglichst unabhängig von seiner je aktuellen technischen Ausformung anhand übergeordneter Nachhaltigkeitskriterien charakterisiert werden soll. Man könnte sagen, auf diese Weise werde der Globalzustand der Nachhaltigkeit des Energiesystems erfasst.

Der Beschreibung auf dieser aggregierten Ebene nachgeordnet ist die Beurteilung der energiepolitischen Strategien und Massnahmen, welche die Gestalt des Energiesystems beeinflussen. Mit der konkreten technischen Ausformung des Energiesystems sind je unterschiedliche ökologische, wirtschaftliche und soziale Auswirkungen verbunden. Die diversen Indikatoren, mit denen diese erfasst werden können, bezeichnen wir als **Evaluationsindikatoren** (s. Abschnitt 4.6). Sie dienen der vergleichenden Beurteilung von Handlungsalternativen, die auf ein nachhaltiges Energiesystem führen.

Die nachfolgende Diskussion konzentriert sich zunächst auf die Leitindikatoren. Deren Auswahl kann nicht allein nach technischen oder formalen Kriterien erfolgen, sondern hat die oben beschriebene Einbettung des Energiesystems in Gesellschaft, Ökonomie und Umwelt einzubeziehen. Zudem sind die verschiedenen normativen Positionen in der Gesellschaft zu berücksichtigen, die in unterschiedlichen Haltungen zu Fragen der Energieproduktion und Energienutzung zum Ausdruck kommen.

#### 4.3.3 Anforderungen an die Indikatoren

Als Ausgangspunkt des Auswahlprozesses wählen wir die von Brodmann *et al.* erarbeitete Liste von Nachhaltigkeitskriterien und –indikatoren. Aus dieser gilt es, die Leitindikatoren herauszufiltern. Aus Gründen der Handhabbarkeit sollte deren Zahl ein Dutzend nicht überschreiten. Dazu grenzen wir die möglichen Leitindikatoren ein durch Prüfung der folgenden Voraussetzungen:<sup>19</sup>

- Eindeutigkeit: Die erwünschte Entwicklungsrichtung eines Leitindikators muss langfristig eindeutig sein.
- Relevanz: Das Indikatorset soll vor allem jene übergeordneten, das Energiesystem als Ganzes charakterisierenden Kriterien abbilden, welche aus Sicht der Nachhaltigkeit von langfristiger Relevanz sind.
- Ableitbarkeit: Dazu müssen diese Kriterien und Indikatoren kongruent sein zu zuvor festgelegten Postulaten zur Nachhaltigkeit.
- Prognosefähigkeit: Die Entwicklung des Indikators muss langfristig prognostizierbar sein – zumindest ceteris paribus, d.h. unter Konstanthaltung übriger Einflussgrössen.
- Verfügbarkeit und Handhabbarkeit: Die Datengrundlagen zur Bestimmung des Indikators müssen für die Forschenden des Gesamtprojektes zugänglich bzw. wenig aufwendig zu erheben sein. Ausserdem soll der Indikator geeignet sein für die praktische Handhabung in der Forschungsarbeit.

Diese Anforderungen sind geprägt von der Tatsache, dass es sich beim Gesamtprojekt um eine Forschungsarbeit mit Schwergewicht auf ex ante-Evaluationen handelt. Sie bedingen gewisse Abstriche in anderer Hinsicht, z.B. bezüglich der breiten Kommunizierbarkeit oder der Eignung für ex post-Evaluationen. Entsprechend soll die im folgenden getroffene Auswahl von Indikatoren im Verlauf des Gesamtprojektes hinterfragt und nötigenfalls modifiziert werden.

Analoge Voraussetzungen werden in Fischedick et al. (2002, S. 5) genannt: Dort heissen sie Kriterium der Zielfähigkeit, der Problemadäquanz und der Regeladäquanz. Aufgeführt wird als Kriterium auch die Datenverfügbarkeit.

## 4.4 Eingrenzung anhand des Kriteriums "Eindeutigkeit"

Von den vier in Brodmann *et al.* (2001) eingeführten Kategorien von Indikatoren erfüllen lediglich Wirkungsindikatoren die Voraussetzung der Eindeutigkeit. Sie sind nämlich die einzigen, für die eindeutig und unstrittig die aus Sicht der Nachhaltigkeit erwünschte Entwicklungsrichtung angegeben werden kann. Wirkungsindikatoren sind definitionsgemäss verknüpft mit Schutzgütern in Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Sie beschreiben das Ausmass, in dem ein solches Schutzgut gewährleistet bzw. verletzt ist, z.B. ein intaktes Klima, eine wettbewerbsfähige Energieversorgung oder die Entscheidungsfreiheit der Konsumenten. Dass Wirkungsindikatoren die Voraussetzung der Eindeutigkeit erfüllen, heisst allerdings nicht, zwischen Wirkungsindikatoren bestünden keine Zielkonflikte. Der gleichzeitige Erhalt verschiedener Schutzgüter kann durchaus konfligieren, in welchem Fall einer Abwägung ihres Stellenwerts gegeneinander nicht ausgewichen werden kann. Am virulentesten ist gewiss der oft zitierte Gegensatz zwischen Ökonomie und Ökologie. Der Schutz natürlicher Ressourcen ist kostenträchtig, seine Umsetzung steht dem Wunsch nach einer preiswerten Energieversorgung entgegen.

Bei Aktivitäts- und Effizienzindikatoren lässt sich dagegen keine eindeutige erwünschte Entwicklungsrichtung angeben. Dies wird einsichtig, wenn man sich deren Verknüpfung mit Wirkungsindikatoren vor Augen hält: Die Mehrzahl der Wirkungen korreliert mit dem Ausmass des Energieverbrauchs. Der Energieverbrauch wiederum ist das Resultat energierelevanter Aktivitäten, die mit einer bestimmten Effizienz betrieben werden. Dabei ist das Aktivitätsniveau gegeben durch sozioökonomische Grössen wie Energiebezugsflächen, Fahrleistungen oder Gerätebestände – entweder in absoluten Zahlen oder bezogen auf die Wohnbevölkerung oder die Wirtschaftsleistung. Die Effizienz kann sich auf den Energieeinsatz beziehen, wie beim spezifischem Treibstoffverbrauch (Energieeffizienz), oder auf Emissionen (Ökoeffizienz). In vielen Fällen ergibt sich daher ein Wirkungsindikator aus dem Produkt eines Aktivitäts- und eines Effizienzindikators, z.B. der Endenergieverbrauch des Strassenpersonenverkehrs als das Produkt aus der Fahrleistung von PWs und deren spezifischem Verbrauch. Damit eine aus Sicht der Nachhaltigkeit erwünschte Verminderung der Wirkung eintritt, ist also lediglich zu fordern, dass einer der beiden Faktoren stärker zurückgeht, als der andere steigt. Keiner der beiden Faktoren ist aber in dem Sinn ausgezeichnet, dass seine Zu- oder Abnahme a priori einen Zuwachs an Nachhaltigkeit brächte. Entscheidend ist einzig die Kombination aus beiden Grössen.

Dennoch wird sich nicht selten die Zunahme eines Aktivitätsindikators positiv auf eines der Schutzgüter auswirken, meist im ökonomischen oder gesellschaftlichen Bereich. Eine höhere Fahrleistung der Personenwagen kann z.B. aus Sicht der gesellschaftlichen Nutzenmaximierung erwünscht sein. Die energetische Effizienz ist deshalb ein entscheidendes Mittel zur nachhaltigen Gestaltung des Energiebereichs, indem sie dazu beitragen kann, ökologische, ökonomische und soziale Ziele miteinander zu vereinbaren. Sie selbst ist jedoch kein Schutzgut im Sinne der Nachhaltigkeit. Wenn die ökologischen, ökonomische

schen und sozialen Nachhaltigkeitsziele eingehalten werden, besteht aus Sicht der Nachhaltigkeit keine besondere Notwendigkeit zur Steigerung der Energieeffizienz.

Ähnliches gilt auch für Politik-Indikatoren: So ist z.B. die Subventionierung einzelner Energieträger in ihren Umweltwirkungen bedeutsam (im Positiven wie im Negativen), hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Effizienz ist sie aber kritisch zu hinterfragen (Mittelallokation, Mitnahmeeffekte etc.). Die Höhe von Subventionen ist sicherlich kein Mass für Nachhaltigkeit. Subventionen sind lediglich ein energiepolitisches Mittel unter vielen, das einen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten kann. Dasselbe gilt für andere Massnahmen, die jede für sich Teil einer Nachhaltigkeitspolitik sein können, deren Beitrag aber immer im Einzelfall anhand von Wirkungsindikatoren zu prüfen ist.

#### 4.5 Auswahl der Leitindikatoren

Zur weiteren Eingrenzung prüfen wir nun das Gegebensein der weiteren Voraussetzungen und fragen, welche der 14 in Brodmann *et al.* (2001) aufgeführten Kriterien das Energiesystem als Ganzes charakterisieren und zugleich aus Sicht der Nachhaltigkeit von langfristiger Relevanz sind. Zu diesem Zweck stützen wir uns zum einen auf die im Rahmen des Monet-Projekts festgelegten Postulate zur Nachhaltigkeit ab (BFS *et al.* 2002), zum anderen orientieren wir uns an den von der deutschen Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und Liberalisierung" angestellten Überlegungen (Enquete 2002).

Die in Tabelle yy aufgeführten Kriterien werden dazu im folgenden systematisch abgearbeitet. In einzelnen Fällen wird dabei auch auf das erste Metakriterium "Eindeutigkeit" nochmals zurückzukommen sein. Obwohl die Diskussion über Zielwerte erst im nächsten Abschnitt geführt wird, kommen unvermeidlicherweise für manche Indikatoren bereits an dieser Stelle Überlegungen zu absoluten Grenzen für Nachhaltigkeit ins Spiel.

#### 4.5.1 Ökologische Kriterien und Indikatoren

#### Ressourcen

Das Kriterium Ressourcen bezeichnet den Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen sowie die Beanspruchung erneuerbarer Ressourcen durch das Schweizer Energiesystem. Das Ausmass des Ressourcenverbrauchs ist aus Sicht der Nachhaltigkeit in dreifacher Weise zu begrenzen (BFS et al. 2002):

- Der Verbrauch erneuerbarer Ressourcen ist unter dem Regenerationsniveau zu halten (Postulat 16a).
- 2. Der Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen ist unter dem Entwicklungspotenzial von erneuerbaren Ressourcen zu halten (Postulat 16b).
- 3. Die Deckung der Grundbedürfnisse der Bevölkerung ist langfristig sicherzustellen (Postulat 2a).

Der Verbrauch erneuerbarer Ressourcen (Postulat 1) ist begrenzt durch das natürliche Energieangebot. Die Beachtung der Reproduktionsraten betrifft vor allem Energie aus Biomasse, deren Produktion zudem in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion steht. Global gesehen reicht das Angebot an Sonnenenergie bis auf weiteres für eine vollständige Deckung des Energiebedarfs.<sup>20</sup> In der Schweiz ist eine Übernutzung der Biomasse-

Sollte jedoch der globale Energieverbrauch wie in den 90er Jahren weiter um 1,1% pro Jahr wachsen, dann müsste in rund 840 Jahren die gesamte auf die Erde auftreffende Sonnenenergie vollständig vom Menschen absorbiert werden.

Ressourcen zur Energiegewinnung vorderhand nicht absehbar, so dass wir auf einen spezifisch darauf ausgerichteten Indikator verzichten.

Postulat 2 zur Entwicklung (technischer) erneuerbarer Energiepotenziale parallel zum Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen ist in der Formulierung unscharf und zudem schwierig zu operationalisieren. Es deutet jedoch unverkennbar in Richtung eines erhöhten Anteils der erneuerbaren Energieträger. Das dritte Postulat schliesslich steht für eine Begrenzung nach unten: Es muss dauerhaft ein Mindestmass an Energie zur Verfügung stehen; dies ist nur mit erneuerbarer Energie gewährleistet. Zusammenfassend ist aus Sicht der Nachhaltigkeit die langfristige Erhöhung des erneuerbaren Energieanteils am Ressourcenverbrauch ausschlaggebend. Wir schlagen infolgedessen als Indikator vor:

## Anteil erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch (EEV) [%]; gewünschte Entwicklung: û

Im Prinzip wäre der Primärenergieverbrauch (PEV) hier die angemessenere Referenzgrösse, da er ja den eigentlichen Ressourcenverbrauch abbildet. Insbesondere kann mit dem EEV der oft schlechte Umwandlungswirkungsgrad der Stromerzeugung nicht berücksichtigt werden. Die Erfassung des PEV ist jedoch, obwohl international etabliert, nicht ganz einfach, da bei importierten Endenergieträgern Annahmen über die für sie eingesetzte Primärenergie getroffen werden müssen. Mit Blick auf die praktische Handhabung des Indikators durch die Forschenden ziehen wir den EEV als Bezugsgrösse vor, zumal er keinen wesentlichen, die Nachhaltigkeit berührenden Informationsverlust mit sich bringt. Der PEV kann fallweise als Evaluationsindikator zugezogen werden, z.B. bei der Betrachtung verschiedener Stromerzeugungstechnologien.

Die Notwendigkeit einer Steigerung des erneuerbaren Anteils am Energieverbrauch ist praktisch unumstritten. Für die absolute Höhe des nicht erneuerbaren Ressourcenverbrauchs gilt dies nicht im gleichen Masse. Brodmann et al. (2001) argumentieren, dass der Verbrauch fossiler Ressourcen mit Blick auf die Entscheidungsfreiheit zukünftiger Generationen minimiert werden muss. Als näherungsweisen Indikator schlagen sie den Verbrauch nicht-erneuerbarer Primärenergieträger vor. Andere vertreten die Ansicht, dass aus Nachhaltigkeitssicht nicht das absolute Ausmass des Ressourcenverbrauchs entscheidend sei, sondern die Produktivität des Ressourceneinsatzes. Ziel müsse sein, mit einer gegebenen Ressourcenmenge einen qualitativ möglichst hohen Wohlstand zu erreichen.

Die Enquete-Kommission (2002, S. 128f.) formuliert diese Vorgabe so: "Mehr Energiedienstleistungen mit weniger Energieeinsatz und Umweltbelastung, mehr erneuerbare statt erschöpfbarer und riskanter Energien. (...) Nachhaltige Entwicklung heisst, mit weniger Ressourcenverbrauch und unter Eingrenzung von Risiken mehr Wohlstand zu produzieren." Über die Monet-Postulate hinaus wird hiermit Bezug genommen auf die enge Verknüpfung des gesellschaftlichen Wohlstands mit dem Ausmass des Ressourcen-

verbrauchs. Das Bindeglied zwischen beiden ist die Energieproduktivität bzw. Energieintensität, die ganz wesentlich eine Funktion sind der technischen Effizienz des Energiesystems. Dies wird uns weiter unten dazu bewegen, die Energieintensität als Kriterium für wirtschaftliche Effizienz vorzuschlagen. Ein zusätzlicher Indikator zum absoluten Ressourcenverbrauch erübrigt sich dadurch unseres Erachtens.

#### **Klima**

Das Kriterium Klima bezeichnet den Beitrag des Energiebereichs zum anthropogenen Klimawandel. Das Schweizer Energiesystem ist mit rund 2 Promille an den globalen Treibhausgasemissionen beteiligt (gemessen an den Emissionen auf Schweizer Boden, dh. nach dem Territorialprinzip). Die Notwendigkeit einer Begrenzung dieser Emissionen leitet sich aus verschiedenen Postulaten zur Nachhaltigkeit her, deren zwei wir hier herausgreifen (BFS et al. 2002):

- Schweren oder irreversiblen Umweltschäden soll vorgebeugt werden, auch wenn noch keine absolute wissenschaftliche Sicherheit bezüglich des effektiven Risikos besteht (Postulat 18c).
- Das Zeitmass anthropogener Eingriffe in die Natur muss im ausgewogenen Verhältnis zum Zeitmass der für das Reaktions- und Regenerationsvermögen der Umwelt relevanten natürlichen Prozesse stehen (Postulat 19).

Die Langfristigkeit und die Unsicherheit des anthropogenen Klimawandels machen diesen zum wohl wichtigsten Umweltproblem des 21. Jahrhunderts. Das Ziel besteht in der vorsorglichen Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgasemissionen auf einem Niveau, welches die Anpassungsfähigkeit (human-)ökologischer Systeme nicht übersteigt. Als Indikator bietet sich somit an:

## Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen

[t/a]; gewünschte Entwicklung: ↓

Die Beschränkung auf CO<sub>2</sub> bringt einen, wenn auch nur geringen Informationsverlust, zugleich aber eine bedeutende Verbesserung der Handhabbarkeit des Indikators. In der Schweiz dominiert Kohlendioxid aus der Verbrennung fossiler Energieträger die Klimawirkung des Energiebereichs. Andere Treibhausgase, z.B. Methan aus dem Erdgastransport, Lachgas aus Verbrennungsprozessen oder Schwefelhexafluorid aus Schaltanlagen, spielen eine untergeordnete Rolle.

Statt des hier vorgeschlagenen wäre auch denkbar, einen Indikator "fossiler Energieverbrauch" heranzuziehen. Dieser wiese allerdings den Nachteil auf, die möglicherweise inskünftig zur Anwendung kommende technische Sequestrierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht zu erfassen.

#### Lufthygiene

Das Kriterium Lufthygiene umfasst die Luftschadstoffemissionen des Energiebereichs. Diese beeinträchtigen einerseits die menschliche Gesundheit, tragen aber auch zur Versauerung und Überdüngung von Gewässern und Böden bei. Die hauptsächlich relevanten Luftschadstoffe sind Schwefeldioxid, Stickoxide und Feinstäube. Deren Emissionen müssen unter die Schwelle der sog. "Critical Loads" sinken, unterhalb derer nach jeweiligem Kenntnisstand langfristige, als negativ bewertete Veränderungen von Ökosystemen sicher vermieden werden können. Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist dies nötig, da "die Belastung der Umwelt durch Emissionen zu minimieren ist" und zwar so, dass "die Verschmutzung die Absorptionsfähigkeit der Ökosysteme keinesfalls übersteigt" (BFS et al. 2002, Postulat 17a).

Stickoxide (NO<sub>x</sub>) sind die wichtigsten versauernden und eutrophierenden Emissionen des Energiebereichs in der Schweiz, deutlich vor den Schwefelemissionen. Über 90% der NO<sub>x</sub>-Emissionen stammen aus dem Energiebereich (Feuerungen, Verbrennungsmotoren). Das Niveau der NO<sub>x</sub>-Emissionen ist nach wie vor deutlich zu hoch. Das Buwal geht von einem Reduktionsbedarf von rund 65% gegenüber 1995 aus, woraus sich ein Emissionszielwert von rund 50'000 t NO<sub>x</sub> pro Jahr ergibt (SBR 1999). Die anhaltende Verschärfung von Emissionsgrenzwerten insbesondere im Strassenverkehr lassen erwarten, dass dieser Zielwert längerfristig erreicht wird, auch wenn die Emissionsentwicklung unsichere Elemente aufweist (Stichwort: möglicher Ersatz von Kernkraft durch fossilthermische Stromerzeugung). Auf einen Leitindikator "NO<sub>x</sub>-Emissionen" wird daher verzichtet, als Evaluationsindikator ist er aber von Bedeutung.

**Feinstaub (PM**<sub>10</sub>) ist der heute gebräuchliche Leitindikator für die Belastung der Atemluft. Die Feinstaubbelastung rührt von verschiedensten anthropogenen und natürlichen Quellen her. Auf den Energiebereich (Feuerungen, Verbrennungsmotoren) entfallen vermutlich höchstens ein Drittel der Emissionen. Der Strassenverkehr trägt daneben auch durch den Abrieb von Reifen und Bremsen zur Belastung bei, durch die Suspension von Strassenstaub und Streusalz sowie über seine NO<sub>x</sub>-Emissionen, welche zur Bildung von sekundären Aerosolen führen. Die für die Gesundheit besonders kritischen ultrafeinen Staubemissionen (PM<sub>1</sub>) sind allerdings überwiegend dem Energiebereich zuzuschreiben. Dieselmotoren weisen hierbei die höchsten Emissionsfaktoren auf.

PM<sub>10</sub>-Emissionen und stärker noch PM<sub>1</sub>-Emissionen sind so weit als technisch möglich zu reduzieren, weil für sie keine untere Schadschwelle bestimmt werden kann (SBR 1999). Während infolge verschärfter Emissionsgrenzwerte bis 2010 für den Strassenverkehr eine deutliche Entlastung bei den PM<sub>10</sub>-Emissionen prognostiziert wird, könnte der breite Einsatz der bereits technisch reifen Partikelfiltertechnologie eine Reduktion der PM<sub>1</sub>-Emissionen um deutlich über 90% bringen. Längerfristig ist zu erwarten, dass Immissionsgrenzwerte für feine und ultrafeine Partikel eingehalten werden können, obwohl die

Emissionsentwicklung auch hier, wie bereits bei den Stickoxiden, unsichere Elemente aufweist (Stichwort: Zunahme von Holzfeuerungen). Auch auf einen Leitindikator " $PM_{10}$ -oder  $PM_1$ -Emissionen" wird daher verzichtet, wiederum kann ein solcher aber als Evaluationsindikator von Bedeutung sein.

#### Radioaktivität

Das Kriterium Radioaktivität beschreibt die radioaktiven Emissionen einer Energieversorgungskette sowie die ihr zuzuordnende Menge radioaktiver Abfälle. Die radioaktiven Emissionen der nuklearen Versorgungskette auf Schweizer Boden sind im Normalbetrieb äusserst geringfügig und aus Sicht der Nachhaltigkeit wenig bedeutend.<sup>21</sup> Problematisch ist dagegen die Langlebigkeit radioaktiver Substanzen, die als Abfall entsorgt werden müssen, und jener, die potenziell bei einem Unfall freigesetzt werden. Letztere werden mit dem Kriterium Sicherheit berücksichtigt (s.u.).

Es verbleibt die Produktion radioaktiver Abfälle. Diese ist aus Sicht der Nachhaltigkeit bedenklich, da "die Emission nicht abbaubarer Schadstoffe in die Umwelt wenn immer möglich verhindert werden soll" (BFS et al. 2002, Postulat 17b). Die Menge radioaktiver Abfälle ist also zu minimieren und zwar umso dringlicher, je langlebiger diese sind. Wir schlagen daher den folgenden Indikator vor:

## Hochradioaktive Abfälle<sup>22</sup> [m³/a]; gewünschte Entwicklung: ↓

Die Beschränkung auf hochradioaktive Abfälle trägt dem Umstand Rechnung, dass die Gefährdung durch schwach- und mittelaktive Abfälle durch geeignete Bearbeitung auf ein Mass verringert werden kann, dass sich die notwendigen Einschlusszeiten auf eine Generation verkürzen (Stimmt das?). Die Minimierung hochaktiver Abfälle ist hingegen unabhängig von der Qualität der Entsorgungslösungen zu fordern. (Die Sicherheit der Lagerung wird wiederum mit dem Kriterium Sicherheit abgedeckt.) Zukünftige Generationen werden sich mit diesen Abfällen und den damit verbundenen Risiken gezwungenermassen befassen müssen. In diesem Sinne beschränken die Abfälle die Entscheidungsmöglichkeiten zukünftiger Generationen, worin sie dem Verbrauch nicht erneuerbarer Energieträger ähnlich sind (Enquete 2002, S. 135f.). Der Indikator stellt somit auf das Prinzip der intergenerationellen Gerechtigkeit ab und ist so gesehen eher ethischer als ökologischer Natur. Er zeigt auf, dass sowohl eine Reduktion der produzierten Volumina als auch eine

-

Der Uranabbau verursacht hingegen beachtliche Umweltbelastungen, die im zur Diskussion stehenden Indikatorensystem jedoch nicht abgebildet werden, da die Schweiz die Systemgrenze darstellt und alles Uran importiert wird. Auch mit der Wiederaufbereitung von Kernbrennstoffen können erhebliche Emissionen verbunden sein.

Als hochradioaktiv gelten Materialien mit einer Radioaktivität grösser als 3,7 \* 10<sup>14</sup> Bq/m³. Während schwach- bzw. mittelaktive Abfälle in Beton verfestigt oberflächennah deponiert werden können, müssen hochaktive Abfälle in einem Endlager entsorgt werden (Heinloth 1997, S. 243). Unter Verwendung der bei der Nagra gebräuchlichen Einteilung handelt es sich dabei um Abfälle der Endlagerkategorie C.

Reduktion der notwendigen Einschlusszeiten (durch Verlagerung von hoch- zu mittelaktiven Abfällen) zur Problementschärfung beiträgt.

#### Landschaft und Lebensräume

Dieses Kriterium bezeichnet die Flächeninanspruchnahme durch das Energiesystem. Eine solche besteht direkt bei der Energieproduktion, sei es bei der Rohstoffgewinnung (Kohle, Uranerz), sei es bei der Wasserkraft- oder Windkraftnutzung, in geringerem Umfang auch durch Übertragungsleitungen. Indirekt besteht sie in erheblichem Ausmass bei der Energienutzung im Verkehr. Insbesondere das anhaltende Wachstum des Flächenverbrauchs durch Verkehrssysteme und die damit einhergehenden Probleme der Landschaftszerschneidung sind aus Sicht der Nachhaltigkeit längerfristig relevant. Die Relevanz leitet sich ab aus dem bereits zitierten Postulat 16b (BFS et al. 2002), welches besagt, den Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen unter dem Entwicklungspotenzial erneuerbarer Ressourcen zu halten. Dieses kann in Anschlag gebracht werden, wenn man die zur Verfügung stehende Fläche an Natur- und Kulturlandschaft als nicht erneuerbare Ressource auffasst.

Wir sehen dennoch von einem Leitindikator zu diesem Kriterium ab, da sich bislang keine aussagekräftige, einfach handhabbare Messgrösse etabliert hat, mit der sich die Wirkungen der Flächeninanspruchnahme erfassen liessen. Die in Brodmann *et al.* (2001) aufgeführten Indikatoren "Konfliktpotenzial von Übertragungsleitungen" und "Belastung der Fliessgewässer durch Wasserkraftnutzung" eignen sich allenfalls als Evaluationsindikatoren.

#### Nicht ionisierende Strahlung

Das Kriterium nicht ionisierende Strahlung bezieht sich auf die bei der Stromübertragung und bei stromverbrauchenden Geräten erzeugten niederfrequenten elektromagnetischen Felder, welche sich vermutlich gesundheitsschädlich auswirken können. Genaueres ist weiterhin Gegenstand der Forschung. Die Aufnahme des Kriteriums ist Ergebnis des Vorsorgeprinzips sowie des Postulats zur Nachhaltigkeit, dass die Gesundheit des Menschen zu schützen und zu fördern sei (BFS et al. 2002, Postulat 2b).

Trotz der vorhandenen Unsicherheiten und der tendenziell sich ausweitenden Stromnutzung beurteilen wir das Problem der nicht ionisierenden Strahlung als für die Nachhaltigkeit des Energiesystems längerfristig nicht von besonderer Relevanz. Obwohl im Rahmen der einschlägigen Verordnung des Bundes ein Immissionsgrenzwert formuliert ist, besteht

Die Enquete-Kommission (2002, S. 132) fordert, die Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen und für den Rohstoffabbau sei bis 2050 weltweit netto auf null zu reduzieren. Das bedeute, dass eine zusätzliche Flächeninanspruchnahme dann nur noch akzeptiert werde, wenn entsprechende Ausgleichsmassnahmen durchgeführt würden.

derzeit auch keine Messgrösse, von der angenommen werden kann, dass sie über die nächsten Jahrzehnte stabil zur Erfassung des Problems der nicht ionisierenden Strahlung dienen kann.

#### 4.5.2 Wirtschaftliche Kriterien und Indikatoren

Neben der Umweltverträglichkeit sind es vor allem die Eigenschaften der Kostengünstigkeit, der Versorgungssicherheit (ausreichende und breitgefächerte Versorgung) sowie der Betriebs- und Nutzungssicherheit, die traditionell vom Energiesystem gefordert werden. Diese letzten Eigenschaften reichen sowohl in die wirtschaftliche wie in die gesellschaftliche Dimension von Nachhaltigkeit hinein. Entsprechende Kriterien sind daher nicht völlig trennscharf den beiden Bereichen zuzuordnen. So weist beispielsweise die Kostengünstigkeit einen starken Bezug zur sozialen Verträglichkeit auf; tiefe Preise werden aus sozialer ebenso wie aus ökonomischer Sicht gefordert. Die Enquete-Kommission (2002, S. 134) schreibt dazu: "Alle Menschen müssen freien und sicheren Zugang zu den Dienstleistungen im Energiebereich als Beitrag zur Daseinsvorsorge erhalten. Dies bedingt den bezahlbaren und sicheren Anschluss an effiziente Strom-, Gas- und Wärmeversorgungssysteme nach dem Stand der Technik mit dem Ziel, entsprechende Dienstleistungen zu gesellschaftlich minimalen Kosten bereitzustellen." Die Verschränkung ökonomischer und sozialer Ziele ist hier offensichtlich.

#### Versorgungsqualität

Das Kriterium Versorgungsqualität beschreibt die Forderung nach einer ausreichenden und zuverlässigen Energieversorgung. Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist dieses Kriterium von Bedeutung, da "die Deckung der Grundbedürfnisse der Bevölkerung langfristig sicherzustellen ist" (BFS et al. 2002, Postulat 2a). Das Ausreichen der Versorgung bezieht sich vor allem auf die *langfristige* Verfügbarkeit der Energieressourcen. Dieser Aspekt wird faktisch abgedeckt mit der Forderung, den Anteil erneuerbarer Energien am EEV zu erhöhen. Die Zuverlässigkeit der Energieversorgung bezieht sich dagegen eher auf *kurzbis mittelfristige* Schwankungen in der Verfügbarkeit. Diese werden im folgenden näher erörtert.

Aus wirtschaftlicher Sicht kommt der Zuverlässigkeit der Energieversorgung erhebliche Bedeutung zu, weil Engpässe und die damit verbundenen Preisschwankungen schwerwiegende wirtschaftliche Schäden nach sich ziehen können. Entscheidend für die Zuverlässigkeit ist die Diversifikation der Versorgung, sowohl in bezug auf die Art der Energieträger wie bezüglich deren geographischer Herkunft. Besonders kritisch ist dabei die Herkunft für Energieträger, die sich schlecht speichern lassen (z.B. Erdgas) und deshalb zur Pflichtlagerhaltung ungeeignet sind:

- Als Beispiel für die Bedeutung der Diversifikation nach Energieträgern mag eine Stromversorgung dienen, welche überwiegend auf Wasserkraft aufbaut. Sie ist anfällig gegen Änderungen im Niederschlagsregime. Ähnliches gilt für die Wind- und Sonnenenergie. Die Abhängigkeit von den fossilen Energieträgern birgt ebenfalls Risiken, wie die Ölpreiskrisen der 70er Jahre hinlänglich gezeigt haben. In besonderem Masse gilt das für den Strassenverkehrssektor, der praktisch gänzlich von Erdölprodukten abhängig ist.
- Auch ein Mangel an geographischer Diversifikation birgt Risiken, wie das Beispiel der zunehmenden Konzentration der verbleibenden Erdölreserven auf den Mittleren Osten veranschaulicht. Als Mangel kann in diesem Zusammenhang auch der kleine Anteil einheimischer Energieproduktion angesehen werden, der eine direkte Folge des grossen Anteils nicht erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch ist.<sup>24</sup>

Der Einsatz erneuerbarer Energieträger erweist sich damit einmal mehr als Indikator für Nachhaltigkeit, diesmal unter dem Aspekt der Zuverlässigkeit durch Diversifikation. Der Importanteil kann entweder gesteigert werden durch Erhöhung der Inlandsproduktion oder durch rationellere Nutzung nicht erneuerbarer Energien. Letzteres wird abgedeckt über den weiter unten definierten Indikator zum Kriterium Effizienz. Ersteres bedingt eine verstärkte Nutzung der einheimischen erneuerbaren Energien, was indirekt bereits erfasst wird über den Indikator "Anteil erneuerbarer Energie am EEV". Primär muss aus Sicht der Nachhaltigkeit der Einsatz erneuerbarer Energie steigen, deren geographische Herkunft sollte zudem eine angemessene Diversifikation aufweisen.

Die Energiepolitik misst der geographischen Herkunft der Versorgung traditionell eine grosse Rolle zu, nämlich in Form von Vorgaben zum Selbstversorgungsgrad. Beispielsweise wurden die BFE-Perspektiven zu den Auswirkungen der Atominitiativen mit der Vorgabe eines Selbstversorgungsgrades von 50% erstellt.<sup>25</sup> Die Angemessenheit solcher Vorgaben ist im Zeitalter liberalisierter Energiemärkte neu zu prüfen.

Entscheidend für die Zuverlässigkeit der Versorgung ist jedenfalls, dass einzelne Sektoren oder Sekundärenergieträger, allen voran Strom, inskünftig allenfalls auch Wasserstoff, nicht zu stark von der Verfügbarkeit eines Rohstoffs abhängig sind, und dass diejenigen Energieträger, deren Verfügbarkeit zentral ist, aus geographisch diversifizierten Quellen stammen. So strebt die Enquete-Kommission (2002, S. 138) "bezogen auf Deutschland einen Mindest-Diversifizierungsgrad der Energieimporte für Erdöl und Erdgas sowie einen Mindest-Differenzierungsgrad der Primärenergiebasis für Kraftstoffe für den Strassenverkehr an".

Die Gesamtenergiestatistik des BFE führt den Anteil des Endenergieverbrauchs auf, der aus ausländischen Quellen gedeckt wird, berücksichtigt dabei aber nicht den Stromimport und -export. Für 2001 werden 79,8% ausgewiesen (BFE 2002, S. 4).

<sup>&</sup>lt;sup>25</sup> Vgl. Prognos 2001 und Ecoplan 2001 p.61.

Das Problem besteht in der Operationalisierung dieser Bestrebung in Form eines Indikators, der aussagekräftig, richtungssicher und prognosefähig ist. Gegenwärtig ist kein solcher Indikator vorhanden. Aus diesem Grund verzichten wir auf die Bildung eines Leitindikators zu diesem Kriterium und verweisen als impliziten Ersatz auf die beiden oben erwähnten Indikatoren zu den Kriterien Ressourcen und Effizienz. Im Projekt kann die Diversifikation fallweise über massgeschneiderte Evaluationsindikatoren berücksichtigt werden.

#### Preise und Kosten

Dieses Kriterium bezeichnet das Interesse von Wirtschaft und Konsumenten an einer möglichst kostengünstigen Energieversorgung. Dabei sind zwei Aspekte zu unterscheiden: Zum einen steigt die volkswirtschaftliche Wertschöpfung, wenn die mit der Herstellung und Verwendung von Gütern und Dienstleistung verbundenen Energiekosten sinken. Beispielsweise können Haushalte bei konstantem Budget mehr Auto fahren, wenn der Benzinpreis sinkt. Zum anderen sind die Energiekosten ein zentraler Faktor für die internationale Wettbewerbsfähigkeit gewisser Branchen. Kurz gesagt sind die Energiekosten bzw. Energiepreise aus Sicht der Nachhaltigkeit ein Thema, weil sie Einfluss darauf haben, ob "wirtschaftliches Handeln individuelle und gesellschaftliche Bedürfnisse effektiv und effizient zu befriedigen vermag" (BFS et al. 2002, Postulat 8).

Die politische Diskussion über Energiekosten ist geprägt von den Preisen der Endenergieträger. Entscheidend sind aber letztlich die Kosten pro Energiedienstleistung, beispielsweise pro Quadratmeter beheizte Wohnfläche oder pro hergestellte Tonne Papier. Für diese Energiedienstleistungskosten ist der Preis der Endenergie nur ein Faktor. Ebenso wichtig sind die Kosten der für die Dienstleistungsbereitstellung nötigen Infrastruktur. Beispielsweise erfordert eine verbesserte Wärmedämmung von Gebäuden Zusatzinvestitionen, bringt aber auch Kosteneinsparungen beim Energieträger sowie allfällige Zusatznutzen wie gesteigerten Komfort.

Für das Gesamtprojekt wäre somit ein Indikator zu den Kosten von Energiedienstleistungen ideal. Ähnlich denkt die Enquete-Kommission (2002, S. 135): "Die Aufwendungen der privaten Haushalte für ihre Energiekosten, bezogen auf den Anteil an ihrem Gesamtbudget, sollten bei unverändertem Niveau von Energiedienstleistungen nicht steigen. (...) Die Enquete-Kommission ist der Ansicht, dass die um die externen Kosten ergänzte Energierechnung, normiert auf Wohnfläche und Mobilität, nicht stärker steigen sollte als die Haushaltseinkommen."

Leider ist das Konzept der Energiedienstleistungen in der Praxis aber schwierig zu operationalisieren.

• Energie wird für so vielfältige Zwecke eingesetzt, dass jede Energiedienstleistung notwendigerweise nur einen kleinen Teil des Verbrauchsspektrums abdecken kann.

Die Aussagekraft eines einzelnen Indikators ist damit beschränkt; eine Aggregation zu Indices zu aufwendig.

- Die Kosten pro Energiedienstleistung k\u00f6nnen in der Regel nicht exakt abgegrenzt werden. Als Beispiel: Welcher Anteil der Baukosten eines Hauses soll der Energiedienstleistung "warme Wohnfl\u00e4che" zugeschrieben werden? Kosten pro Energiedienstleistung sind daher vor allem f\u00fcr den Vergleich von Massnahmen mit einer Referenz geeignet, z.B. Minergie-Bau gegen\u00fcber konventioneller Bauweise.
- Häufig erschweren die bereits erwähnten Zusatznutzen die exakte Definition der Dienstleistung: Beispielsweise vernachlässigt der Indikator "Energiekosten pro Personenkilometer" die Tatsache, dass eine Fahrt von A nach B mit einem "erweiterten Gebrauchsnutzen" wie Fahrspass etc. verbunden sein kann. Dies kann sich verzerrend auf den Vergleich von Massnahmen auswirken.

Aus diesen Gründen sind die Preise bzw. Kosten von Energiedienstleistungen unseres Erachtens als Leitindikatoren für das Gesamtprojekt nicht geeignet. Sie können und sollen aber als Evaluationsindikatoren zur Beurteilung von Strategien und Massnahmen eingesetzt werden.

Als Alternativkandidaten sind Indikatoren zu den Preisen der Energieträger und zu den absoluten Ausgaben der Haushalte und Unternehmen für Endenergie in Betracht zu ziehen. Letztere bergen den Nachteil, dass sie geprägt sind von den Präferenzen der Haushalte und dem wirtschaftlichen Strukturwandel. Beispielsweise könnte ein Indikator "mittlere Ausgaben der Haushalte für Endenergie in Fr./a" in einem Referenzszenario allein dadurch ansteigen, dass die Wohnflächen und Fahrleistungen pro Kopf weiter zunehmen. Ein quantitativer Zielwert für diesen Indikator hätte deshalb den Charakter einer Bevormundung der Konsumenten.

Auch ein Indikator "Preise der Energieträger" weist erhebliche Nachteile auf. Insbesondere beschreibt er nur "die halbe Wahrheit", weil er die Effizienz des Endenergieeinsatzes und die Kosten der für die Dienstleistungserbringung benötigten Infrastruktur vernachlässigt. Positiv zu bewerten ist hingegen, dass Daten zur vergangenen Preisentwicklung einfach verfügbar sind. Natürlich ist die reale Preisentwicklung stark von Entwicklungen ausserhalb der Schweiz abhängig. Zukünftige Preisentwicklungen können aber unter ceteris paribus-Annahmen prognostiziert werden und sind in diesem Sinne transparent und einfach zu interpretieren.

Als beste unter den nachteiligen Lösungen schlagen wir deshalb den folgenden Leitindikator vor, im Wissen, dass die Beurteilung konkreter Strategien und Massnahmen im Rahmen des Gesamtprojektes ebenso auf Kosten- wie auf Preisgrössen aufbauen muss.

Mittlere Konsumentenpreise für Leitenergieträger (Heizöl, Benzin, Strom)
 [Fr./kWh]; gewünschte Entwicklung: ↓

Die gewünschte Entwicklung hin zu tieferen Energiepreisen ist vor dem Interesse der Unternehmen und Haushalte an möglich kostengünstigen Energiedienstleistungen zu sehen. Sie widerspiegelt somit die ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit. Dem steht in der Praxis das ökologisch motivierte Verlangen nach höheren Energiepreisen zu Lenkungszwecken und zur Internalisierung externer Kosten gegenüber. Auf diesen und ähnliche Zielkonflikte gehen wir weiter unten näher ein.

Es verbleibt die Frage der internationalen Wettbewerbsfähigkeit exponierter Branchen. Hier ist nicht das absolute Niveau der Energiekosten entscheidend, sondern die relativen Energiekosten der Unternehmen im Vergleich zu ihren ausländischen Konkurrenten. Mit anderen Worten: Entscheidend ist die Absenz von Wettbewerbsverzerrungen gegenüber dem Ausland. Entsprechend wird ein Indikator benötigt, der die Wettbewerbsposition Schweizer Unternehmen zu erfassen imstande ist. Ein Beispiel für einen solchen Indikator ist der "revealed comparative advantage (RCA)". Er gibt Auskunft darüber, wie stark sich inländische Unternehmen am Weltmarkt im Vergleich mit ausländischen Unternehmen behaupten (Iten *et al.* 2001). Dieser Indikator ist jedoch komplex in der Bestimmung und eignet sich unseres Erachtens nicht für Prognosen.

Insgesamt sind wir der Ansicht, dass der Einfluss der Energiepolitik auf die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wirtschaft nicht mit einem einzelnen Indikator angemessen abgebildet werden kann. Der vorgeschlagene Indikator "Energiepreise" kann erste Hinweise in dieser Hinsicht geben. Die angemessene Beurteilung energiepolitischer Strategien und Massnahmen wird jedoch in jedem Fall vertiefte Abklärungen zur Wettbewerbsfähigkeit exponierter Branchen erfordern.

#### **Effizienz**

Dieses Kriterium beschreibt die volks- und betriebswirtschaftliche Effizienz der Energieversorgung (und ist nicht zu verwechseln mit der technisch-energetischen Effizienz). Gemeint ist damit das Mass, in dem in den Energiemärkten verzerrungsfreie Rahmenbedingungen vorliegen. Diese bedingen eine wettbewerbsneutrale Regulierung der Energiemärkte, die Absenz wettbewerbsverzerrender Steuern und Subventionen sowie die Internalisierung externer Kosten. Man kann sich auf den Standpunkt stellen, beim vorliegenden Kriterium handle es sich nicht um ein Wirkungs-, sondern vielmehr um ein Politik-Kriterium, da ja das Schaffen verzerrungsfreier Rahmenbedingungen eine Aufgabe der Politik sei. Umgekehrt lässt sich argumentieren, die Abweichung vom Ziel der verzerrungsfreien Rahmenbedingungen sei ein Mass für wirtschaftliche Ineffizienz mit indirekten negativen Wirkungen auf Gesellschaft und Umwelt.

Interessant ist insbesondere die Forderung nach der Internalisierung der externen Kosten, da sie derjenigen nach tiefen Energiekosten entgegensteht.<sup>26</sup> Wirtschaftlich effiziente Investitionsentscheidungen und entsprechendes Konsumentenverhalten setzen aber die Kostenwahrheit der Energiepreise voraus. Aus Sicht der wirtschaftlichen Effizienz wie auch aus Sicht der Nachhaltigkeit sollten die der Allgemeinheit überbürdeten wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Kosten der Energienutzung möglichst gering sein, d.h., sie sollten statt dessen von den Energiekonsumenten getragen werden. Die Internalisierung externer Kosten (nicht nur des Energiesystems) entspricht der Umsetzung des Verursacherprinzips.<sup>27</sup>

So moralisch korrekt das Verursacherprinzip auch sein mag, ist es doch trotz diverser wissenschaftlicher Studien im vergangenen Vierteljahrhundert nicht gelungen, einen Konsens über die "korrekte" Methode zur unabdingbaren Monetarisierung der externen Kosten herbeizuführen. Die Zurechnung von Schäden zu Verursachern wie überhaupt bereits die Bestimmung des Ausmasses von Schäden bieten enorme methodische Probleme. Besonders schwierig gestaltet sich der Einbezug der Risikoaversion bei nur potenziell eintretenden Schäden, welche für die monetäre Bewertung der externen Kosten etwa der Kernenergie bedeutsam ist. Kurz, externe Kosten lassen sich auf absehbare Zeit nicht in stabiler Weise erfassen.<sup>28</sup>

Theoretisch könnte im Rahmen des Gesamtprojektes eine Methode zur Bestimmung der externen Kosten vorgegeben werden. Dies würde zumindest einen konsistenten Vergleich verschiedener Politikszenarien ermöglichen. Dieser Ansatz birgt jedoch die Gefahr, dass Resultate nicht akzeptiert werden, oder dass Diskussionen über die Angemessenheit der Methode zu viel Raum einnehmen. Von einem Leitindikator zu den externen Kosten sehen wir daher ab. Als Evaluationsindikator werden die nicht internalisierten externen Kosten jedoch gerade für die Beurteilung von Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen unentbehrlich sein.

Das Kriterium der wirtschaftlichen Effizienz beinhaltet noch einen weiteren Aspekt, den es zu erfassen gilt. Es handelt sich um den bereits beim Kriterium Ressourcen angesprochenen Zusammenhang zwischen wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit und Energieverbrauch.

Die Forderung entspricht Postulat 9b in Monet (2002): "Die Preise sollen die Knappheit der natürlichen Ressourcen und Senken widerspiegeln sowie die externen Kosten enthalten. Das Verursacherprinzip soll (ausgenommen bei meritorischen Gütern) konsequent angewendet werden."

<sup>27</sup> Eine vollständige Internalisierung ist übrigens nicht gleichbedeutend einer vollständigen Eliminierung ökologischer und anderer Schadenskosten. Aus volkswirtschaftlicher Sicht kann eine gewisse Restbelastung durchaus tolerierbar sein, sofern die Kosten hierfür von den Verursachern getragen und aus ihrer Sicht durch die Nutzen der Energienutzung aufgewogen werden. Damit ist auch gesagt, dass die Internalisierung der externen Umweltkosten die Erreichung der Umweltziele allein nicht gewährleistet; sie garantiert lediglich die richtigen ("effizienten") Preissignale.

Selbstverständlich gibt es eine Unzahl von Studien, die sich theoretisch und empirisch mit der Bestimmung externer Kosten befasst haben (ein vielzitiertes Beispiel im Schweizer Kontext ist Infras et al. 1996). So gesehen handelt es sich bereits um wissenschaftliche Routine. Die ermittelten Kosten können auch durchaus als indikativ angesehen werden. Der Punkt hier ist jedoch, dass die Bestimmung externer Kosten Werturteile voraussetzt, die hochkontrovers sind und dies wohl auch bleiben werden. Der Bericht der deutschen Enquete-Kommission, der gerade auch wegen der Uneinigkeit über das Ausmass der externen Kosten zur Totgeburt wurde, illustriert dies bestens.

Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) mag ein unzureichender Massstab für Wohlstand sein, mangels anerkannter Alternativen ist es aber derzeit der einzig valable Indikator für die Leistungsfähigkeit einer Wirtschaft als ganzer. Der Energieverbrauch ist daher zum BIP in Beziehung zu setzen als Mass dafür, wie effizient das energierelevante wirtschaftliche Handeln die gesellschaftlichen Bedürfnisse zu befriedigen vermag (vgl. Postulat 8 in Monet). Ein andauerndes Wachstum des BIP ist mit den Vorstellungen zur Rolle, die die erneuerbaren Energien inskünftig einnehmen sollen, sowie zur CO<sub>2</sub>-Reduktion nur kompatibel, wenn der zur Erzielung dieses Wohlstands benötigte Ressourceneinsatz drastisch sinkt. Zur Erfassung dieser notwendigen Entwicklung schlagen wir die Verwendung des folgenden Indikators vor:

# Energieintensität (Endenergieverbrauch pro BIP-Einheit) [MJ/Fr.]; gewünschte Entwicklung: ↓

Die Verquickung von Energieverbrauch und Wohlstand in einem Indikator ist eine bewusste Wahl, die zum Ausdruck bringen soll, dass aus Sicht der Nachhaltigkeit entscheidend ist, die bestehende Kopplung der beiden Grössen aufzuheben. Gemäss Enquete-Kommission (2002, S. 138) ist darüber hinaus verlangt, "dass nicht nur wie bisher der spezifische Energieverbrauch sinkt und damit die Wirtschaft stärker wächst als der Energieverbrauch, sondern dass der Energieverbrauch selbst absolut sinken muss, während das Angebot an Gütern und Dienstleistungen weiter steigen kann". Eigentlich geht es demnach um nicht weniger als die Entwicklung eines neuen Wachstumsmodells, bei dem das Wirtschaftswachstum absolut vom Ressourcenverbrauch entkoppelt ist. Die Vorstellungen zu diesem oft als qualitativ bezeichneten Wachstum sind bestenfalls vage, theoretische Grundlagen dazu fehlen weitgehend, ihrer Erarbeitung steht das geltende ökonomische Paradigma entgegen.<sup>29</sup>

#### Stabilität

Das Kriterium Stabilität erfasst die wirtschaftlichen Anpassungskosten der Energiepolitik. Aus volkswirtschaftlicher Sicht ist es zwar nicht sinnvoll, von einem bestimmten Sektor einen möglichst hohen Beitrag zum BIP oder zur Beschäftigung zu verlangen, und es kann dies insbesondere für den Energiebereich kein Nachhaltigkeitsziel sein. So gesehen widerspricht auch ein Strukturwandel in der Energiebranche, der zu Entlassungen führt, nicht a priori der Nachhaltigkeit. Entscheidend ist diesbezüglich auch nicht die absolute Zahl der Arbeitsplätze, sondern die Frage, ob die Auswirkungen des – absehbaren und zweifellos nötigen – Strukturwandels in der Energiebranche beschäftigungspolitisch aufgefangen werden können.

\_

Vergleiche hierzu auch das Postulat 10a in Monet (2002): "Die ökonomische Leistungsfähigkeit einer Gesellschaft und ihr Produktiv-, Sozial- und Humankapital müssen über die Zeit zumindest erhalten werden. Sie sollen nicht bloss quantitativ vermehrt, sondern vor allem auch qualitativ ständig verbessert werden."

Nach Monet (2002, Postulat 11b) darf generell die Geschwindigkeit von Veränderungen der Rahmenbedingungen des wirtschaftlichen Systems den sozialen Frieden nicht gefährden. Und spezifisch mit Bezug auf den Energiesektor fordert die Enquete-Kommission (2002, S. 136): "Der notwendige Strukturwandel in der Energiewirtschaft muss sozialverträglich erfolgen. (...) Die Zahl der verlorengehenden Arbeitsplätze muss durch die Schaffung neuer Arbeitsplätze beim Aufbau der neuen Energiemärkte ausgeglichen werden." Dabei dürfte es ausreichen, wenn die Arbeitsplatzverluste im Energiesektor auf der gesamtwirtschaftlichen Ebene aufgefangen werden können. Brodmann *et al.* haben zu diesem Zweck einen Indikator vorgeschlagen, welcher lediglich ausserordentliche Beschäftigungsschwankungen im Energiesektor abbildet, indem er die Anzahl Personen aus der Branche erfasst, die ALV beziehen oder ausgesteuert sind.

Das Kriterium Stabilität ist langfristig im Energiebereich für Nachhaltigkeit von nicht besonderer Relevanz. Maximale Beschäftigung ist zwar ein übliches gesamtwirtschaftliches Ziel, ein Beitrag des Energiesektors zu diesem Ziel ist aber in keiner Weise vorgeschrieben. Wichtig ist einzig, dass ein allfälliger Verlust an Arbeitsplätzen in der Energiebranche sozial und wirtschaftlich abgefedert werden kann. In diesem Sinne eignen sich Indikatoren zu diesem Kriterium auch nicht als Leitindikatoren. Als Evaluationsindikatoren zur Bewertung der Auswirkungen energiepolitischer Massnahmen sind sie aber wertvoll.

#### 4.5.3 Gesellschaftliche Kriterien und Indikatoren

Die gesellschaftlichen Kriterien zeichnen sich allesamt dadurch aus, dass für sie richtungssichere Indikatoren praktisch nicht existieren. Wir werden dennoch quantifizierbare, allerdings noch nicht etablierte Indikatoren auch für diesen Bereich vorschlagen im Versuch, der postulierten Gleichgewichtigkeit der drei Säulen der Nachhaltigkeit besser nachzukommen, als dies bislang der Fall war.

#### Solidarität

Das Kriterium Solidarität zielt auf den gesellschaftlich gerechten Zugang zur Versorgung mit Energie. In Frage steht dabei der räumliche und intertemporale Ausgleich wie auch der zwischen gesellschaftlichen Gruppen, bei letzteren vor allem der zwischen Einkommensgruppen. Das Kriterium leitet sich ab aus Postulat 4b in Monet (2002): "Jedes Mitglied der Gesellschaft soll dieselben Rechte und Chancen haben. Eine gerechtere Verteilung der Ressourcen ist anzustreben."

Die Bedeutung regionaler Differenzen im Zugang zu Energie scheint in der kleinräumigen, wenn auch geographisch kontrastreichen Schweiz eher gering. Überregionale Differenzen sind sehr ausgeprägt vorhanden. Mit der Forderung nach Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie am EEV ist dieser Aspekt zumindest teilweise und indirekt erfasst. Ein

Grossteil der Disparitäten rührt ja vom international ungleichen Ressourcenverbrauch und der damit verbundenen Ungleichbelastung durch Umweltwirkungen her.

Auch wenn es zwischen Einkommensgruppen in der Schweiz praktisch keine physische Ungleichheit im Zugang zu Energie gibt, so existiert doch eine kostenbedingte Diskriminierung einkommensschwacher Schichten, welche es, folgt man dem zitierten Postulat 4b, auszuräumen gälte. Ins Feld führen liesse sich dafür auch Postulat 2a (BFS et al. 2002), welches festhält: "Bei der Deckung der darüber [die Grundbedürfnisse] hinausgehenden materiellen und immateriellen Bedürfnisse soll den Individuen ein angemessener Spielraum eingeräumt werden." Es geht hier nicht um eine mit dem Ruch des Sozialismus behaftete Nivellierung der Lebensstandards, sondern um die Sicherung der Menschenwürdigkeit des Lebensstandards für alle Mitglieder der Gesellschaft. Heruntertransformiert auf die Frage des Zugangs zu Energie schlagen wir vor, den entsprechenden Anspruch mit folgendem Indikator zu erfassen:

# Anteil der Energiekosten am untersten Dezil der Haushaltseinkommen (abzüglich Rückverteilung)

[%]; gewünschte Entwicklung: 4

Lenkungsabgaben, die zur Erhöhung der Energiekosten beitragen können, sind zu berücksichtigen, sofern ihre Rückverteilung pro Kopf der Bevölkerung erfolgt.<sup>30</sup> Die gewünschte Entwicklungsrichtung illustriert, dass einkommensschwache Haushalte in möglichst geringem Ausmass durch Energiekosten belastet werden sollen. Die Wahl des Dezils als Abschneidekriterium ist insofern nicht ganz arbiträr, als gemäss Statistik in der Schweiz 6% der Wohnbevölkerung unter der offiziellen Armutsgrenze leben.

#### **Partizipation**

Das Kriterium Partizipation erfasst die Möglichkeiten, Prozesse mitzugestalten und Entscheidungen zu beeinflussen. In den Worten der Enquete-Kommission (2002, S. 135): "Die Struktur des Energiesystems muss demokratischen Entscheidungsstrukturen unterliegen, um Marktmacht auszugleichen und Konflikte um Ressourcennutzung oder mit der Energienutzung verbundene Umweltprobleme zu regeln." Nicht nur ist es schwierig, die Freiheit zur Mitbestimmung anders als qualitativ zu erfassen, vor allem steht die direktdemokratische Schweiz bezüglich dieses Anliegens sowohl relativ zu anderen Ländern wie auch absolut gut da. Auch in langfristiger Sicht gibt es keinen Grund anzunehmen, weshalb sich hier die Situation der Schweiz massgeblich verschlechtern sollte. Für einen Leitindikator zu diesem Kriterium besteht mithin kein Bedarf.

Die Berücksichtigung von Lenkungsabgaben, die nicht proportional rückverteilt werden (z.B. Senkung von Lohnnebenkosten), dürfte kaum praktikabel sein.

#### Individualität

Beim Kriterium Individualität geht es um die Entscheidungsfreiheit der Wirtschaftssubjekte zur Wahl eines Energieträgers oder Energielieferanten. Offensichtlich korreliert diese Entscheidungsfreiheit mit dem Ausmass, in dem die Energiemärkte liberalisiert sind. Da der Liberalisierungsgrad davon abhängt, wie stark regulativ in die Energiemärkte eingegriffen wird bzw. inwieweit oligopolistische Strukturen staatlicherseits geduldet werden, ist dieser eher als Politik-Indikator geeignet denn als Wirkungsindikator.

Langfristig bedingt die Sicherstellung der Entscheidungsfreiheit das Offenhalten bzw. das Eröffnen einer möglichst grossen Zahl energietechnologischer Optionen. Das bedeutet zum einen, dass bestehende bewährte Energietechnologien nicht ohne Not aufgegeben werden, 31 zum anderen, dass optimale Voraussetzungen für die Entwicklung innovativer Energietechnologien geschaffen werden. Letzteres verlangt gemeinwirtschaftliche Investitionen in Forschung und Entwicklung, aber auch eine Stärkung der Bedeutung nachhaltiger Energieerzeugung und –nutzung auf allen Stufen des Bildungswesens. Beide Aspekte sind wiederum eher mit Politik- als mit Wirkungsindikatoren zu erfassen. Ein Leitindikator zum Kriterium Individualität liegt nicht auf der Hand, weshalb auf einen solchen hier verzichtet wird.

#### Sicherheit

Dieses Kriterium umfasst sowohl den Aspekt der Sicherheit der Energieversorgung (z.B. Anlagensicherheit) wie den der Sicherheit der Energienutzung (z.B. Haushaltunfälle in Verbindung mit Elektrizität). Der zweite Aspekt ist langfristig nicht sehr dringlich, da energiebedingte Personenschäden im Vergleich zu anderen Unfallquellen relativ selten sind und die technische Entwicklung zu einer weiteren Verminderung führen wird.

Die Notwendigkeit zur Begrenzung der Risiken der Energieversorgung ist hingegen klar vorgegeben (BFS et al. 2002, Postulat 18b): "Unfallrisiken mit grossräumigen Auswirkungen auf Mensch und Biosphäre sind nur so weit zulässig, als sie auch beim grössten möglichen Schadensereignis keine dauerhaften Schäden über eine Generation hinaus verursachen." Der Langfristcharakter dieser Risiken macht ihre Berücksichtigung aus Sicht der Nachhaltigkeit unerlässlich. Als Leitindikator schlagen wir vor:

 Anzahl Anlagen mit potenzieller Schadensdauer im Falle eines GAU von über 30 a

[-]; gewünschte Entwicklung: U

\_

Es bedeutet umgekehrt aber auch, "zu verhindern, dass energiewirtschaftliche Strukturen schon heute so zementiert werden, dass künftigen Generationen kein Entscheidungsspielraum mehr bleibt" (Enquete 2002, S. 135).

In der Schweiz bergen derzeit wohl nur Kernkraftwerke solch weitreichende Schadenspotenziale.

### 4.6 Evaluationsindikatoren: Funktion und Beispiele

Evaluationsindikatoren dienen der Beurteilung der energiepolitischen Strategien und Massnahmen, welche die Gestalt des Energiesystems beeinflussen. Mit der konkreten technischen Ausformung des Energiesystems sind je unterschiedliche ökologische, wirtschaftliche und soziale Auswirkungen verbunden. Die diversen Indikatoren, mit denen diese erfasst werden können, bezeichnen wir als **Evaluationsindikatoren**. Sie können zu einer vergleichenden Beurteilung von Handlungsalternativen, die auf ein nachhaltiges Energiesystem führen, verwendet werden.

Die Strategien und Massnahmen für ein nachhaltiges Energiesystem werden sich voraussichtlich in der Grundausrichtung wie auch in der detaillierten Umsetzung unterscheiden. Beispielsweise könnte eine Strategie eine Forcierung der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energieproduktion in der Schweiz vorsehen und diese über Energielenkungsabgaben, raumordnerische Massnahmen und verstärkte Forschung und Entwicklung umsetzen, während eine andere Strategie auf Importe erneuerbaren Stroms setzt und obligatorische Verbrauchsquoten (Zertifikate) als Anreiz vorsieht.

Diese simplen Strategiebeispiele illustrieren, dass die definierten Leitindikatoren nicht ausreichen, um die verschiedenen Strategien und Massnahmen zu bewerten. Es werden vielmehr ergänzende Indikatoren benötigt, um insbesondere deren (volks-)wirtschaftliche Auswirkungen zu erfassen. Dazu einige Beispiele:

- Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen verschiedener Strategien sollen anhand der üblichen Kenngrössen verglichen werden, für die jeweils die Änderung in Abhängigkeit der sich ergebenden Gestalt des Energiesystems ermittelt wird:
  - Bruttoinlandprodukt (BIP);
  - Zahl der Arbeitsplätze (Beschäftigung);
  - gesamtwirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit (z.B. Verhältnis Import/Export);
  - Energiekostenverteilung (z.B. nach Haushaltskategorien oder nach Regionen).
- Kosten: Der Vergleich energietechnischer Optionen (z.B. Wärmedämmung vs. verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien) sollte anhand der Kosten pro Energiedienstleistung unter Berücksichtigung von Transaktions- und Zusatzkosten erfolgen.
- Weitere Auswirkungen: Entsprechend der Vielzahl möglicher Strategien und Massnahmen sind auch den denkbaren Evaluationsindikatoren kaum Grenzen gesetzt. Beispielsweise gehört die Belastung der Landschaft durch Windenergieanlagen heute nicht zu den drängendsten Problemen des Schweizer Energiebereichs und hat deshalb in einem knappen Set von Nachhaltigkeitsindikatoren keinen Platz. Bei der Beurteilung einer Strategie zur Forcierung der Windenergie müssten Landschaftsaspekte aber mit Sicherheit berücksichtigt werden. Eine erweiterte Checkliste liefert die Indikatorenliste von Brodmann et al (2001); vgl. Beilagenband, Abschnitt xxx.

## 4.7 Zusammenfassung

Tabelle 9 fasst die Leitindikatoren nochmals übersichtlich zusammen.

Ökologische Indikatoren	Wirtschaftliche Indikatoren	Gesellschaftliche Indikatoren
Anteil erneuerbarer Energie am Endenergieverbrauch	Preise der Leitenergieträger als Näherung für Kosten pro Energiedienstleistung	Anteil der Energiekosten am untersten Dezil der Haushaltseinkommen
Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen	Energieintensität des BIP	Anzahl Anlagen mit potenzieller Schadensdauer im Falle eines GAU von über 30 a
Hochradioaktive Abfälle		

Tabelle 9: Leitindikatoren des Energiebereichs (eigene Darstellung)

Verschiedene der hier ausgewählten Leitindikatoren weichen ab von den in Brodmann *et al.* (2001) vorgeschlagenen. Neu sind insbesondere die Indikatoren zur Energieintensität und zum Anteil der Energiekosten an den untersten Haushaltseinkommen. Die Änderungen wurden vor allem erforderlich, weil die in Brodmann *et al.* vorgeschlagenen Indikatoren auf eine möglichst umfassende Bewertung ausgelegt sind und nicht auf die praktische Anwendung in einem Forschungsprojekt. Immerhin ist festzustellen, dass die vom UVEK formulierten Postulate zur Entwicklung des Schweizer Energiesystems (vgl. Beilagenband, Abschnitt xxx) mit den Leitindikatoren fast zur Gänze abgedeckt werden.

Die Leitindikatoren erlauben es, die Vision eines nachhaltigen Energiesystems fassbar zu machen. Zu diesem Zweck werden für sie in Kapitel 1 konkrete Zielwerte definiert. Zentrale Aufgabe des Gesamtprojektes wird es sein, machbare Strategien und Massnahmen zu entwickeln, mit denen die Zielwerte für die Leitindikatoren erreicht werden können. Die vergleichende Beurteilung dieser Strategien erfolgt mit Hilfe zusätzlicher Evaluationsindikatoren.

Ökologische Indikatoren	Wirtschaftliche Indikatoren	Gesellschaftliche Indikatoren
NO <sub>x</sub> -Emissionen	BIP	Energiekostenverteilung
Feinpartikel-Emissionen	Beschäftigung	

Tabelle 10: Beispiele für Evaluationsindikatoren des Energiebereichs (eigene Darstellung)

# 5 Bestimmung der Zielwerte

Nach der Auswahl der Leitindikatoren, anhand derer sich ein Energiesystem in seiner Nachhaltigkeit charakterisieren lässt, wenden wir uns nun der Aufgabe zu, für diese Leitindikatoren konkrete Zielwerte zu bestimmen. Dabei sind zwei Arten von Zielwerten zu unterscheiden:

- Absolute Zielwerte: Solche existieren, wenn für das Schutzgut, auf das sich ein Wirkungsindikator bezieht, eine absolute Belastungsgrenze besteht, oder wenn das Postulat, aus dem sich ein Indikator ableitet, eine absolute Grenze nahelegt. Die absoluten Grenzen sind entsprechend naturwissenschaftlich gegeben oder leiten sich aus ethischen Prinzipien ab. Absolute Zielwerte haben zeitunabhängige Gültigkeit (sieht man ab von neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen oder der Revision ethischer Grundlagen, die zu einer Neubeurteilung führen können). Je eher sie erreicht werden, desto besser; je länger sie verfehlt werden, desto höher ist die Gefahr anhaltender Schäden. Ein Beispiel für eine naturwissenschaftliche Belastungsgrenze ist der in Kapitel 1 hergeleitete Wert von 10 Mrd. t/a, den die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht überschreiten sollten.
- Politische Nachhaltigkeitsziele beziehen sich dagegen auf eine bestimmte Zielperiode. Sie spiegeln die gegenwärtigen Einschätzungen dessen wider, was technisch, ökologisch, ökonomisch und gesellschaftlich erforderlich und auch machbar ist. Sie sind Ausfluss der involvierten Präferenzen und häufig das Ergebnis eines Austarierens konfligierender Nachhaltigkeitskriterien und -ziele. Ein Beispiel ist das CO<sub>2</sub>-Emissionsziel der Schweiz für den Zeitraum 2008–12, welches eine Reduktion um 10% gegenüber dem Stand von 1990 vorsieht. Dieses stellt lediglich einen ersten Schritt hin zur längerfristig notwendigen Emissionsreduktion dar, entspricht aber gleichzeitig dem bis dahin für politisch und wirtschaftlich realisierbar Gehaltenen. Analog dazu, aber nicht nur auf CO<sub>2</sub> beschränkt stellt sich hier die Frage nach politischen Zielwerten für die Leitindikatoren bis ins Jahr 2050.

Untersucht wird zunächst, ob sich für die Leitindikatoren überhaupt wissenschaftliche, absolute Nachhaltigkeitsziele angeben lassen. Anschliessend diskutieren wir (sozusagen semiquantitativ), welche Zielwerte für die einzelnen Leitindikatoren bis ins Jahr 2050 realistisch gesetzt werden können. Dabei werden insbesondere die Wert- und Interessenkonflikte herausgestrichen, die einer gleichzeitigen Realisierung dieser Zielwerte im Wege stehen. Damit soll das Feld abgesteckt werden, in dem sich die Politik zwangsläufig bewegt, wenn sie sich einer langfristigen Nachhaltigkeitsperspektive im Energiebereich verpflichtet. Die Analyse dieser Zielkonflikte bzw. der Auswirkungen verschiedener Haltungen dazu, welche Ziele wie dringlich zu erreichen sind, kann dann als Grundlage dienen für den Beschluss entsprechender *politischer* Ziele durch die zuständigen Instanzen.

#### 5.1 Effizienz

In diesem Abschnitt behandeln wir den Indikator "Energieintensität". Ein absoluter Zielwert im obigen Sinne lässt sich für ihn – es wurde in Kapitel 0 bereits angesprochen – nicht angeben. Im Prinzip ist aus Sicht der Nachhaltigkeit nicht einmal seine Entwicklungsrichtung vorgegeben. Aus realpolitischer Sicht jedoch ist klar, dass die Energieintensität sinken muss, sollen Ressourcen und Klima geschont werden.

#### 5.1.1 Zusammenhang von Energieverbrauch, Wohlstand und Bevölkerungszahl

Um eine Vorstellung über den Reduktionsbedarf zu bekommen, sei zunächst mit Hilfe einer mathematischen Beschreibung der Zusammenhang verdeutlicht zwischen Wohlstand, Bevölkerungszahl und Energieverbrauch. Wir verwenden mit den genannten Vorbehalten das Bruttoinlandprodukt (BIP), welches wir mit B bezeichnen, als Wohlstandsindikator, die Wohnbevölkerung sei bezeichnet mit K, der Endenergieverbrauch mit E. Des weiteren bezeichnen wir die Energieintensität der Wirtschaft und Pro-Kopf-Wirtschaftsleistung wie folgt:

**Energieintensität:** 
$$\varepsilon = \frac{E}{B}$$
 Pro-Kopf-Wirtschaftsleistung:  $\kappa = \frac{B}{K}$ 

Der Pro-Kopf-Energieverbrauch ergibt sich aus dem Produkt dieser beiden Grössen. Es gilt also der Zusammenhang:

$$E = \varepsilon \cdot \kappa \cdot K$$

Geht man von exponentiellen Wachstumsfunktionen für jede dieser Grössen aus und bezeichnet man die relativen Wachstumsraten mit k, so erhält man durch zeitliche Ableitung der obigen Gleichung folgende Relation:

Gleichung 1: 
$$k_E = k_E + k_K + k_K$$

Die Wachstumsrate des Energieverbrauchs steht in direktem Zusammenhang mit den Raten, in denen sich die Energieintensität der Wirtschaft, die Pro-Kopf-Wirtschaftsleistung und die Bevölkerungszahl verändern. Eine Stabilisierung des Energieverbrauchs erfordert, dass die Energieintensität mit derselben Rate sinkt, wie die Wachstumsraten der Bevölkerung und Pro-Kopf-Wirtschaftsleistung in der Summe steigen.

Im vergangenen Jahrzehnt 1990–2000 nahm die Schweizer Wohnbevölkerung um 0,54% pro Jahr zu, das BIP real um 0,86%, die Pro-Kopf-Wirtschaftsleistung wuchs somit um 0,32%. Der Endenergieverbrauch stieg im gleichen Mass wie das BIP, die Energieintensität der Wirtschaft blieb also konstant.

#### 5.1.2 Annahmen zur Entwicklung von Wohlstand und Wohnbevölkerung

Was ergibt sich nun daraus für die Energieintensität? Wir treffen zunächst Annahmen darüber, wie sich Wohnbevölkerung und Wohlstand in der Schweiz in den kommenden 50 Jahren verändern werden. Wie die deutsche Enquete-Kommission in ihrem Analyseraster, der auch von Fischedick et al. (2002) übernommen worden ist, **gehen wir davon aus, das BIP werde sich bis 2050 real verdoppeln**, was einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 1,4% p.a. gleichkommt. Ein ähnliches Wachstum wird auch in den Energieperspektiven zu-grundegelegt. Verglichen mit den 90er Jahren ist eine solche Wachstumsannahme gewiss optimistisch. Ein tieferes Wachstum würde den Druck zur Senkung der Energieintensität vermindern.

Anders als im Analyseraster der Enquete-Kommission, die von einem Rückgang der deutschen Wohnbevölkerung um 17% ausgeht, nehmen wir an, die Schweizer Wohnbevölkerung werde 2025 mit 7,8 Millionen einen Höchststand erreichen und bis 2050 wieder auf das heutige Niveau zurückgehen. Auch diese Annahme ist zumindest kompatibel mit den Energieperspektiven, die bis 2030 gegenüber 1990 eine Zunahme der Schweizer Wohnbevölkerung um 11% voraussetzen. Insgesamt ergibt sich mit diesen Annahmen eine stetige Steigerung der Wachstumsrate der Pro-Kopf-Wirtschaftsleistung, die sich somit zwischen 2000 und 2050 wie das BIP verdoppelt (s. Abbildung 5).

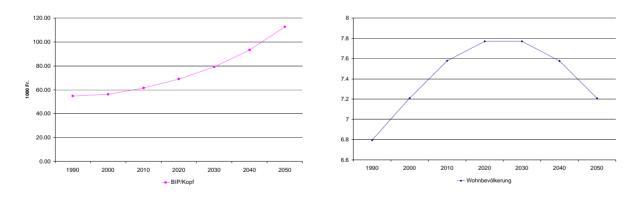


Abbildung 5: Vorgaben über die Entwicklung der Wohnbevölkerung und der Pro-Kopf-Wirtschaftsleistung in der Schweiz 2000 bis 2050

### 5.1.3 Ableitung des Zielwertes für die Energieintensität

Gleichung 1 grenzt nunmehr den Spielraum ein, in dem sich Endenergieverbrauch und Energieintensität bewegen können. Wird die eine Grösse vorgegeben, ergibt sich daraus die andere. Welche Vorgabe aber ist für die Energieintensität sinnvoll? Wie gesagt konnte sie in den 90er Jahren nicht verbessert werden. Was also kann realistischerweise in den kommenden Jahrzehnten gefordert werden?

Die Enquete-Kommission geht in ihrem Referenzszenario, welches den Status quo beschreibt, von einer Absenkung der Energieintensität um jährlich 2% bis 2050 aus (Fischedick et al. 2002, S.26ff.). Verschärfte Szenarien mit einer gesteigerten Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen (Effizienzszenario) bzw. mit einer Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80% (Nachhaltigkeitsszenario) setzen gar Absenkraten von 2,5% bzw. 2,8% pro Jahr voraus. Dabei wird jeweils angenommen, in den Jahren bis 2020 würden zunächst die günstiger zu erschliessenden, angebots- wie nachfrageseitig vorhandenen Effizienzpotenziale ausgeschöpft, bevor in grossem Stil die Potenziale der erneuerbaren Energien entwickelt werden. Dies führt dazu, dass die Rate zur Absenkung der Energieintensität im Laufe der Jahrzehnte abnimmt.

Angesichts dieser Vorgaben scheint es sinnvoll, zumindest 3 verschiedene Varianten für die Entwicklung der Energieintensität in der Schweiz näher zu untersuchen: eine kontinuierliche Absenkung um 1%, um 2% bzw. um 3% pro Jahr zwischen 2000 und 2050. In Abbildung 6 ist dargestellt, wie sich bei diesen Absenkungen der Endenergieverbrauch entwickeln würde. Beträgt die Absenkung lediglich 1% p.a., wird der EEV weiter zunehmen. Erst mit einer Absenkung um 1,4% p.a., kann dem Wachstum des EEV Einhalt geboten werden. Mit einer Absenkung um 2% wird der EEV bis 2050 um ein Viertel, mit einer um 3% um mehr als die Hälfte zurückgehen. Letzterer Fall würde ungefähr den Vorgaben der 2000 Watt-Gesellschaft entsprechen.

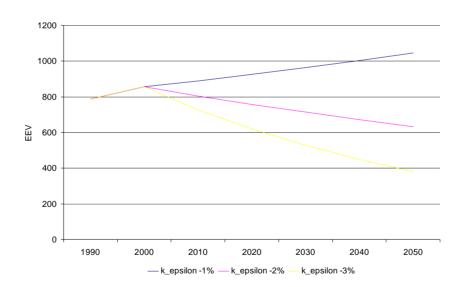


Abbildung 6: Entwicklung des Schweizer Endenergieverbrauchs in Abhängigkeit der Absenkung der Energieintensität

Ein politisches Nachhaltigkeitsziel für die Energieintensität kann aus diesen Überlegungen nicht schlüssig abgeleitet werden. Für die Schweiz gilt lediglich nüchtern festzuhalten, dass bisherige Anstrengungen zur Reduktion des EEV kaum etwas gefruchtet haben. Der immer wieder in Studien belegten Aussage, es seien enorme wirtschaftliche Potenziale

zur Effizienzsteigerung vorhanden, steht die schweizerische Realität des vergangenen Jahrzehnts entgegen, in dem trotz des Programms Energie 2000 die Energieintensität kein Jota verbessert werden konnte.<sup>32</sup> Vor diesem Hintergrund scheint es nicht sinnvoll, an den politischen Realitäten vorbei Nachhaltigkeitsziele setzen zu wollen.

Es gibt dennoch einen Anhaltspunkt für einen langfristigen Zielwert für die Energieintensität: EnergieSchweiz stützt sich auf energiepolitische Ziele, aus denen abgeleitet werden kann (vgl. Tabelle 4), dass unter den hier getroffenen Annahmen zu BIP und Bevölkerungszahl die Energieintensität bis 2010 um 2% p.a. zurückgehen muss. Nimmt man dieses politische Ziel ernst, dann scheint die Forderung nicht unvernünftig, dass die Energieintensität mit der gleichen Rate bis 2050 abnehmen sollte. Als politisches Nachhaltigkeitsziel für die Energieintensität schlagen wir deshalb eine Absenkung um jährlich 2% vor. Bei einem Ausgangswert von 2,11 MJ/Fr. im Jahr 2000 muss dann die Energieintensität bis 2050 auf 0,77 MJ/Fr. abnehmen (reale Werte für das Jahr 2000). Der Schweizer EEV würde beim gegebenen BIP-Wachstum bis 2050 um gut ein Viertel abnehmen.

Im Hinblick auf die vom UVEK geplante längerfristige energiepolitische Nachhaltigkeitsstrategie legen wir aufgrund dieses Zielwertes zudem ein provisorisches Zwischenziel für das Jahr 2020 fest. Für den Zeitraum 2020–2050 sehen wir jedoch von einer Vorgabe ab, um den Spielraum einer künftigen Langfriststrategie nicht unnötig einzuschränken. Untenstehende Tabelle fasst die Überlegungen zur Ableitung der Zielwerte für die Energieintensität zusammen.

	1990	2000	2010	2020	2050
Energieintensität (MJ/Fr. <sub>00</sub> )	2.11	2.11	1.72	1.41	0.77
Endenergieverbrauch (PJ)	786	855	805	758	633
BIP (Mrd. Fr. <sub>00</sub> )	372	406	466	536	813
Wohnbevölkerung (Mio.)	6.8	7.2	7.6	7.7	7.2

Tabelle 11: Politisches Nachhaltigkeitsziel für die Energieintensität (Vergangenheitswerte kursiv; [implizit] bestehende politische Vorgaben fett; angenommene Werte grau unterlegt; übrige Werte berechnet)

Das heisst nicht, das Programm Energie 2000 habe keine Wirkung gehabt. Ohne das Programm hätte die Energieintensität sogar eher noch zugenommen. In Deutschland nahm die Energieintensität im gleichen Zeitraum übrigens um 1,7% ab, was aber wohl mit dem Zusammenbruch der DDR erklärt werden kann und dem in der Folge geschehenen Ersatz ineffizienter Kraftwerke.

#### 5.2 Klima und Ressourcen

In diesem Abschnitt behandeln wir gemeinsam die Frage des Zielwerts für den Indikator "energetische CO<sub>2</sub>-Emissionen" sowie für den Indikator "Anteil erneuerbarer Energien am EEV", da sie – nicht was die absoluten, aber was die politischen Ziele betrifft – in einem engen inneren Zusammenhang stehen.

# 5.2.1 Absolute Zielwerte für die CO<sub>2</sub>-Emissionen und den erneuerbaren Energieanteil

Für den Indikator "Anteil erneuerbarer Energien am EEV" besteht zunächst aus Sicht der Nachhaltigkeit ein unbestreitbarer absoluter Zielwert von 100%. Zum Erhalt der Entscheidungsfreiheit zukünftiger Generationen ist ein haushälterischer Umgang mit nicht erneuerbaren Ressourcen angezeigt, auch wenn diese noch für Jahrzehnte (Erdöl, Erdgas) bis Jahrhunderte (Kohle) vorhanden sind. In letzter Konsequenz ist nur der Verzicht auf die Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen nachhaltig.

Da die erneuerbaren Energien im Idealfall klimaneutral sind, würde das Erreichen eines 100%-Anteils erneuerbarer Energien am EEV zugleich einen Rückgang der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf null bedeuten. Ein solcher Rückgang ist jedoch nicht einmal in absoluter Sicht notwendig. Wie in Abschnitt 4.2.4 dargelegt wurde, lässt sich ein absoluter Zielwert für die anthropogenen Treibhausgasemissionen herleiten unter der Annahme, bei einer Stabilisierung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration auf einem Niveau von 450 ppm vermöchten sich die Ökosysteme an den damit verbundenen Klimawandel anzupassen. Für eine solche Stabilisierung ist gemäss den Szenarien des IPCC eine Reduktion der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf 20 Gt/a bis 2050 erforderlich, ab 2100 sollten sich die Emissionen bei ca. 10 Gt/a stabilisieren. Um aus dieser globalen Emissionsgrenze einen Zielwert für die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schweiz abzuleiten, greifen wir auf die Forderung zurück, dass langfristig allen Menschen aus Gerechtigkeitsgründen dasselbe Emissionsbudget zur Verfügung stehen sollte. Der absolute Zielwert für die Schweiz wird somit abhängig davon, welchen Anteil die Schweizer Bevölkerung an der Weltbevölkerung hat.

#### 5.2.2 Ableitung des Zielwertes für die CO<sub>2</sub>-Emissionen

Wie steht es mit dem politischen Nachhaltigkeitsziel für die energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen? Wie in der Studie von Factor (2001) gezeigt wurde, ist das im Strategiebericht des Bundesrates genannte Ziel von 1 t CO<sub>2</sub> pro Kopf für das Jahr 2050 wohl zu ambitioniert. Überdies ist der Druck zur Dekarbonisierung des Energiesystems umso höher, je höher der Endenergieverbrauch liegt – und dieser wiederum liegt umso höher, je weniger stark die Energieintensität gesenkt wird. Um besser zu verstehen, in welchem Zu-

sammenhang der energetische CO<sub>2</sub>-Ausstoss mit den genannten Grössen steht, erweitern wir die oben angestellten formalen Überlegungen. Zunächst führen wir die Kohlenstoffintensität des Energiesystems ein als Quotient aus energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und Energieverbrauch:

Kohlenstoffintensität: 
$$\gamma = \frac{C}{E}$$

Für die energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen ergeben sich somit die folgenden (manchmal als Kaya-Gleichung bezeichneten) Zusammenhänge:

$$C = \gamma \cdot \varepsilon \cdot \kappa \cdot K \qquad k_C = k_{\gamma} + k_{\varepsilon} + k_{\kappa} + k_{\kappa},$$

wobei  $k_{\gamma}$  die **Karbonisierungsrate** des Energiesystems bezeichnet. Gibt man also (neben  $k_{\kappa}$  und  $k_{K}$ ) ein CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel vor, dann stellt sich die Frage, einen wie grossen Beitrag an die Erreichung dieses Zieles eine Effizienzsteigerungsstrategie (Senkung  $k_{\epsilon}$ ) bzw. eine Dekarbonisierungsstrategie (Senkung  $k_{\gamma}$ ) leisten kann.

In den 90er Jahren nahmen in der Schweiz die CO<sub>2</sub>-Emissionen weit weniger stark zu (0,35% p.a.) als der Endenergieverbrauch (0,85% p.a.), weshalb es zu einer Dekarbonisierung im Umfang von 0,5% p.a. kam, während die Energieintensität, wie bereits erwähnt, unverändert blieb.

#### Zusammenhang von CO<sub>2</sub>-Emissionen, Kohlenstoffintensität und Energieintensität

Mit den im vorangegangenen Abschnitt getroffenen Annahmen ergibt sich das folgende Bild für das Wechselspiel zwischen der Veränderungsrate der Energieintensität und der Kohlenstoffintensität (s. Abbildung 7).

Mit dem politischen Zielwert einer Rate von –2% p.a. für die Energieintensität ergibt sich die Notwendigkeit zur Abnahme der Kohlenstoffintensität um durchschnittlich jährlich 2,14%, 1,48% oder 0,78% über den Zeitraum 2000–2050 in Abhängigkeit von den CO<sub>2</sub>-Zielen, die gesetzt werden. Den stärksten Rückgang erzwingt das strengste hier betrachtete CO<sub>2</sub>-Ziel, welches im selben Zeitraum eine CO<sub>2</sub>-Reduktion um 75% vorsieht, was ungefähr zu einer Pro-Kopf-Emission von 1,5 t im Jahr 2050 führen würde (s. Abbildung 8). Die anderen beiden Zielpfade gehen wie der erste von einem sich im Laufe der Zeit beschleunigenden CO<sub>2</sub>-Reduktionsbedarf aus, enden jedoch bei geringeren Reduktionszielen von 65% (2 t pro Kopf) bzw. 50% (3 t pro Kopf).

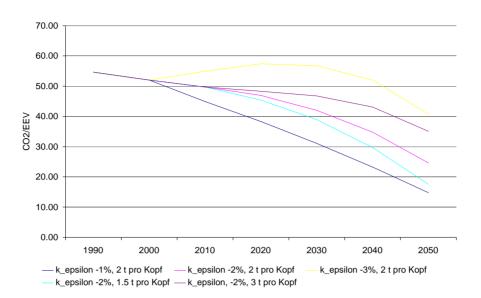


Abbildung 7: Entwicklung der Kohlenstoffintensität (t/TJ) des Schweizer Energiesystems in Abhängigkeit des CO<sub>2</sub>-Ziels sowie der Absenkung der Energieintensität

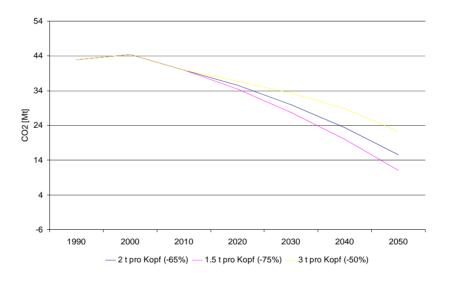


Abbildung 8: Mögliche Zielpfade für die energetischen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schweiz (inkl. internationale Flüge der Schweizer Wohnbevölkerung) bis 2050

Mit zunehmendem CO<sub>2</sub>-Reduktionsbedarf muss natürlich auch die Dekarbonisierungsrate des Energiesystems steigen. Während sie in den ersten zwei Jahrzehnten für alle Zielpfade noch im Bereich der in den 90er Jahren erreichten 0,5% p.a. liegt, muss sie in der Dekade 2040/50 im günstigen Fall (3 t/cap.) 2%, im ungünstigen Fall (1,5 t/cap.) 5% pro Jahr betragen.

#### Sensitivitätsanalyse

Entsprechende Überlegungen können angestellt werden für eine schwächere oder stärkere Absenkung der Energieintensität. So zeigt Abbildung 7, wie sehr sich der Druck zur Dekarbonisierung vermindert, wenn die Energieintensität stärker fällt, als von uns als politisches Nachhaltigkeitsziel postuliert. Bei einem jährlichen Rückgang der Energieintensität um 3% statt um 2% dürfte die Kohlenstoffintensität sogar noch bis 2030 zunehmen und müsste bis 2050 im Durchschnitt nicht stärker fallen, als sie es in den 90er Jahren tat. Beträgt der Rückgang der Energieintensität hingegen lediglich 1% pro Jahr, dann bedarf es einer sofortigen Senkung der Kohlenstoffintensität, die über das bisher Erreichte hinaus geht. Im wesentlichen spitzt sich die Frage demnach darauf zu, ob der Senkung der Energie- oder der Kohlenstoffintensität Vorrang zu geben sei.

#### Schlussfolgerung und Zielfestlegung

Aktuelle Langfristszenarien gehen davon aus, dass zunächst die bestehenden wirtschaftlichen Effizienzpotenziale ausgeschöpft werden und erst ab etwa 2030 eine verstärkte Dekarbonisierung stattfindet (Fischedick et al. 2002). Wie die Extrapolation des bisherigen Verlaufs zeigt (s. Abbildung 7), scheint eine solche Strategie am ehesten kompatibel mit einem CO<sub>2</sub>-Zielpfad, der bis 2050 eine Reduktion der Emissionen um zwei Drittel bringen würde, wobei im Zielpfad die allmählich wachsende Pflicht zur Emissionsreduktion bereits eingebaut ist (s. Abbildung 8). Mit der resultierenden CO<sub>2</sub>-Emission von etwa 15 Mt/a bzw. von 2,1 t/cap. würde darüber hinaus sogar das für 2050 anzuvisierende absolute Ziel erreicht, wenn die Weltbevölkerung zwischen 9 und 10 Milliarden Menschen beträgt. Als politisches Nachhaltigkeitsziel für die CO<sub>2</sub>-Emissionen schlagen wir deshalb eine Absenkung auf 15,5 Mt/a bis zum Jahr 2050 vor.

Dieses Ziel ist hiermit natürlich lediglich plausibel gemacht und nicht streng abgeleitet. Eine bis 2050 stärkere Absenkung mag sich durchaus im Lauf der kommenden zwei Jahrzehnte als möglich erweisen. In diesem Sinne sind sowohl das CO<sub>2</sub>-Ziel selbst wie auch der in Abbildung 8 dargestellte Zielpfad für die CO<sub>2</sub>-Emissionen als indikativ zu verstehen. Das gilt insbesondere für den in untenstehender Tabelle angegebenen Zielwert für das Zwischenjahr 2020, der eine Reduktion um 20% gegenüber 2000 bedeutet.

	1990	2000	2010	2020	2050
CO <sub>2</sub> -Emissionen (Mt) <sup>a</sup>	42.9	44.4	40.0	35.5	15.5
Energieintensität (MJ/Fr. <sub>00</sub> )	2.11	2.11	1.72	1.41	0.77
Endenergieverbrauch (PJ)	786	855	805	758	633

a. Die Werte für 1990 und 2000 enthalten die CO<sub>2</sub>-Emissionen des internationalen Flugverkehrs nach dem Absatzprinzip, die späteren nach dem Inländerprinzip. Für 2010 wurde ein Reduktionsziel von –10% gegenüber 2000 gesetzt, um den Spielraum für Mehremissionen aus dem internationalen Flugverkehr zu berücksichtigen, den das CO<sub>2</sub>-Gesetz lässt, indem es nur den inländischen Flugverkehr in sein Reduktionsziel einbezieht.

Tabelle 12: Politisches Nachhaltigkeitsziel für die CO<sub>2</sub>-Emissionen (Vergangenheitswerte kursiv; [implizit] bestehende politische Vorgaben fett; zuvor festgelegte Werte grau unterlegt; übrige Werte berechnet)

#### 5.2.3 Ableitung des Zielwertes für den Anteil erneuerbarer Energien

Offen geblieben ist bei der obigen Diskussion zur Dekarbonisierung, wie diese erreicht werden soll. Das führt uns auf den zweiten in diesem Abschnitt behandelten Indikator, den Anteil erneuerbarer Energien am EEV.

#### Zusammenhang von erneuerbarem Energieanteil und Kohlenstoffintensität

Zwischen der Kohlenstoffintensität und dem Anteil erneuerbarer Energien am EEV besteht ein enger Zusammenhang, aus dem sich ein politisches Nachhaltigkeitsziel für den fraglichen Indikator ableiten lässt. Wie hoch der Anteil erneuerbarer Energien am EEV sein muss, damit das Energiesystem ein vorgegebenes CO<sub>2</sub>-Ziel erfüllt, hängt im wesentlichen von drei Faktoren ab:

- 1. dem Anteil der Kernenergie am EEV;
- 2. dem Ausmass, in dem die flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls genutzt werden:
- dem Ausmass, in dem technische/biologische Sequestrierung von Kohlenstoff stattfindet.

Um dies einzusehen, schreiben wir den Endenergieverbrauch als folgende Summe:

$$E = FE + KE + EE$$
,

wobei FE, KE und EE den fossilen, nuklearen bzw. erneuerbaren Endenergieverbrauch bezeichnen. Die der Schweiz angerechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen schreiben wir als:

$$C_{netto} = C - FM - Seq,$$

wobei FM die mittels flexiblen Mechanismen aus dem Ausland bezogenen CO<sub>2</sub>-Reduktionen bezeichnet und "Seq" die sequestrierte CO<sub>2</sub>-Menge. Definiert man zudem eine fossile Kohlenstoffintensität wie folgt:

$$\gamma^* = \frac{C}{FE},$$

dann ergibt sich der Anteil erneuerbarer Energie am EEV aus folgender Gleichung:

$$\frac{EE}{E} = 1 - \frac{KE}{E} - \frac{C_{netto} + FM + Seq}{\gamma^* E}.$$

Werden weder die flexiblen Mechanismen noch Sequestrierung genutzt, ergibt sich also der gesuchte Indikator direkt aus dem Anteil der Kernenergie sowie dem Verhältnis aus gesamter und fossiler Kohlenstoffintensität:

$$\frac{EE}{E} = 1 - \frac{KE}{E} - \frac{\gamma}{\gamma^*}.$$

### Zusammenhang zwischen erneuerbarem Energieanteil und Kernenergieeinsatz

Was folgt aus diesen Überlegungen für den politischen Zielwert des Indikators "Anteil erneuerbare Energie am EEV"? Der maximal nötige erneuerbare Anteil, um ein gegebenes CO<sub>2</sub>-Ziel zu erreichen, ergibt sich, wenn aus der Kernenergie ausgestiegen würde und weder von den flexiblen Mechanismen noch von der Sequestrierung Gebrauch gemacht würde. Als Minimalszenario betrachten wir den Fall, dass 2050 ebensoviel Kernenergiestrom in der Schweiz nachgefragt wird wie heute (72 PJ). Mit den bereits bekannten Annahmen ergibt sich daraus für den benötigten erneuerbaren Energieanteil das in Abbildung 9 dargestellte Bild.

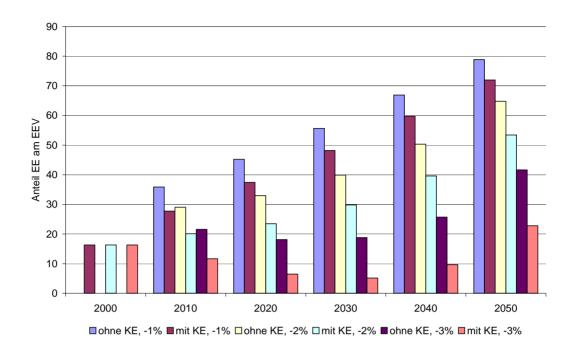


Abbildung 9: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch (in %) in Abhängigkeit der Absenkung der Energieintensität für ein CO₂-Reduktionsziel von −65% bis 2050.

Es ergeben sich, legt man die Rate für die Absenkung der Energieintensität auf 2% p.a. fest und das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel auf –65%, eine Bandbreite für den 2050 benötigten erneuerbaren Energieanteil zwischen 53% und 65%. Die Bandbreiten erhöhen bzw. vermindern sich entsprechend für höhere oder tiefere CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele. Das Umgekehrte gilt für höhere oder tiefere Absenkraten der Energieintensität: Bei einer Rate von –1% p.a. muss bei Verzicht auf die Kernenergie der erneuerbare Energieanteil fast 80% betragen, bei einer jährlichen Rate von –3% unter Beibehalt der Kernenergie nur knapp über 20%. In letzterem Fall könnte der Anteil erneuerbarer Energien gegenüber heute zwischenzeitlich sogar sinken, da der fossile Energieverbrauch zusammen mit dem Gesamtenergieverbrauch zunächst schneller zurückgehen würde als durch die benötigte Dekarbonisierung erforderlich.

#### Schlussfolgerung und Zielfestlegung

Veranschlagt man das Ausmass, in dem die flexiblen Mechanismen, die Sequestrierung und die Kernenergie 2050 zum Einsatz kommen vorsichtig, d.h. auf eine "Ersparnis" an erneuerbaren Energien von 10% des EEV, dann scheint ein politischer Zielwert für den

Dabei wird zusätzlich angenommen, die fossile Kohlenstoffintensität sei zeitlich konstant. Erhöht sich aber beispielsweise der Erdgasanteil am fossilen Energieverbrauch, dann sinkt auch der Bedarf an erneuerbarer Energie zur Erfüllung des CO<sub>2</sub>-Ziels.

\_

erneuerbaren Energieanteil von 55% vernünftig.<sup>34</sup> Dabei ist aber im Auge zu behalten, dass der Anteil möglicherweise bis zu 65% betragen muss, wenn es nicht gelingt, die anderen Optionen zur Dekarbonisierung nutzbar zu machen.

Immerhin darf festgestellt werden, dass die im Laufe der Zeit sich beschleunigende Notwendigkeit zur Erhöhung der relativen Anteile in bezug auf ihre Erreichbarkeit insofern nicht so bedrohlich ist, wie es den Anschein macht, als die Erfordernis zum absoluten Zuwachs bei sinkendem EEV nicht entsprechend dramatisch ausfällt (s. Abbildung 10).

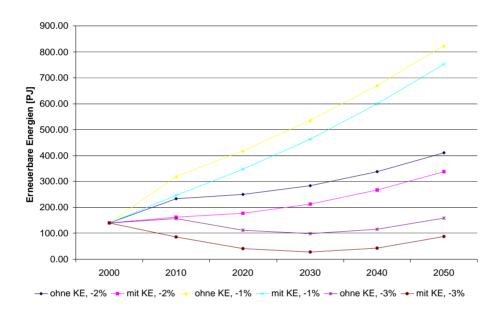


Abbildung 10. Entwicklung des Endverbrauchs erneuerbarer Energien (in PJ) in Abhängigkeit der Absenkung der Energieintensität für ein CO₂-Reduktionsziel von −65% bis 2050.

Als politisches Nachhaltigkeitsziel für den Anteil erneuerbarer Energien am EEV schlagen wir deshalb eine Steigerung auf 55% bis zum Jahr 2050 vor. Von den drei bisher diskutierten Zielwerten enthält dieser die meisten Unsicherheiten. Er vermittelt lediglich anhand einiger plausibler Annahmen, wie hoch der Anteil erneuerbarer Energien am EEV in etwa sein muss, damit die getroffenen Vorgaben zur Energieintensität und zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen eingehalten werden können.

Entsprechend ist wiederum der in untenstehender Tabelle angegebene Zielwert für das Jahr 2020 als blosser Anhaltspunkt für die politische Diskussion zu verstehen. Sowohl der Wert für 2010 wie der für 2020 verstehen sich unter der Voraussetzung des Weiterbetriebs der Kernkraftwerke auf dem heutigen Produktionsniveau.

\_

Langfristige Szenarien haben für Deutschland (welches derzeit noch einen hohen Anteil an fossiler Stromerzeugung aufweist) bei einer forcierten Nachhaltigkeitsstrategie einen möglichen Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch von gegen 50% ermittelt (Fischedick et al. 2002). Auch vor diesem Hintergrund scheint das hier gewählte Ziel zwar als sehr ambitioniert, aber nicht völlig ausser Reichweite.

	2000	2010	2020	2050
Anteil Erneuerbare am EEV (%)	16	20	24	55
CO <sub>2</sub> -Emissionen (Mt) <sup>a</sup>	44.4	40.0	35.5	15.5
Energieintensität (MJ/Fr. <sub>00</sub> )	2.11	1.72	1.41	0.77

Tabelle 13: Politisches Nachhaltigkeitsziel für den Anteil erneuerbarer Energieträger am EEV (Vergangenheitswerte kursiv; [implizit] bestehende politische Vorgaben fett; zuvor festgelegte Werte grau unterlegt; übrige Werte berechnet)

#### Sensitivitätsanalyse

Die Frage des Verlaufs der Energieintensität zwischen 2010 und 2050 ist abhängig von den CO<sub>2</sub>-Zielen, die gesetzt werden. Im Prinzip bedeutet beim hier angenommenen Absenkpfad auf 2 t/cap. eine mit der Zeit sich beschleunigende Abnahme der Energieintensität (z.B. von 1% auf 3%), dass der Druck zur Dekarbonisierung zu Beginn hoch ist und dann vorübergehend abnimmt. Die anfängliche Lockerung bei der Energieintensität müsste mit einer frühen Forcierung der erneuerbaren Energien erkauft werden. Dafür müsste der absolute Verbrauch an Erneuerbaren ab 2030 nicht mehr steigen.

Umgekehrt würde eine zu Beginn hohe und sich dann verlangsamende Abnahme der Energieintensität (z.B. von 3% auf 1%) den Druck zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger anfänglich mildern. Diese Variante liegt auf der Linie von Fischedick *et al.*, die für eine forcierte Ausschöpfung zuerst der Effizienzpotenziale und dann der erneuerbaren Energiepotenziale plädieren. Eine derart hohe Abnahme der Energieintensität im laufenden Jahrzehnt scheint jedoch ausgeschlossen.

#### 5.3 Radioaktivität und Sicherheit

#### 5.3.1 Radioaktivität

#### **Absoluter Zielwert**

Für den Indikator "hochradioaktive Abfälle" liegt der absolute Zielwert – geht man von einer strikten und konsequenten Auslegung des Postulats aus, von dem er sich herleitet – bei 0. Als Schadstoffe mit extrem langer Abbauzeit gilt es, die Produktion hochradioaktiver Abfälle zu verhindern. Diese Abfälle stellen – auch unter der Annahme optimaler technischer Entsorgungslösungen – über Jahrtausende ein gewisses Risiko dar, welches nur durch Einstellung von deren Produktion gänzlich zu eliminieren ist.

Ein Zielwert von 0 ist allerdings in mehrfacher Hinsicht wegen bestehender Zielkonflikte zu anderen Leitindikatoren und Kriterien problematisch. Zunächst einmal scheint ein solcher absoluter Zielwert die Notwendigkeit des Ausstiegs aus der Kernenergie zu implizieren. Diese Schlussfolgerung ist jedoch falsch, da die Kernenergie bezüglich dieses Indikators auch trotz des Zielwerts 0 nachhaltig sein könnte, wenn es gelänge, die Radioaktivität des Abfalls und damit seine notwendige Einschlusszeit technisch zu vermindern. Zugestandenermassen setzt aber ein solcher Zielwert die Kernenergie als Energieform unter erheblichen Druck.

Ein Ausstieg aus der Kernenergie hätte des weiteren eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zur Folge, sofern die dadurch entstehende Stromlücke nicht durch Einsparungen geschlossen werden kann oder der Kernenergiestrom nicht durch erneuerbaren Strom substituierbar ist. Dieser Zielkonflikt ist sehr ernst zu nehmen, da der Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen höchste Priorität zukommt. Wie die aus aktuellem Anlass der beiden im Mai 2003 zur Abstimmung gelangenden Kernenergieinitiativen durchgeführten Untersuchungen zu den Folgen eines Ausstiegs aus der Kernenergie gezeigt haben, ist dieser durch den Import von Windstrom zwar CO<sub>2</sub>-neutral zu bewerkstelligen, mit kumulierten Mehrkosten von 10–20 Mrd. Fr. bis 2030 allerdings nicht gratis (Kessler *et al.* 2002). Unbestimmt fällt das Ergebnis einer Kosten-Nutzen-Analyse des Ausstiegs aus wegen der erwähnten Unsicherheit der Bewertung der Risikoaversion bzw. des mit einem Rückgang des Risikos verbundenen Nutzens.

Eine weitere Folge eines Ausstiegs aus der Kernenergie wäre eine Verminderung der Diversifikation der Energieversorgung. Obwohl kein Leitindikator, würde dies die Nachhaltigkeit der Energieversorgung beeinträchtigen. Vermutlich wäre die Erhöhung des Importanteils unvermeidlich, da nicht zu erwarten ist, dass der Stromangebotsausfall durch inländisch erzeugten erneuerbaren Strom aufgefangen werden könnte. Ganz generell hat

zudem natürlich jede Elimination einer energietechnologischen Option eine Verringerung der Entscheidungsfreiheit der Wirtschaftssubjekte zur Folge.

#### Politischer Zielwert

Das politische Nachhaltigkeitsziel sollte deshalb in Abschwächung des absoluten Zielwerts darin bestehen, soweit es für wirtschaftlich, gesellschaftlich und ökologisch vertretbar gehalten wird, die Produktion hochradioaktiver Abfälle bis 2050 zu minimieren. Die Gefährdung durch die Emission von Treibhausgasen und die Produktion äusserst langlebiger Abfälle lässt sich nicht gegeneinander ausspielen. Den Nachteil fossiler Energien zum Vorteil der Kernenergie hochzustilisieren, ist vom Standpunkt der Nachhaltigkeit aus ebenso wenig sinnvoll, wie es der umgekehrte Vorgang wäre. Eine politische Abwägung mag das Ergebnis erbringen, dass gegenwärtig die Bekämpfung des Klimawandels eine grössere Priorität geniessen sollte als der Ausstieg aus der Kernenergie. Die Einstellung der Produktion hochradioaktiver Abfälle muss aber Zielpunkt eines langfristig nachhaltigen Energiesystems bleiben, weshalb die Auswirkungen eines Ausstiegs jederzeit der Prüfung bedürfen, sofern sich keine gangbare technische Lösung zur erheblichen Verringerung der nötigen Einschlusszeiten abzeichnet.

#### 5.3.2 Sicherheit

Auch für den Indikator "Anzahl Anlagen mit potenzieller Schadensdauer im Falle eines GAU von über 30 a" gilt ein absoluter Zielwert von 0. Dies folgt eindeutig aus dem Postulat, aus welchem der Indikator abgeleitet wurde. Die einzige Energieerzeugungstechnologie, die momentan in bezug auf diesen Indikator relevant ist, ist die Kernenergie, da vermutlich selbst grosse Stauanlagen im Falle eines Dammbruchs keine so langanhaltenden Schäden zur Folge hätten.

Wie bereits beim Indikator "hochradioaktive Abfälle" bedeutete auch hier der absolute Zielwert scheinbar das Aus für die Kernenergie: Es ist jedoch durchaus denkbar, dass mit sogenannten inhärent sicheren Reaktorkonzepten Schadensdauern von über 30 Jahren im Falle eines GAU vermieden werden könnten. Auch bezüglich dieses Indikators könnte also die Kernenergie trotz des Zielwerts 0 zumindest im Prinzip als nachhaltig gelten.

Ansonsten ist aber wie beim Kriterium Radioaktivität klar, dass ein solcher Zielwert einen erheblichen Druck zum Ausstieg aus der Kernenergie erzeugt. Die Argumente gegen einen Ausstieg bleiben dabei dieselben wie die bereits im vorhergehenden Abschnitt aufgeführten. Dasselbe gilt für die Argumentation, warum ein politischer Zielwert nicht fixiert werden, sondern durch die Forderung ersetzt werden sollte, die Zahl solcher Anlagen bis 2050 zu minimieren.

#### 5.4 Preise und Solidarität

#### **5.4.1** Preise

Für den Indikator zu den Energiepreisen lässt sich **kein plausibler absoluter Zielwert** definieren. Nur die Entwicklungsrichtung ist unstrittig: Die mittleren Konsumentenpreise für die Leitenergieträger Heizöl, Benzin und Strom sollten sowohl für Haushalte wie auch für Unternehmen jeweils möglichst tief liegen. Daraus kann aber nicht gefolgert werden, ein Energiesystem sei erst nachhaltig, wenn Energie gratis zur Verfügung gestellt wird.

Am offensichtlichsten treten die Zielkonflikte innerhalb der Leitindikatoren beim Preisindikator zutage. Ein forcierter Einsatz effizienterer Energietechnologien und erneuerbarer Energien wird voraussichtlich Mehrkosten verursachen. Um dennoch einen Anreiz für deren Einsatz zu schaffen, bietet sich die Erhöhung der Preise der Leitenergieträger als Massnahme an.

#### 5.4.2 Solidarität

Für den Indikator zur Solidarität gilt das bereits oben für den Preisindikator Gesagte: Ein absoluter Zielwert existiert nicht, wohl jedoch eine erwünschte Entwicklungsrichtung. Der Anteil der Energiekosten (abzüglich Rückverteilung aus Lenkungsabgaben) sollte auch für Haushalte mit geringem Einkommen möglichst tief liegen.

Als politischen Zielwert schlagen wir vor, dass der Anteil der Energiekosten am untersten Dezil der Haushaltseinkommen gegenüber ihrem Stand heute langfristig nicht zunehmen sollen. Eine solche Fixierung des Status quo mag auf den ersten Blick unangemessen erscheinen, wo sich doch heute die Anteile der Energiekosten auf einem historisch äusserst tiefen Niveau bewegen. Anders als bei den Durchschnittshaushalten mündet ein solcher Zielwert aber nicht in einer Bevormundung der Konsumenten, sondern ist vielmehr Garant dafür, dass die mit vermutlich steigenden Energiekosten verbundene nachhaltige Energieversorgung und –nutzung die untersten Haushaltseinkommen nicht ungebührlich belastet.

## 5.5 Zielkatalog für ein nachhaltiges Schweizer Energiesystem

Tabelle 14 fasst die vorgeschlagenen Indikatoren und Zielwerte nochmals zusammen.

Indikatoren	Ziel- richtung	Zielwert absolut	Zielwert 2020	Zielwert 2050
Anteil erneuerbarer Energien am EEV [%]	仓	100%	24%	55%
Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen [Mt/a]	Û	10 Gt/a <sup>a</sup>	36 <sup>b</sup>	16 <sup>b</sup>
Hochradioaktive Abfälle [m³/a]	Û	0	möglichst klein	möglichst klein
Mittlere Konsumentenpreise für Leitenergieträger [Fr./kWh]	Û	n.v.	möglichst klein	möglichst klein
Energieintensität [MJ/Fr. <sub>2000</sub> ]	Û	n.v.	1.41	0.77
Anteil der Energiekosten am untersten Dezil der Haushaltseinkommen [%]	Û	n.v.	nicht höher als heute	nicht höher als heute
Anzahl Anlagen mit potenzieller Schadensdauer im Falle eines GAU von über 30 a [–]	Û	0	möglichst klein	möglichst klein

Globalziel. Das Schweizer Ziel leitet sich daraus ab durch Multiplikation mit dem Anteil der Schweizer an der Weltbevölkerung.

Tabelle 14: Vorschlag für Nachhaltigkeitsindikatoren und Zielwerte für den Schweizer Energiebereich (n.v. = nicht verfügbar)

Die aufgeführten Leitindikatoren stellen, wie dargelegt, ein Kernset dar, welches vor allem für die Beschreibung des gesamten Energiesystems auf aggregierter Ebene geeignet ist. Die absoluten Zielwerte charakterisieren nach heutigem Wissensstand ein nachhaltiges Energiesystem Schweiz. Sie sagen nichts darüber aus, bis wann diese Ziele erreicht werden können, und auch nichts darüber, mit welchen Mitteln wie schnell welche der Ziele erreicht werden sollen. Grundsätzlich gilt für sie lediglich: je früher, desto besser.

Ein Vergleich der drei quantifizierten politischen Zielwerte bis 2050 für die Indikatoren Energieintensität, energetische CO<sub>2</sub>-Emissionen und Anteil erneuerbare Energien am EEV mit den in Abschnitt 4.2.4 erwähnten Studien zeigt zum Teil deutliche Abweichungen: Dort wurden tiefere CO<sub>2</sub>-Emissionsziele, tiefere End- oder Primärenergieverbräuche und höhere Anteile an erneuerbaren Energien hergeleitet. In jenen Studien wurden aber technische Potenziale oder ökologische Notwendigkeiten mit nur geringem Bezug zur Realität diskutiert. Die Studien zeigen allenfalls technisch erreichbare Ziele auf, aber kaum politisch akzeptable. Auch zum Erreichen der hier vorgeschlagenen Zielwerte bedarf es zweifelsohne eines gewaltigen politischen und gesellschaftlichen Efforts. Es wird Aufgabe des Gesamtprojekts sein, zu zeigen, ob und inwieweit auch sie jenseits von Gut und Böse sind. In diesem Sinne sind die Zielwerte ein erster, begründeter Input für ein iteratives Verfahren, aus welchem sich politisch akzeptable Zielwerte herausschälen sollten.

b. Inklusive internationale Flugreisen der Schweizer Wohnbevölkerung.

Die hier als politisch bezeichneten Ziele für das Jahr 2050 sind ein Abbild dessen, was bis zu diesem Zeitpunkt für grundsätzlich realisierbar und im Hinblick auf Nachhaltigkeit für erstrebenswert gehalten wird. Weder ist klar, ob die Ziele bis zum gewählten Zeitpunkt tatsächlich erreicht werden können, noch auch, mit welchen Mitteln sie erreicht werden sollen. Klar ist einzig, dass die Leitindikatoren mit ihren Zielwerten die Rahmenbedingungen vorgeben, unter denen es nun die Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen zu optimieren gilt. Diese führen im Idealfall zur gleichzeitigen Realisierung der Zielwerte aller Leitindikatoren. Die Bewertung der Massnahmen im einzelnen erfolgt dann mit Hilfe der Evaluationsindikatoren, die eine Minimierung der ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Wirkungen sicherstellen, soweit diese nicht mit den Leitindikatoren erfasst sind.

Die in diesem Kapitel diskutierten Zielkonflikte zwischen den einzelnen Zielsetzungen für die Leitindikatoren zeigen jedoch, dass ohne deren politische Gewichtung gegeneinander eine Hierarchisierung von Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen nicht möglich sein wird. Unausweichlich stellt sich die Frage, wie hoch die, im umfassenden Sinne verstandenen, Kosten der verschiedenen Nachhaltigkeitsszenarien sind und wer diese Kosten trägt. Eine Abwägung zwischen ihnen und mithin eine Entscheidung über die Allokation politischer und finanzieller Ressourcen macht eine politische Gewichtung des obigen Zielkatalogs erforderlich. Die ökologischen Ziele werden nur zulasten der Energiekosten zu erreichen sein, sei es, weil sich die Kosten der Energieversorgung erhöhen, sei es, weil höhere Fiskalabgaben auf Energie eingeführt werden. Das gleiche gilt offensichtlich auch für die Internalisierung der externen Kosten des Energiesystems. Wesentliche Aufgabe des Gesamtprojektes wird deshalb sein, aufzuzeigen, ob und mit welchen Auswirkungen verschiedene Zielpfade bis 2050 eingeschlagen werden können, um so die Grundlage zu schaffen für eine Entscheidung darüber, welche Zielpfade zu bevorzugen sind.

Es ist Aufgabe des Gesamtprojektes, realisierbare Strategien und Massnahmen zu entwickeln, mit denen die hier formulierten Zielwerte für die Leitindikatoren zur Nachhaltigkeit erreicht werden können. Dem Gesamtprojekt ist es auch vorbehalten, die Auswirkungen dieser Massnahmen nicht nur anhand der Leitindikatoren, sondern auch fallspezifisch unter Zuhilfenahme von Evaluationsindikatoren aufzuzeigen. Dasselbe gilt für die eingehende Analyse der sich ergebenden Zielkonflikte.

# 6 Ziele und Struktur des Gesamtprojekts

# 6.1 Nutzen des Gesamtprojektes

Wir rekapitulieren nochmals die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen im Hinblick auf die vier Kriterien, die wir zur Bestimmung des Nutzens des Gesamtprojektes in Anschlag bringen:

- 1. Relevanter Handlungsspielraum/-bedarf innerhalb Europas: Die Analyse in Teil I hat ergeben, dass sich einzelne EU-Staaten zwar n\u00e4her mit der Frage einer langfristig auf Nachhaltigkeit ausgerichteten Energiepolitik zu besch\u00e4ftigen beginnen, dies jedoch noch ohne politische Verbindlichkeit. Die bereits enge wirtschaftliche und insk\u00fcnftig enger werdende politische Verflechtung der Schweiz mit Europa grenzt den autonomen Handlungsspielraum der Schweiz im Hinblick auf eine langfristige Nachhaltigkeitspolitik gewiss ein. Auch der technische Fortschritt wird weitgehend durch die internationale Entwicklung bestimmt. Die Schweiz kann aber die Geschwindigkeit der Umsetzung der technischen Potenziale selbst bestimmen. Eine Vorreiterrolle birgt dabei ebenso Chancen und Risiken, wie sie sich auf der Ebene innovativer Produkte jeweils den "First Movers" bieten. Die besonderen naturr\u00e4umlichen Voraussetzungen der Schweiz unterstreichen andererseits den Bedarf nach einer gesonderten Betrachtung. Eine fr\u00fchzeitige Ausrichtung der Schweiz auf eine langfristige Perspektive im Energiebereich ist trotz der Eingebundenheit in den europ\u00e4ischen Raum m\u00f6glich und n\u00fctzlich.
- 2. Existenz signifikanter Forschungslücken aus Sicht der Energiepolitik: Die Teile I und II dieses Berichtes haben gezeigt, dass die Nachhaltigkeitsziele nicht von selbst erreicht werden, dass diese Ziele ambitiös sind und dass zur Zeit noch nirgends eine Strategie implementiert wird, die Chancen hat, diese Ziele zu erreichen Trotz einer nahezu unüberschaubaren Literaturfülle besteht nach wie vor Forschungsbedarf in bezug auf die Frage, wie ein langfristig nachhaltiges Energiesystem erreicht werden kann.
- 3. Möglichkeit sinnvoller Aussagen über 50 Jahre: Mit der Methode des Backcasting, auf die wir weiter unten zu sprechen kommen, steht eine Möglichkeit zur Verfügung, wegleitende und sinnvolle Aussagen zu treffen, wie die in Teil III formulierten Nachhaltigkeitsziele für das Jahr 2050 erreicht werden können. Das Gesamtprojekt zeigt auf diese Weise, warum die Ausrichtung auf solch langfristige Ziele bereits heute erforderlich ist und welche Nutzen ein frühzeitiges Einschwenken auf einen langfristigen Zielpfad mit sich bringt.
- 4. Entwicklung politisch, ökonomisch und gesellschaftlich robuster Verfahren der Planung/Prüfung/Steuerung: Auch wenn es vermessen scheint, Politik für einen schier unüberschaubaren Zeitraum gestalten zu wollen, wo doch vieles im Alltagsge-

rangel kaum eine Legislaturperiode überdauert, sind wir im Laufe der Bearbeitung dieses Pilotprojektes zur Ansicht gelangt, dass der **Sinn und Wert des Gesamtprojektes** gerade darin liegt aufzuzeigen, wie eine auf das Zieljahr 2050 ausgerichtete nachhaltige Energiepolitik als konkreter Prozess in der Schweiz gestaltet werden kann.

Wie ist vorzugehen, um die Grundlage für die Etablierung eines solchen konkreten Prozesses zu liefern? Das Gesamtprojekt muss dazu aufzeigen, mit welchen energiepolitischen Basisstrategien die in Teil III entwickelten Nachhaltigkeitszielwerte für 2050 zu erreichen sind. Zudem muss es optimale Bündel von Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen ausarbeiten, um den Basisstrategien zur Realisierung zu verhelfen. Zu diesem Prozess der Strategiefestlegung und Umsetzung kann das vorliegende Projekt einen wichtigen Beitrag leisten:

- Energiepolitische Basisstrategien: Basisstrategien sind beispielsweise: erneuerbare vs. nicht-erneuerbare Energieträger; fossile vs. nukleare Stromerzeugung; Senkung des Energieverbrauchs vs. Aufrechterhaltung oder sogar Steigerung unter Minimierung der negativen Umweltauswirkungen; Eigenproduktion vs. Import. Das Gesamtprojekt soll aufzeigen, welchen Beitrag die Basisstrategien zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele leisten können. Welche Zielkonflikte ergeben sich, was sind die Kosten und wer trägt sie?
- Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen (SRM): Das Projekt soll aufzeigen, welche Bündel von SRM am besten geeignet sind, um den gewählten Basisstrategien zum Durchbruch zu verhelfen.

Es wäre vermessen, mit dem Projekt eine bis 2050 gültige Nachhaltigkeitsstrategie vorzubereiten und damit gleichsam sämtliche wesentlichen energiepolitischen Entscheide bis 2050 vorzuspuren. Vielmehr soll das Projekt eine *aus heutiger Sicht* optimale Strategie aufzeigen und damit zunächst sicherstellen, dass die Anforderungen der Nachhaltigkeit schon in die heute und morgen anstehenden energiepolitischen Entscheide mit langfristiger Tragweite einfliessen. Tatsächlich wird sich vermutlich keine einzige einzelne Basisstrategie als klar die "beste" erweisen. Vielmehr ist zu erwarten, dass jede der oben genannten Basisstrategien ihre Vor- und Nachteile in Bezug auf die einzelnen Nachhaltigkeitsindikatoren aufweisen wird. Die Offenlegung andauernder Zielkonflikte ist eine entscheidende Grundlage für einen transparenten politischen Gewichtungs- und Entscheidungsprozess.

Entscheidend ist zum zweiten, dass eine wie auch immer geartete Strategie möglichst revidierbar und lernfähig ausgestaltet wird. Dazu müssen die Interdependenzen offengelegt werden zwischen der Wirksamkeit und den Nebenwirkungen der analysierten Strategien und exogenen Grössen wie beispielsweise den internationalen Energiepreisen, der internationalen Klimapolitik und dem technologischen Fortschritt. Damit wird die Grundla-

ge gelegt, um die gewählte Strategie inklusive der Nachhaltigkeitsziele bis 2050 periodisch an neue Entwicklungen und Erkenntnisse anzupassen.

Das **Ziel des Gesamtprojekts** besteht in der Bereitstellung von Grundlagen, mit welchen ein bestimmtes Bündel von Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen geschnürt werden kann, um die für den Energiebereich formulierten Nachhaltigkeitsziele für 2050 zu erreichen. Dieses Bündel kann langfristig, begleitet durch einen Monitoring- und Evaluationsprozess, umgesetzt und periodisch den Erkenntnissen und Erfordernissen angepasst werden.

Voraussetzung dafür, dass das Gesamtprojekt seinen Nutzen entfalten kann, ist in jedem Fall die Herstellbarkeit eines politischen Konsenses darüber, dass überhaupt Langfristziele angestrebt werden sollen. Die Einsicht muss mehrheitlich vorhanden sein, dass das Energiesystem eine Langfristperspektive benötigt und auch ermöglicht, und dass heutige politische Entscheidungen Wirkungen aufweisen, die die Gestalt des Energiesystems in 50 Jahren durchaus zu beeinflussen vermögen und dass diese Entscheidungen nötig sind, um dieLangfristziele zu erreichen. Die Langfristziele selbst sollen zwar lediglich indikativen Charakter haben, indem sie revidierbar, an neue Erkenntnisse und gewandelte Vorstellungen anpassbar bleiben müssen; ohne eine gewisse politische Verbindlichkeit würden sie aber papieren bleiben.

# 6.2 Grenzen des Gesamtprojektes

Die Erwartungen an das Gesamtprojekt sind hoch gesteckt. Es ist daher wichtig festzuhalten, welche Ziele das Gesamtprojekt unseres Erachtens nicht erfüllen kann oder gar nicht erfüllen soll:

- Getreue Abbildung der Komplexität: Neben der Langfristigkeit, die eine im Lauf der Zeit zunehmende Ungewissheit mit sich bringt, ist die Komplexität der gesellschaftlichen, ökonomischen und politischen Dynamik die Hauptherausforderung für das Gesamtprojekt. Diese lässt sich in Modellen nur abbilden, wenn ihre Gesetzmässigkeiten verstanden sind. Das ist aber bestenfalls ansatzweise der Fall. Dieser Befund gilt auch für andere Politikfelder wie Steuer-, Sozial-, Gesundheits- oder Agrarpolitik. Hier liegt also eine klare Grenze des Gesamtprojekts, an das in dieser Hinsicht nicht zu hohe Anforderungen gestellt werden dürfen.
- Einfluss sozialer und wirtschaftlicher Entwicklung auf das Energiesystem: Trotz
  des beträchtlichen Umfangs des Gesamtprojekts werden Fragen nach der Wechselwirkung zwischen dem Wandel von Gesellschaft und Wirtschaft und der Gestalt des
  Energiesystems (Energieverbrauch, Energiemix) offen bleiben. Das Gesamtprojekt
  wird hier pragmatisch verfahren müssen, da es die Natur dieser Wechselwirkung nicht

in gebührender Tiefe wird ergründen können. Es kann jedoch versuchen, den Grundstein für ein Verfahren zu liefern, welches, wenn es in einem politischen Prozess institutionalisiert wird, ermöglichen würde, den Wandel in der Wahl der Instrumente zu berücksichtigen, mit denen das nachhaltige Energiesystem verwirklicht werden soll.

Entwicklung neuer Ansätze und Methoden: Beschränkt sich das Gesamtprojekt auf die praktische Seite der Etablierung einer langfristigen Energiepolitik, mag es sich damit bis zu einem gewissen Grad einem Trivialitätsvorwurf aussetzen. Das Gesamtprojekt kann jedoch durchaus auf bewährte, auch in der Schweiz bereits bestens etablierte Methoden zurückgreifen. Neue Ansätze sind dafür nicht zwingend erforderlich, aber auch nicht per se hinderlich.

Auf zwei grundlegende theoretische Fragenkomplexe soll hier kurz eingegangen werden, deren Behandlung im gegebenen Kontext dringlich, im Rahmen des Gesamtprojektes aber verfehlt wäre, da sie dessen Dimensionen sprengen würden:

1. Ökonomische Grundlagenforschung: Eine zentrale Frage ist die nach den Wechselwirkungen zwischen Wirtschaftswachstum und Höhe und Art des Energieverbrauchs, auf die auch in der Ausschreibung mehrfach Bezug genommen wird. Heute gilt das wissenschaftliche Erkenntnisinteresse vornehmlich der Ermittlung der Faktoren, die Wachstum generieren, und deren gezielter Beeinflussung. Modelle für eine Wirtschaft ohne BIP-Wachstum werden in der Wissenschaft kaum je diskutiert. Zwar wird die Verwendung des BIP als Indikator für gesellschaftlichen Wohlstand von manchen kritisiert; Das hat aber bisher wenig an der Ausrichtung auf das BIP(-Wachstum) geändert.

Offen ist, wie und ob eine Wirtschaft langfristig wachsen kann, ohne den Fluss von Materie oder Energie ins Wirtschaftssystem zu vergrössern, und ob eine funktionsfähige, die Bedürfnisse der Menschen befriedigende Wirtschaft des Wachstums überhaupt bedarf. Diese Frage weist über den Kontext der Energie und auch der Schweiz hinaus, wirft verteilungspolitische Fragen und grundlegende, sehr schwer zu beantwortende Fragen bezüglich der Dynamik einer langsam oder nicht wachsenden Wirtschaft auf den technischen Fortschritt und die Erneuerung auf. Antworten hierzu können innerhalb des Gesamtprojekts höchstens ansatzweise erwartet werden.

2. Transdisziplinäre Forschung: Allgemein wird darunter Forschung verstanden, die sich mit wissenschaftsextern wichtigen Problemen befasst. Gestalt und Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung und –nutzung kann in diesem Sinne als Gegenstand transdisziplinärer Forschung angesehen werden. Es stellen sich hier Fragen, auf die nach rein disziplinären Kriterien erarbeitete Antworten keine gesellschaftlich sinnvollen Ergebnisse bringen.

Im Kontext der nachhaltigen Energieversorgung und –nutzung dürfte die Schnittstelle zwischen Effizienz und Suffizienz ein zentrales Betätigungsfeld für transdisziplinäre Forschung sein (Enquete 2002, S. 633 f.). Ausgangspunkt ist die Erkenntnis, dass "die

Analyse verhaltensbedingter Potenziale für die Realisierungsbedingungen nachhaltiger Energiesysteme von herausragender Bedeutung ist. (...) Der szenariengestützte "Nachweis' der technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit eines nachhaltigen Energiesystems kann für die tatsächliche Realisierbarkeit und die gesellschaftliche Akzeptanz einer Nachhaltigkeitsstrategie nur wichtige Denkanstösse und Sachinformationen liefern. (...) Das durchgängig technische Verständnis von Innovation und Effizienz [muss] in einem interdisziplinären Ansatz auf seinen gesellschaftlichen Kontext, seine sozioökonomischen Implikationen und auf seine gesellschaftlichen Realisierungsbedingungen hinterfragt werden." Aus diesem Grund fordert die Enquete-Kommission die Etablierung eines Forschungsprogrammes, das sich der Schnittstelle zwischen Effizienz und Suffizienz widmet. Dieser Befund kann auch für die Schweiz Gültigkeit beanspruchen. Auch hier können im Rahmen des Gesamtprojekts allenfalls ansatzweise Antworten erwartet werden.

# 6.3 Backcasting als Grundansatz

Grundanliegen des vorliegenden Projektes ist die Entwicklung einer Strategie, mit der die Nachhaltigkeitsziele des Energiebereichs bis 2050 erreicht werden. Dieser Grundgedankte führt auf die bekannte Methode des "Backcasting". Dabei werden Zielszenarien, bei denen die Nachhaltigkeitsziele erreicht werden, mit einem Referenzszenario verglichen. Jedes Zielszenario setzt die Anwendung eines Bündels von Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen voraus, das über den Status quo des Referenzszenarios hinausgeht. Dieses Bündel gilt es zu identifizieren und in seinem Erfolg periodisch zu evaluieren.

Ein Zielszenario stellt aber nicht einfach den Gang in eine mögliche Zukunft dar, sondern den Gang in eine explizit gewünschte Zukunft. Jedes Zielszenario steht für einen eigenen Pfad zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele. Der Vergleich verschiedener, in sich konsistenter Zielszenarien vermag aufzuzeigen, in welchen Bandbreiten sich zukünftige Entwicklungen abspielen können. In einem gesellschaftlichen und politischen Diskurs können so die Vor- und Nachteile dieser Pfade diskutiert und evaluiert werden, die zweifelsohne je unterschiedliche Gewinner und Verlierer hervorbringen und auch mit je unterschiedlichen Kosten verbunden sein werden.

Bevor wir im einzelnen schildern, welche Fragestellungen mit welchem Vorgehen und welchen Methoden im Gesamtprojekt zu bearbeiten sind, um dem genannten Zweck nachzukommen, wollen wir das Gesamtprojekt in einen grösseren Zusammenhang einbetten. Abbildung 11 zeigt in Anlehnung an eine generelle methodische Empfehlung der OECD (2001) einen Backcasting-Prozess, mit dem das Schweizer Energiesystem langfristig auf Nachhaltigkeit ausgerichtet werden könnte.

"Mit Hilfe eines Szenarios wird die zukünftige Entwicklung einiger interessanter Grössen dynamisch berechnet. Ein Szenario ist eine Festschreibung eines Teils der zukünftigen Entwicklung, quasi ein Drehbuch der Zukunft." (Enquete 2002, S. 656)

Das "Backcasting" bildete insbesondere die Grundlage des EST-Projekts der OECD (2002), und auch die Vorgehensweise der deutschen Enquete-Kommission zur nachhaltigen Energieversorgung kann als ein "Backcasting" angesehen werden

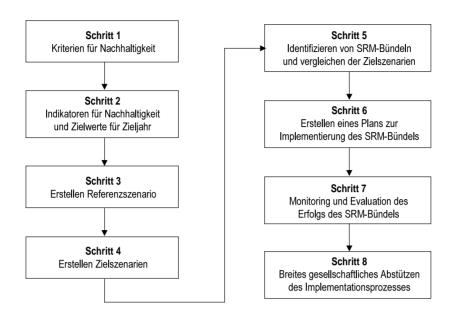


Abbildung 11: Ablauf der Schritte zur Etablierung einer langfristigen Nachhaltigkeitsstrategie auf Basis eines Backcasting (eigene Darstellung in Anlehnung an OECD 2001)

Die ersten beiden Schritte dieses Prozesses wurden in Teil III der vorliegenden Studie bereits abgehandelt.<sup>37</sup> Unseres Erachtens sollten im Gesamtprojekt die Schritte 3 bis 5 behandelt werden. Die Ergebnisse des Gesamtprojektes sollten aber in Voraussicht auf die noch zu absolvierenden Schritte 6 und 7 möglichst anschlussfähig und praxisnah gestaltet und formuliert werden.

Die nachstehend beschriebenen Schritte 3 bis 5 bilden demnach den Gegenstand des Gesamtprojekts:

• Schritt 3: Ein Szenario ist zu entwerfen, welches die absehbaren technologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Trends bis zum Zieljahr fortschreibt.<sup>38</sup> Dieses Referenzszenario ist zu verstehen als ein Business-as-usual-Szenario (BAU). Es soll von gegenwärtigen, geplanten und heute voraussehbaren technischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Entwicklungen ausgehen. In Bezug auf die Energiepolitik ist von den heute realisierten und beschlossenen Massnahmen auszugehen.

Die Formulierung des BAU-Szenarios erfordert hohe Sorgfalt und ist breit abzustüt-

"Wesentliche Voraussetzung, um Strategien für die nachhaltige Gestaltung der Energiewirtschaft der Zukunft entwickeln zu können, sind Vorstellungen darüber, wohin die Fortsetzung bisheriger und künftig zu erwartender Trends der demographischen, der sozialen, der technisch-ökonomischen und der politischen Einflussfaktoren bis zum Jahr 2050 führen mag." (Enquete 2002, S. 254)

In Schritt 1 gilt es gemäss OECD (2001) zu definieren, wie sich die Nachhaltigkeit eines Energiesystems als ganzes charakterisieren lässt. Dazu sind Kriterien zu bestimmen, die die wesentlichen, den Energiebereich betreffenden Postulate der Nachhaltigkeit zu erfassen vermögen. Absolute Schutzziele sollen formuliert werden, wo es möglich ist. Postulate, Kriterien und selbst die absoluten Ziele sind dabei als aufgrund neuer Werthaltungen und wissenschaftlicher Erkenntnisse revidierbar zu verstehen. In Schritt 2 sind für die im ersten Schritt ausgewählten Kriterien Indikatoren zu bilden. Es sind ein Ausgangs- und ein Zieljahr zu bestimmen. Für die Indikatoren sind Zielwerte für das Zieljahr festzulegen sowie zu erreichende Zwischenwerte auf dem Weg dorthin. Wenn nicht anders möglich, können Zielwerte als relative Veränderungen gegenüber dem Ausgangsjahr festgelegt werden. Auch die Zielwerte und der Fahrplan sind als revidierbar zu verstehen.

zen, damit es nicht ungebührlich pessimistisch oder optimistisch ausfällt. Je weiter das Zieljahr entfernt ist, desto schwieriger ist seine Formulierung, da die Entwicklung mit zunehmender Zeitdauer so ungewiss wird, dass das BAU-Szenario möglicherweise kaum mehr vernünftig gegen andere Szenarien abgegrenzt werden kann.

Zumindest für die gewählten Nachhaltigkeitsindikatoren ist die sich ergebende Entwicklung aufzuzeigen. Dazu ist dem Szenario ein Modell zugrundezulegen, welches den Teil des sozioökonomischen Systems abzubilden versucht, der die Produktion und Nutzung von Energie beeinflusst.

- Schritt 4: Mehrere Szenarien sind zu entwerfen, mit welchen die für das Zieljahr gesteckten Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können. Diese Zielszenarien werden sich im wesentlichen danach unterscheiden, welche Technologien bzw. welche Energieträger in welchem Umfang zur Energieversorgung beitragen und wie gross der Beitrag allfälliger Verhaltensänderungen ist. Um sie mit dem Referenzszenario vergleichbar zu machen, sollten alle Szenarien auf denselben Modellstrukturen aufbauen und von identischen Rahmendaten ausgehen (z.B. Bevölkerungs-, Wirtschaftsentwicklung).<sup>39</sup>
- Schritt 5: Alle Zielszenarien müssen auf irgendwie gearteten politischen Interventionen basieren. Es sind deshalb Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen (SRM) zu entwickeln, mit deren Implementierung der vorgegebene Pfad von Nachhaltigkeitszielen abgeschritten werden kann. Mit den SRM sollen die technischwirtschaftlichen Potenziale von Energieproduktions-, -umwandlungs- und -nutzungstechnologien und damit die Investitionstätigkeit in Energieinfrastruktur beeinflusst werden sowie Art und Ausmass der Energiedienstleistungsnachfrage. Die einzelnen SRM sind anhand zusätzlicher Evaluationsindikatoren zu beurteilen.

Die SRM umfassen potenziell das gesamte Arsenal an Politikinstrumenten: regulatorische und fiskalische Massnahmen; Subventionen; Bildungs-, Forschungs- und Technologiepolitik; Kommunikation und Information; Massnahmen zur Stärkung von Kooperation und Freiwilligkeit. Für jedes Zielszenario ist ein Bündel von SRM zu schnüren, welches in sich konsistent und aufeinander abgestimmt ist, dessen Elemente komplementär sind und synergistisch wirken.

<sup>&</sup>lt;sup>39</sup> Es können auch verschiedene Modelle verglichen werden, indem diese je allen Szenarien zugrundegelegt werden

# 6.4 Struktur des Gesamtprojektes

Abbildung 12 zeigt unseren Vorschlag für die Strukturierung des Gesamtprojektes. Wir unterscheiden vier Module sowie zwei Querschnittsstudien, die in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert werden. Die Module überlappen teils in zeitlicher Hinsicht. Insbesondere sollen die Module A, B und C teils parallel laufen, um den gegenseitigen Austausch sicherzustellen. Modul A beginnt im Herbst 2003; Modul D wird 2005 abgeschlossen.

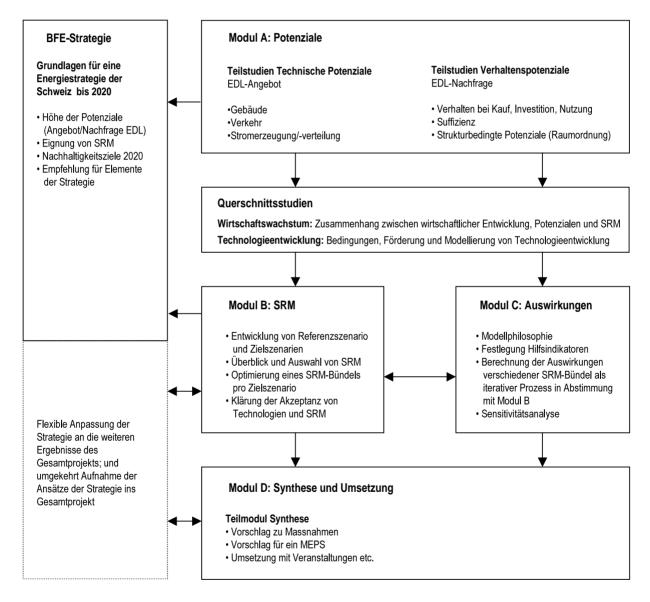


Abbildung 12: Vorgeschlagene Strukturierung des Gesamtprojektes

#### 6.5 Modul A: Potenziale

Dieses Modul dient der Quantifizierung der technisch-wirtschaftlichen und verhaltensbezogenen Potenziale für die nachhaltigere Gestaltung des Energiesystems. Vor diesem Hintergrund sehen wir im Modul A zwei Gruppen von Studien:

- 1. Bestimmung der technischen Potenziale für die Bereiche Gebäude, Verkehr, IGD und Stromerzeugung bzw. –verteilung. Das technische Potenzial einer Technologie sind grundsätzlich zu beziffern als spezifische Investitions- und Betriebskosten zu einem bestimmten Zeitpunkt sowie das quantitative Potenzial zur Anwendung der Technologie in der Schweiz. Zusätzlich sollen Lernraten bestimmt werden für jene Technologien, deren preisliche Entwicklung in relevantem Umfang vom Ausmass der Anwendung in der Schweiz abhängen. Dies im Hinblick auf eine mögliche Endogenisierung des Fortschritts dieser Technologien im Modul C. Für alle anderen, exogen bestimmten Technologien können preisliche Unsicherheiten im Rahmen von Sensitivitätsanalysen berücksichtigt werden.
- 2. Die Verhaltenspotenziale und strukturbedingten Potenziale sind analog zu bestimmen. Dazu gehört einerseits die Quantifizierung der möglichen Energieeinsparung und Umweltentlastung infolge von Verhaltens- und Strukturänderungen, und andererseits die mit der Ausschöpfung dieser Potenziale verbundenen Kosten. Hierzu sind neue Überlegungen anzustellen, die die Quantifizierung dieser Potenziale erlauben. Der Bereich der Suffizienzpotenziale ist separat zu behandeln.

#### 6.5.1 Studie A1: Technische Potenziale Gebäudebereich

#### **Motivation und Ziel**

Technologisch ist längerfristig von Null-Heizenergiegebäuden auszugehen, bei Neubauten schon ab 2010 bis 2020. Bei Dienstleistungsbauten stellt sich vielfach infolge innerer Lasten eher ein Kühlungsproblem im Sommer. Bei Erneuerungen wird jedoch das Null-Heizenergiegebäude bis auf weiteres schwieriger erreichbar bleiben. Langfristig stellt der Warmwasserverbrauch die Hauptherausforderung für die Reduktion der Wärmenachfrage im Gebäudebereich dar. Der Stromverbrauch im Gebäudebereich nimmt langfristig infolge neuer Haustechnikanwendungen, vermehrten Geräteeinsatzes, längeren Geräteeinschaltdauern und Stand-by-Verlusten sowie infolge neuer IT-Anwendungen (intelligent buildings) tendenziell weiter zu.

Ziele der Studie A1 sind eine quantitative Erfassung der technischen Potenziale im Gebäudebereich bis 2020 sowie Angaben, soweit möglich, zu den jeweiligen Lernkurven. Für den Zeitraum 2020 bis 2050 sind Überlegungen dazu anzustellen, wie sich die techni-

schen Potenziale von Kerntechnologien, welche erheblich zur CO<sub>2</sub>-Minderung beitragen können, entwickeln werden.

## Fragestellung und Aufgaben

Die Potenziale und Lernkurven für die (wärme-)relevanten Technologien des Gebäudebereichs sind zu quantifizieren. Zusätzlich sind folgende Fragen zu vertiefen:

- Null-Heizenergie-Neubauten: Bedeutung und Lösung der Lüftungsfrage (auch Kühlung im Sommer); Bedeutung und Einführungsgeschwindigkeit von hochwärmedämmenden Stoffen
- kollektive Wärmeversorgungssysteme: Welche Einsatzbereiche werden angesichts der langen Amortisationszeiten für kollektive Wärmeversorgungssysteme sinnvoll sein, bei einer erwarteten Entwicklung in Richtung Null-Heizenergie-Gebäude?
- Wärmeverbrauch: Wie sieht eine zweckmässige Langfriststrategie für die Deckung des Wärmeverbrauches für Warmwasser aus: Wärmepumpe, Sonne, Biomasse oder Brennstoffzelle? Eignung der diversen Technologien? Verbleibende langfristige Haupteinsatzgebiete für Brennstoffzellen (wohin mit der Abwärme?), Mikroturbinen und Biomassefeuerungen?
- Stromverbrauch: Braucht das Null-Heizenergiegebäude mehr oder weniger elektrische Energie (Zuwachs durch Lüftung und elektrische Nachheizung, Abnahme durch Wegfall von Pumpen und Brennern)? Kann das langfristige Potenzial für Stromverbrauchsminderungen bei Licht, Geräten, Haustechnik (nach 2020) die erwartete Zunahme der Energiedienstleistungsnachfrage in diesen Bereichen kompensieren?

#### Methoden

Literatur- und Datenbankauswertung; telephonische Interviews mit Spitzenforschern bzw. –unternehmen.

#### Verbindung zu anderen Modulen und Studien

Für die Gestaltung einer langfristig nachhaltigen Energieversorgung ist die Kenntnis der technischen Potenziale Voraussetzung. Zudem sollte bekannt sein, wovon die Entwicklung und Ausschöpfung technischer Potenziale abhängt. Diese Frage ist Gegenstand der Querschnittsstudie "Technologieentwicklung".

Die hier eruierten technischen Potenziale dienen als exogener Input für die in Modul B zu konstruierenden Szenarien und müssen in die später verwendeten Auswirkungsmodelle Eingang finden. Die Aussagen und Angaben sind daher frühzeitig auf die Bedürfnisse der

Bearbeiter der entsprechenden Studien abzustimmen. Zudem sind sie in der Form möglichst mit denen der Studien A2 bis A4 zu vereinheitlichen.

# 6.5.2 Studie A2: Technische Potenziale Bereich Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen

#### **Motivation und Ziel**

Bei dieser Studie geht es um zwei unterschiedliche Thematiken: zum einen um Querschnittstechnologien (vor allem Motoren, Kompressoren, Pumpen, Beleuchtung, Kühlen, Pressluft, Trocknen), die bei Betrieben im Bereich Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen (IGD) in Zukunft ein strategisch wichtiger Handlungsbereich sein werden; zum anderen um Potenziale zur Dematerialisierung (energie- und materialsparende Produktegestaltung) und zur Senkung des "grauen" Energieverbrauchs (Substitution energieintensiver Werkstoffe und Produktionsprozesse). Dabei ist der ganze Lebenszyklus von Produkten und Prozessen einzubeziehen. Aus energetischer wie auch aus stofflicher Sicht stellt sich die Frage, was nach Ablauf der Lebensdauer der Erstnutzung geschieht: Entsorgung, Verwertung, Wiederverwendung/Zweitnutzung? Bereits das "Integrierte Projekt Abfall" des Schwerpunktprogrammes Umwelt setzte sich mit einzelnen dieser Fragen auseinander.

Die Ziele sind analog zu Studie A1.

#### Fragestellung und Aufgaben

Für die folgenden Bereiche sind im Rahmen der Studie A2 die technischen Potenziale und Lernkurven anzugeben:

- Querschnittstechnologien: Bedeutung der diversen Querschnittstechnologien in der Schweiz (ausgehend von der künftigen Entwicklung der Branchenstruktur); langfristige Effizienzsteigerungspotenziale der bedeutungsvollsten Querschnittstechnologien; Substitutionsmöglichkeit einzelner Technologien
- Dematerialisierung: Substitutionspotenziale energieintensiver Werkstoffe/Technologien/

Prozesse mit Bedeutung für die Schweiz; Auswirkungen neuartiger Werkstoffe, Verbundmaterialien und –techniken auf die Wiederverwertungs- und Entsorgungsmöglichkeiten.

#### Methoden, Verbindungen

Analog zur Studie A1.

#### 6.5.3 Studie A3: Technische Potenziale Verkehrsbereich

#### **Motivation und Ziel**

Einiges spricht dafür, dass bei einer Gesamtbetrachtung Diesel- und Ottomotoren über 2020 oder 2030 hinaus am vorteilhaftesten sind. Elektrofahrzeuge sind auf absehbare Zeit wegen fehlender attraktiver Energiespeicher kaum eine Alternative. Hybridfahrzeuge mit Otto- oder Dieselmotoren leisten bestenfalls in einer Übergangsphase einen Beitrag an die Nachhaltigkeitsziele. Hybridfahrzeuge mit Brennstoffzellenantrieb benötigen eine aufwendige Brennstoffspeicherung oder Reformierung. Der Frage nach der langfristigen Wahl einer Alternative zu den fossilen Treibstoffen kommt daher grosse Bedeutung zu für die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele.

Die Verkehrstelematik hält potenziell zahlreiche Möglichkeiten bereit, die Verkehrsführung auf der Ebene des einzelnen Fahrzeuges, aber auch auf der Ebene der Verkehrsflüsse und bei der Logistik im Güterverkehr zu beeinflussen. Die Auswirkungen auf die Nachhaltigkeitsziele sind dabei jedoch noch unklar.

Bei Transportdistanzen über 1'000 km bestimmt die Technologieentwicklung im Flugverkehr die Möglichkeiten, diese Mobilitätsnachfrage stärker auf die Nachhaltigkeitsziele auszurichten. Bei geringeren Transportdistanzen besteht auch ökologisch ein Wettbewerb zwischen Hochgeschwindigkeits-Zugsverkehr und Flugverkehr.

Die Ziele sind analog zu Studie A1.

## Fragestellung und Aufgaben

Für die folgenden Bereiche sind im Rahmen der Studie A3 die technischen Potenziale und Lernkurven anzugeben:

- Antriebstechnologien motorisierter Individualverkehr: Diesel- und Ottomotorentechnologie; Elektrofahrzeuge, Hybridfahrzeuge (insbesondere mit Brennstoffzelle); welche Technologiepfade versprechen langfristig (> 2030) am meisten Erfolg?
- Kohlenstoffarme und erneuerbare Treibstoffe: Erdgas; Biotreibstoffe (bei Lebenszyklusbetrachtung und unter Beachtung ökologischer Randbedingungen für die Produktion von Biotreibstoffen); Wasserstoff; für alle Treibstoffe jeweils Diskussion der erforderlichen Infrastrukturen für Produktion, Verteilung und Speicherung sowie der Risiken.
- Verkehrstelematik: systematische Diskussion der Anwendungsmöglichkeiten und ihrer Auswirkungen auf Fahrleistungen und Energieverbrauch unter Beachtung der infrastrukturellen Voraussetzungen; schafft die Verkehrstelematik Voraussetzungen zu

Nutzungsintensivierungen durch verbesserte Fahrzeugnutzung und/oder durch verbesserte Auslastung (bzw. Reduktion von Fahrzeugfahrten)?

Hochgeschwindigkeitsverkehr (HGV): Entwicklung Flugzeugtechnologie bezüglich
Treibstoffeffizienz und Einsatz erneuerbarer Treibstoffe unter Berücksichtigung der
Anforderung maximaler Lärmvermeidung; Entwicklung HGV-Bahntechnologie; Vergleich von Kurz- bis Mittelstreckenflugverkehr (300–1'500 km) mit HGV-Bahnverkehr
(bei Lebenszyklusbetrachtung) unter Berücksichtigung der erforderlichen Infrastrukturaufwendungen; HGV-Substitutionsmöglichkeiten (z.B. durch IKT-Technologien).

## Methoden, Verbindungen

Analog zur Studie A1.

### 6.5.4 Studie A4: Technische Potenziale Bereich Stromerzeugung

#### **Motivation und Ziel**

Die Stromerzeugung basiert in der Schweiz auf den zwei Pfeilern Wasserkraft und Kernenergie. Ein Ausstieg aus der Kernenergie erfordert eine Ausschöpfung der technischen Potenziale für erneuerbare Stromerzeugung. Neue Technologien werden die Dezentralisierung der Stromerzeugung aus intermittierenden erneuerbaren Quellen ermöglichen. Die Möglichkeiten zur technischen Sequestrierung von CO<sub>2</sub> werden hier im Kontext der Stromerzeugung abgehandelt.

## Fragestellung und Aufgabe

Für die folgenden Bereiche sind im Rahmen der Studie A4 die technischen Potenziale und Lernkurven anzugeben:

- Erneuerbare: Wasserkraft, PV, Geothermie,
- WKK:
- Dezentralisierung: Wie gross wird der künftige Stellenwert von dezentralen Stromproduktionstechnologien im Gebäudebereich sein? Durchsetzungschancen der verschiedenen Technologien, Beurteilung dieser Technologien aus der Sicht der Nachhaltigkeitsziele 2050, Gestehungskosten, Auswirkungen auf die Elektrizitätsversorgung (Dezentralisierung, 'virtuelle Kraftwerke')?.

#### Zu ergänzen

## 6.5.5 Studie A5: Verhaltenspotenziale bei Kauf, Investition, Nutzung

#### Motivation und Ziel

Neben den technischen Potenzialen, die die Angebotsseite der Energiedienstleistungen betreffen, ist mit Verhaltenspotenzialen ein Ansatz gegeben, die Nachfrage nach Energiedienstleistungen (hier zunächst bei gegebenen Konsumpräferenzen) zu beeinflussen. Die entsprechenden Potenziale, die bei privaten, unternehmerischen oder staatlichen Kaufund Investitionsentscheidungen sowie bei der Nutzung (einschliesslich Wartung und Instandhaltung) energieverbrauchender Güter und Dienstleistungen liegen, werden als bedeutend eingeschätzt, sind aber bislang kaum quantifiziert.

Das Ziel von Studie A5 besteht daher zuerst einmal in der Klärung der methodologischen Fragen, die sich bei der Quantifizierung von Verhaltenspotenzialen stellen. Sodann ist das Ziel, die wichtigsten Verhaltenspotenziale zu eruieren und zu quantifizieren.

### Fragestellung und Aufgaben

Folgende Fragen stellen sich:

- Wie können Verhaltenspotenziale operationalisiert und prognostiziert werden?
- Wo bestehen im Hinblick auf eine nachhaltige Energienutzung bedeutende Verhaltenspotenziale?

Für die folgenden Bereiche sind im Rahmen der Studie A5 die Verhaltenspotenziale zu bestimmen:

- Kauf/Investition: Möglichkeiten zur Entscheidung für energieeffizientere oder emissionsärmere Technologie in den Bereichen der Studien A1-4.
- **Nutzung:** Möglichkeiten zur effizienteren Nutzung vorhandener Geräte, Fahrzeuge, Gebäude, Produkten, Anlagen in den Bereichen der Studien A1-4 (z.B. Eco-Drive, Car-sharing, Lüftungsverhalten in Gebäuden etc.).
- Nutzenäquivalenter Bezug von EDL: Möglichkeiten für einen nutzenäquivalenten Bezug von Energiedienstleistungen (z.B. Produkte mit geringerem Gehalt grauer Energie)

#### Methoden

Interdisziplinäre Zusammenarbeit von Soziologie, Psychologie, technischen Wissenschaften; Literaturauswertung; Experteninterviews.

#### Verbindung zu anderen Modulen und Studien

In die Gestaltung einer langfristig nachhaltigen Energieversorgung sollten die Verhaltenspotenziale explizit einbezogen werden. Die Frage nach der Entwicklung und Ausschöpfung der Verhaltenspotenziale wird in Modul B aufgenommen. Die Aussagen und Angaben sind auf die Bedürfnisse der Bearbeiter der Studien B1 und B2 abzustimmen.

#### 6.5.6 Studie A6: Suffizienzpotenziale

#### Motivation und Ziel

Durch gesellschaftlichen Wandel verändern sich die Werte und der Lebensstil der privaten, unternehmerischen und staatlichen Akteure und damit auch deren Konsumpräferenzen. In der Folge verringert sich die Nachfrage nach Energiedienstleistungen, weil ein bewusster Entscheid dazu vorgenommen wird. Während sich langfristig ein solcher Wandel autonom vollzieht, ist durchaus denkbar, dass entsprechende gesellschaftliche Lernprozesse – etwa durch Politik, Medien oder werteprägende Gruppen – auch gestaltbar sind (Suffizienzpotenziale).

Das Ziel der Studie A6 besteht zur Hauptsache darin, eine Vorstellung von Art und Ausmass der bislang nicht systematisch diskutierten Suffizienzpotenziale zu bekommen.

## Fragestellung und Aufgaben

Folgende Fragen stellen sich im Rahmen der Studie A6:

- Unter welchen Umständen können sich in einem dynamischen gesellschaftlichen Prozess nachhaltigere Präferenzstrukturen herausbilden? Gibt es historische Beispiele, aus denen sich etwas über diese Umstände lernen lässt?
- Gibt es Trends, die auf das Vorhandensein von Suffizienzpotenzialen hindeuten?
- Wo bestehen im Hinblick auf eine nachhaltige Energienutzung bedeutende Suffizienzpotenziale, und wie gross sind sie?

#### Methoden

Interdisziplinäre Zusammenarbeit von Soziologie und Ökonomie; Literaturauswertung; Experteninterviews.

#### Verbindung zu anderen Modulen und Studien

Analog zur Studie A5.

#### 6.5.7 Studie A7: Strukturbedingte Potenziale

#### **Motivation und Ziel**

Die Raumordnungspolitik hat langfristig einen beträchtlichen Einfluss auf die Entwicklung der Nachfrage nach Wohnfläche (über die Bauzonen und den Bodenpreis), auf die Art und Verteilung der Besiedelung, auf die Erschliessung des besiedelten Gebietes, auf das Angebot von öffentlichem Verkehr und auf die Nachfrage nach motorisiertem Individualverkehr. Ein Teil des raumordnungspolitischen Handlungsspielraumes ist auf der Instrumenten- oder Massnahmenebene im Modul Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen anzusiedeln.

Ziel der Studie A7 ist, die Energieeffizienzpotenziale der Raumordnungspolitik zu bestimmen.

## Fragestellung und Aufgabe

Der Zusammenhang von Siedlungsentwicklung und künftiger Verkehrs- und Gebäudeenergienachfrage ist zu analysieren. Die raumordnerischen Energieeffizienzpotenziale sind zu quantifizieren.

#### Methoden

Zu ergänzen

## Verbindung zu anderen Modulen und Studien

Analog zur Studie A5.

#### 6.6 Querschnittsstudien

#### 6.6.1 Querschnittsstudie Q1: Wirtschaftswachstum

Wie in Abschnitt 6.1.2 diskutiert, ist wirtschaftliches Wachstum einerseits Voraussetzung für die Invention (indem mehr Kapital für F+E vorhanden ist) und die Diffusion energieeffizienter Technologien (indem es die Erneuerungsrate des Kapitalstocks erhöht). Zum anderen fördert es die Nachfrage nach Energiedienstleistungen. Die Wechselwirkungen zwischen dem Wirtschaftswachstum und der Entwicklung und Ausschöpfung technischer Potenziale sind nur unzureichend verstanden. Entsprechendes gilt für die Entwicklung und Ausschöpfung von Verhaltenspotenzialen. Ein besseres Verständnis dieser Wechselwirkungen ist insbesondere im Hinblick auf den Leitindikator "Energieintensität" von Bedeutung. Auch die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaftswachstum und dem Erfolg energiepolitischer Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen schliesslich sind nur ungenügend erforscht.

Wir schlagen deshalb eine Querschnittsstudie vor, welche die Rolle des Wirtschaftswachstums untersucht und sicherstellt, dass diese sowohl in den Potenzialstudien wie bei der Gestaltung der Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen in konsistenter Weise einbezogen wird.

#### **Motivation und Ziel**

Das künftige Wirtschaftswachstum beeinflusst die Erreichung der Nachhaltigkeitsziele im Energiebereich in unklarer Weise. Zum einen wirkt es sich positiv aus auf die Invention und Diffusion energieeffizienter und emissionsarmer Technologien; zum anderen wirkt es eher hemmend auf die Entwicklung und Ausschöpfung von Verhaltenspotenzialen und fördert die Nachfrage nach Energiedienstleistungen. Darüber hinaus beeinflusst das Wirtschaftswachstum den Erfolg energiepolitischer Strategien und Massnahmen.

Umgekehrt haben aber auch energiepolitische Strategien und Massnahmen zur Förderung der Ausschöpfung von technischen und Verhaltenspotenzialen Einfluss auf das Wirtschaftswachstum. Ist dieser Einfluss positiv, kann das die Durchsetzbarkeit und Akzeptanz einer Energiepolitik markant stärken. Umgekehrt wäre es theoretisch denkbar, wenn auch kaum diskutiert und praktisch wohl wenig aussichtsreich, die Wachstumsrate selbst zu einer zu beeinflussenden Variable zu machen: Das wäre zum Beispiel bei einer stark auf einem Wertewandel beruhenden Suffizienzstrategie denkbar, welche eine Welt mit weniger Energie- und Stoffflüssen, mehr sozialer Interaktion und Solidarität und abnehmender Bedeutung materieller Werte postuliert und so letztlich das Wirtschaftswachstum bremst. Ein anderes Beispiel wäre die gezielte Förderung wenig energieintensiver Wirtschaftszweige.

Ziel der Querschnittsstudie Q1 ist, die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaftswachstum, Potenzialen und SRM zu analysieren und darzustellen, damit diese sowohl bei der Gestaltung der Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen als auch bei den Auswirkungsmodellen in konsistenter Weise einbezogen werden können.

## Fragestellung und Aufgabe

Im einzelnen sind die folgenden Fragen zu behandeln:

- Welches ist der Stellenwert des Wirtschaftswachstums für die Erreichung der für 2050 formulierten Nachhaltigkeitsziele? Steht es den Zielen – und hier insbesondere dem Ziel für die Energieintensität – entgegen, oder ist es gar Voraussetzung für deren Erreichung?
- Ist wirtschaftliches Wachstum ohne vermehrten Energieeinsatz jenseits der Steigerung der Energieeffizienz möglich? Mit anderen Worten: Können Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch dauerhaft voneinander entkoppelt werden?
- Wie wirkt sich die unterstellte Zunahme des Pro-Kopf-Einkommens auf die EDL-Nachfrage aus? (Analyse der vergangenen Entwicklung)
- Welche verteilungspolitischen Konsequenzen (in bezug auf die Befriedigung von EDL-Bedürfnissen) ergeben sich aus einem geringeren bzw. höheren Wirtschaftswachstum?
- Welcher dynamische Zusammenhang besteht zwischen Wirtschaftswachstum und Technologieentwicklung? Werden in einer langsam oder gar nicht wachsenden Gesellschaft weniger Mittel für die Technologieentwicklung ausgegeben, entwickeln sich die Technologien langsamer, und gibt es Hinweise auf eine geringere Aufnahmebereitschaft einer langsam wachsenden Gesellschaft für technologische Neuerungen?
- Was bedeutet eine Suffizienzstrategie für das Wirtschaftswachstum?

#### Methoden

Zu ergänzen

### Verbindung zu anderen Modulen und Studien

Die Ergebnisse der Querschnittsstudie Q1 bilden eine wichtige Grundlage für die Szenarienbildung in Modul B sowie die Szenarienberechnung in Modul C und sind daher eng auf die Bedürfnisse der jeweiligen Studiennehmer abzustimmen. Zudem besteht ein Bezug zur Querschnittsstudie Q2, was die Frage der Technologieentwicklung betrifft.

#### 6.6.2 Querschnittsstudie Q2: Technologieentwicklung

Ein wesentliches Problem jedes Langfristszenarios ist die Unvorhersagbarkeit der technologischen Entwicklung. Ein besseres Verständnis der Voraussetzungen und Bedingungen, unter denen neue Technologien entstehen, ist daher wesentlich für eine Langfriststrategie:

- Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen k\u00f6nnen dann im Hinblick auf die Invention und Diffusion von Technologien optimiert werden.
- Die Technologieentwicklung kann realitätsnäher in den Szenarien und Auswirkungsmodellen abgebildet werden.

Das gilt insbesondere für sogenannte Technologiesprünge, die durch signifikante Produktivitätszuwächse bzw. einen Knick in der Lernkurve einer Technologie gekennzeichnet sind. Angesichts der vergangenen Entwicklung ist es plausibel anzunehmen, dass sich auch in Zukunft Technologiesprünge ereignen werden.

Die mit der Technologieentwicklung, insbesondere Technologiesprüngen, verbundenen Fragen sind deshalb in einer weiteren Querschnittsstudie zu klären. Es sind Überlegungen anzustellen, wie Technologiesprünge zum voraus, in Unkenntnis dessen, wo sie auftreten werden, in Auswirkungsmodelle eingebaut werden können. Zu prüfen ist überdies die Zweckmässigkeit und Machbarkeit einer Endogenisierung der Technologieentwicklung in den Modellen von Modul C.

### **Motivation und Ziel**

Die Unvorhersagbarkeit der technologischen Entwicklung ist irreduzibel. Dennoch ist es bis zu einem gewissen Grad möglich, aus historischen Analysen ein besseres Verständnis der Voraussetzungen und Bedingungen zu gewinnen, unter denen neue Technologien entstehen. Kenntnis über die Entstehung technischen Fortschritts ermöglicht dann, diesen mittels Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen positiv zu beeinflussen. Von besonderem Interesse sind dabei die Bedingungen für das Entstehen von Technologiesprüngen, die durch signifikante Produktivitätszuwächse bzw. einen Knick in der Lernkurve einer Technologie gekennzeichnet sind.

Eine zweite Motivation für ein besseres Verständnis der Technologieentwicklung ist deren realitätsnähere Abbildung in den Szenarien und Auswirkungsmodellen. Das betrifft zum einen wiederum die Technologiesprünge, zum anderen aber genereller noch die Frage, ob die Technologieentwicklung in Szenarien und Auswirkungsmodellen als exogen vorgegeben betrachtet werden oder endogenisiert werden soll. Für eine Endogenisierung spricht, dass sich die verschiedenen Technologien infolge ihrer szenariospezifischen Förderung mittels Massnahmen und infolge von Rückkopplungseffekten, die dem Konzept

der Fortschrittsrate inhärent sind (Skaleneffekte führen zu tieferen Kosten und die wiederum zu höheren Stückzahlen), unterschiedlich entwickeln. Gegen die Endogenisierung spricht, dass die Entwicklung und Kostendegression von Technologien kaum durch die Politik und Nachfrage der Schweiz beeinflussbar sind, sowie auch methodische Probleme (vgl. Abschnitt 7.2).

Ziel der Querschnittsstudie Q2 ist, die Entstehungsbedingungen von technischem Fortschritt zu analysieren und darzustellen, damit solche mittels SRM geschaffen werden können und damit bei den Auswirkungsmodellen der technische Fortschritt allenfalls endogen einbezogen werden kann.

#### Fragestellung und Aufgabe

Die folgenden Fragen sind zu behandeln:

- Welches sind die Voraussetzungen und Bedingungen für technischen Fortschritt?
- Wodurch sind Technologiesprünge gekennzeichnet? Welches sind die Bedingungen für das Auftreten von Technologiesprüngen? Wie können Grundlagen geschaffen werden für die Initiierung von Technologiesprüngen?
- Welche Beispiele für Technologiesprünge gibt es im Energiebereich? Wo sind solche am ehesten in Zukunft zu erwarten? Mit welchen Methoden wird eine solche Einschätzung vorgenommen? Inwieweit liessen sich diese Methoden verbessern?
- Wie können Technologiesprünge zum voraus, in Unkenntnis dessen, wo sie auftreten werden, in Auswirkungsmodelle eingebaut werden?
- Unter welchen Voraussetzungen macht eine Endogenisierung des technischen Fortschritts Sinn? Wie kann sie in Modellen bewerkstelligt werden?

#### Methoden

Technik- und wirtschaftshistorische Analysen zur Entstehung technologischer Revolutionen;<sup>40</sup> interdisziplinäre Zusammenarbeit von Ökonomie, Politologie, technischen Wissenschaften.

#### Verbindung zu anderen Modulen und Studien

Analog zur Querschnittsstudie Q1.

-

Als Vorbild könnte Kuhns "Struktur wissenschaftlicher Revolutionen" dienen, um folgende Fragen anzugehen: Wie laufen technologische Revolutionen ab? Gibt es gemeinsame Strukturmerkmale? Wie ist das Verhältnis von Invention/Innovation zu Diffusion? Etc. Daraus ergibt sich möglicherweise ein Hinweis auf die Rahmenbedingungen, die es braucht, um die Chancen für technologische Revolutionen zu verbessern.

# 6.7 Modul B: Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen

In diesem und dem folgenden Modul geht es um die Durchführung der Schritte 3–5 des OECD-Ablaufschemas.

### 6.7.1 Studie B1: Entwicklung Referenzszenario und Zielszenarien

#### Schritte 3 und 4: Bestimmung Referenzszenario und Zielszenarien

Erste Aufgabe des Moduls ist die Definition eines Referenzszenarios. Dieses soll auf der bereits beschlossenen Politik beruhen und die absehbaren technologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Trends fortschreiben. Es soll jedoch keine verstärkte politische Aktivität enthalten. Festzulegen sind neben sozioökonomischen Rahmendaten insbesondere energie- und umweltpolitische Vorgaben, energiebedarfsspezifische Annahmen sowie Annahmen zu den Energietechnologien und ihren Kosten.

Die Zielszenarien zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele sind sodann entlang der bereits genannten energiepolitischen Basisstrategien zu konstruieren. Nachstehend schlagen wir eine mögliche Unterteilung in 4 Hauptszenarien vor, welche im Laufe des Projektes revidiert und in Unterszenarien aufgeschlüsselt werden sollen:

- Szenario Nuklear: Kernenergie-Anteil in CH bleibt konstant oder steigt; konstanter Anteil Stromimporte; geringer Anteil fossil-thermische Stromerzeugung
- **Szenario Innovation:** Stillgelegte Kernkraftwerke werden nicht durch neue ersetzt; konstanter Anteil Stromimporte; forcierte Ausschöpfung technischer Potenziale für Effizienz und Erneuerbare, Stromlücke gedeckt durch fossil-thermische Erzeugung mit technischer CO<sub>2</sub>-Sequestrierung und Handel von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten.
- Szenario Import: Stromimporte als Ersatz für Kernkraftwerke
- Szenario Sparsam: Wie Szenario Innovation, aber forcierte Ausschöpfung von Potenzialen zur Reduktion der Nachfrage nach Energiedienstleistungen.

#### **Motivation und Ziel**

Für die Durchführung des Backcasting-Prozesses werden ein Referenzszenario benötigt sowie mehrere Zielszenarien. Das Referenzszenario soll auf der beschlossenen Politik beruhen und die absehbaren technologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Trends fortschreiben. Die Zielszenarien sollen entlang verschiedener Basisstrategien

konstruiert werden und im Idealfall die Zielwerte für die Leitindikatoren bis 2050 als Randbedingung erfüllen.

Ziel der Studie B1 ist die Formulierung eines Referenzszenarios sowie mehrerer Zielszenarien.

## Fragestellung und Aufgabe

Für die Szenarien ist eine Reihe von exogenen Vorgaben zu **Rahmenbedingungen** zu machen, deren Konsequenzen für eine nachhaltige Energiepolitik jeweils zu bedenken sind:

- **Bevölkerungsentwicklung:** Wie entwickelt sich die Wohnbevölkerung der Schweiz? Wie entwickelt sich die Altersstruktur und die Migration?
- Internationaler Öl- und Gaspreis: Wie entwickelt sich der internationale Öl- und Gaspreis? Die Auswirkungen der aktuellen Ölpreisszenarien auf die langfristige Nachhaltigkeitsstrategie sind zu untersuchen. Die politischen Risiken sind herauszuarbeiten. Dabei interessieren der Charakter und der Verlauf sowie die Auswirkungen (kurzbis mittelfristig sowie langfristig, im Hinblick auf die Nachhaltigkeitsstrategie) eines wahrscheinlichen Risikofalles. Zusätzlich stellt sich die Frage, ob langfristig (bei knapper werdenden Reserven) mit zunehmender Volatilität der fossilen Energiepreise zu rechnen ist.
- politische, gesellschaftliche, wirtschaftliche und technologische Entwicklung im Ausland: Diese Entwicklungen können von der Schweiz wenig beeinflusst werden.
   Sie müssen im wesentlichen als exogen betrachtet werden.

Im folgenden diskutieren wir beispielhaft einige der sich stellenden Fragen anhand der für die deutsche Enquete-Kommission durchgeführten Szenarioarbeiten (Enquete 2002, Kap. 5):

• Interpretation exogener Daten: Tabelle 15 führt auf, welche Daten (jeweils für die Jahre 2010, 2020, 2030 und 2050) in die Modelle, mit denen die Szenarien berechnet wurden, eingeflossen sind und welche Daten von den Modellen als Output errechnet wurden. Die sozioökonomischen Rahmendaten wurden (mit Ausnahme des Modal-Splits im Verkehr) auch für die Zielszenarien<sup>41</sup> verwendet. Diese exogenen Daten können prinzipiell auch einen ganz anderen Verlauf nehmen als den unterstellten. Die Unterstellung eines anderen Verlaufs kann für eine Sensitivitätsanalyse in Betracht gezogen werden. Exogen vorgegeben ist auch die Gültigkeit der Grundprinzipien von Demokratie und Marktwirtschaft über den ganzen Zeitraum und alle Szenarien sowie

\_

Den Zielszenarien wiederum war gemeinsam, dass sie alle eine Treibhausgasreduktion um 80% gegenüber dem Stand von 1990 erreichen.

die technologische, wirtschaftliche, gesellschaftliche und politische Entwicklung ausserhalb der Schweiz, die sich in vielfältiger Weise auf die Energieversorgung und nutzung in der Schweiz auswirken kann (Energiepreise, technische Potenziale, Lebensstil). Bei letzterem Punkt ist unklar, wie er in die Rahmendaten eingeht. Eigentlich müsste er sogar in die Szenarien selbst eingebaut werden können, weil er sowohl die Auswahl wie den Erfolg schweizerischer Massnahmen stark beeinflussen kann – etwa in Abhängigkeit davon, ob sich die Schweiz zu einem energiepolitischen Alleingang oder zu gemeinsamem Handeln mit der EU oder der internationalen Staatengemeinschaft entschliesst.

Input-Daten	Output-Daten
sozioökonomische Rahmendaten:  – Wohnbevölkerung  – BIP	Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren
<ul><li>sektorale Wirtschaftsleistung</li><li>Erwerbspersonenpotenzial, Erwerbstäti-</li></ul>	Kraftwerkskapazitäten nach Energieträgern
ge – Wohnflächen	Anteil WKK an Stromerzeugung
<ul><li>Verkehrsleistung und Modal-Split</li><li>Preise für Öl, Gas und Kohle</li></ul>	Nettostromerzeugung nach Energieträgern
energie- und umweltpolitische Vorgaben:	Nutzungsgrad der Stromerzeugung
<ul> <li>CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020</li> <li>ausgeglichener Stromimportsaldo</li> <li>Mindestanteil Erneuerbare an Nettostrom-verbrauch (bis 2050) und PEV (bis 2020)</li> <li>Mindestanteile WKK-Leistung bis 2050</li> </ul>	Primärenergieverbrauch nach Energieträ- gern
	CO <sub>2</sub> - bzw. THG-Emissionen nach 2020 nach Sektoren
<ul> <li>Maximale Kernenergieleistung bis 2050</li> <li>Mindestnutzung heimischer Kohlen bis 2020</li> <li>CO<sub>2</sub>-Sequestrierung unzulässig</li> </ul>	NO <sub>x</sub> , CO, VOC, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , Staub- Emissionen
<ul> <li>CO<sub>2</sub>-sequestrierung unzulassig</li> <li>Verschärfungen gegenüber der Energieeinsparverordnung bis 2050</li> </ul>	Energieimportabhängigkeit
Umsetzungsrate Altbau bis 2050	Wert der Netto-Energieimporte
energiebedarfsspezifische Annahmen:  – sektorale Energieeffizienzen  – spezifische Annahmen zu Energieträgersubstitution bzw. –einsatz  – Effizienz von Geräten und Fahrzeugen	Kosten zur Befriedigung der Energiedienst- leistungsnachfrage (ohne externe Kosten)
spezifische Investitionskosten von Kraftwer- ken	

Tabelle 15: Input- und Output-Daten im Referenzszenario der deutschen Enquete-Kommission (eigene Zusammenstellung aus Enquete 2002, Kap. 4.2)

- Rolle der Energiedienstleistungsnachfrage: Aus den sozioökonomischen Rahmendaten (Energiebezugsfläche, Fahrleistung, BIP etc.) kann die Gesamtnachfrage nach Energiedienstleistungen (EDL) abgeleitet werden (Enquete 2002, Tab. 4-6). Für das Referenzszenario ist somit zu überlegen, welche Arten und Mengen von EDL bis 2050 verlangt sein werden. Werden die Rahmendaten auch den Zielszenarien zugrundegelegt (wie bei den Arbeiten für die Enquete-Kommission geschehen), ist die EDL-Nachfrageentwicklung in allen Szenarien gleich. Für sämtliche Zielszenarien eine solche Annahme zu treffen, ist problematisch. Sie lässt die Möglichkeit ausser acht, dass sich die gesellschaftlichen Präferenzstrukturen so wandeln können, dass die EDL-Nachfrage unter der des Referenzszenarios liegt. Zur Diskussion stehen dabei auch neue Geschäftsmodelle in der Energiewirtschaft (im Zuge von Liberalisierung, Dezentralisierung, Contracting etc.).
- Rolle der wirtschaftlichen Entwicklung: Die Entwicklung des BIP wird exogen vorgegeben. Das ist ebenfalls problematisch, denn eine veränderte Bereitstellung und Nutzung von Energie kann sich auf die Entwicklung des BIP auswirken. Umgekehrt können sich Veränderungen des BIP auf die EDL-Nachfrage, auf die Technologiediffusion und die Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen auswirken. Generell sind die Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung des BIP und dem Ausmass und der Struktur des Energieverbrauchs ungeklärt. Das BIP sollte also eher modellendogen berechnet als exogen vorgegeben werden.

Nur für das **Referenzszenario** sind darüber hinaus weitere Vorgaben zu machen:

- Wirtschaftswachstum: Wie entwickelt sich das Wirtschaftswachstum (BIP)? Wie setzt sich die Wirtschaftsleistung künftig sektoral zusammen?
- Entwicklung EDL-Nachfrage: Die EDL-Nachfrage wird für alle Szenarien exogen vorgegeben, muss jedoch nicht für alle Szenarien identisch sein.
  - Wohnfläche: Wie entwickelt sich die Wohnfläche sowie die Industrie-, Gewerbeund Dienstleistungsfläche? Wie wird sich die veränderte Altersstruktur auf die Neubau- und Erneuerungstätigkeit auswirken? In welchem Ausmass wird es zu Flächen-Mehrfachnutzungen kommen?
  - Bereich IGD: Wie entwickelt sich der Prozessenergiebedarf pro Produkt? Es sollten Wirtschaftsszenarien für die Schweiz nach 2020 entworfen werden, die, ausgehend von den aktuellen Tendenzen (Verschwinden energieintensiver Grundstoff- und Halbfabrikatproduktion, Tertiarisierung/Dienstleistungsgesellschaft), die langfristigen Entwicklungsperspektiven der energierelevanten Branchen aufzeigen.
  - Mobilität: Wie entwickelt sich der künftige Mobilitätsbedarf für Personen und Güter? Wie wirkt sich die Veränderung der Altersstruktur auf die Mobilitätsnachfrage

aus, wie die europäische Integration, wie Veränderungen in den wirtschaftlichen Leistungserstellungsprozessen, wie die Entwicklung der IKT-Technologien?

- **politische Vorgaben:** Welche sich abzeichnenden energiepolitischen Massnahmen sind allenfalls zu integrieren, zusätzlich zu den bereits beschlossenen?
- **technische Potenziale**: sind aus den Studien A1–4 zu übernehmen und bis 2050 zu extrapolieren
- Verhaltenspotenziale: sind aus den Studien A5–7 zu übernehmen und bis 2050 zu extrapolieren. Die relevanten Entwicklungstendenzen sollen identifiziert werden. Die Auswirkungen der relevanten Veränderungen und die Bedeutung für die Strategien zu einer nachhaltigen Energieversorgung abzuschätzen.

Die **Zielszenarien** sollen die verfügbaren energiepolitischen Basisstrategien wiederspiegeln und mittels Unterszenarien variieren. Das folgende mögliche Set von Zielszenarien wiederspiegelt den Ansatz:

- Szenario Nuklear: Kernenergie-Anteil in CH bleibt konstant oder steigt; konstanter Anteil Stromimporte; geringer Anteil fossil-thermische Stromerzeugung
- **Szenario Innovation:** Stillgelegte Kernkraftwerke werden nicht durch neue ersetzt; konstanter Anteil Stromimporte; forcierte Ausschöpfung technischer Potenziale für Effizienz und Erneuerbare, Stromlücke gedeckt durch fossil-thermische Erzeugung mit technischer CO<sub>2</sub>-Sequestrierung und Handel von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten.
- Szenario Import: Stromimporte als Ersatz für Kernkraftwerke
- Szenario Sparsam: Wie Szenario Innovation, aber forcierte Ausschöpfung von Potenzialen zur Reduktion der Nachfrage nach Energiedienstleistungen.

# 6.7.2 Studie B2: Überblick, Auswahl und Optimierung von Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen

# Schritt 5: Auswahl und Optimierung der Strategien, Rahmenbedingungen und Massnahmen

Zunächst sind die existierenden einzelnen SRM auf ihre Eignung hin zu analysieren, in einem gegebenen Szenario eingesetzt zu werden. Sodann ist die Intensität zu bestimmen, in welcher die einzelnen Instrumente für ein gegebenes Szenario im Zeitverlauf einzusetzen sind (SRM-Bündel).

Das mögliche Instrumentarium energiepolitischen Handelns ist zum ersten daraufhin zu untersuchen, inwiefern es geeignet ist, die Entwicklung und Verbreitung von Technologien

zu fördern bzw. die Vergrösserung und bessere Ausschöpfung technischer Potenziale zu bewirken. Zu behandeln sind demnach die folgenden Fragen:

- Hemmnisse: Welches sind Hemmnisse, die dazu führen, dass technischwirtschaftliche Potenziale (im Rahmen von Reinvestitionszyklen) nicht ausgeschöpft werden? Welche Rahmenbedingungen beschränken das einzelwirtschaftliche Potenzial einer Technologie aus gesamtgesellschaftlicher Sicht unangemessen?
- Instrumente: Mit welchen SRM kann die Entwicklung (Invention) und Umsetzung (Diffusion) neuer Technologien gef\u00f6rdert werden? Welche Instrumente steigern die Inventions- und Diffusionsrate erw\u00fcnschter Technologien? Ein m\u00f6glicher Schwerpunkt ist etwa die F&T-F\u00f6rderungspolitik (invention forcing, technology forcing, Allokation der Forschungsmittel, Controlling, Rolle KTI, Exportf\u00f6rderung, etc.).

Zum zweiten ist das Instrumentarium energiepolitischen Handelns zu untersuchen auf seine Eignung, das Verhalten der Akteure zu beeinflussen:

- Mit welchen Instrumenten k\u00f6nnen spezifische verhaltensbedingte Potenziale (bei gegebenen Pr\u00e4ferenzstrukturen) erschlossen werden?
- Inwieweit und durch welche konkreten Rahmenbedingungen k\u00f6nnen sich in einem dynamischen gesellschaftlichen Prozess neue Pr\u00e4ferenzstrukturen (Konsum- und Produktionsstile) herausbilden? K\u00f6nnen individuelle bzw. kollektive Verzichte im demokratischen gesellschaftlichen Konsens erreicht werden, und wenn ja, wie?

In die Untersuchung der SRM einzubeziehen sind namentlich Vorschriften, Abgaben, Subventionen, freiwillige Vereinbarungen, cap&trade-Systeme, push/pull-Massnahmen, Informationsvermittlung, F&T-Förderungspolitik, Bildungspolitik, Abbau/Vermeidung kontraproduktiver Gesetze/Regelungen in anderen Bereichen (Raumplanung etc.).

## **Motivation und Ziel**

Die für 2050 formulierten Ziele einer nachhaltigen Energieversorgung und –nutzung sind doppelt ambitiös: wegen ihrer Langfristigkeit und wegen ihrer Schärfe. Die Konzeption einer zielführenden Nachhaltigkeitsstrategie mit den zugehörigen Instrumenten und Massnahmen über einen solchen Zeitraum stellt eine grosse Herausforderung dar. Diese Herausforderung gilt es anzunehmen, da heute schon Entscheidungen gefällt werden, deren Konsequenzen über diesen Zeitraum reichen. Die Ausgestaltung einer nachhaltige Energiepolitik muss die grundlegenden Strategien für eine Nachhaltigkeitspolitik evaluieren und die zweckmässigsten Instrumente und Massnahmen verwenden.

Mit wenigen Ausnahmen (wie z.B. LSVA, gewisse Subventionen und Labels) dienen die aktuell eingesetzten Instrumente der Energiepolitik der kurz bis mittelfristigen Mobilisierung wirtschaftlicher oder wirtschaftlichkeitsnaher Potenziale. Im Hinblick auf die langfristigen Nachhaltigkeitsziele sollten diese Instrumente und Massnahmen ergänzt werden mit

Instrumenten, die schon heute den sukzessiven und langfristig angelegten Umbau von Energieversorgung und -nutzung in Richtung der Langfristziele anschieben können. Zur Reduktion der Umstellungskosten sind dafür die langfristigen Ziele und der ungefähre Zielpfad zu kommunizieren. Der zweckmässige Instrumenten- und Massnahmenmix zur Zielerreichung ist zu evaluieren. Dabei sind die Ungewissheiten über die künftige Entwicklung von Rahmenbedingungen, Energiepreise, Technologieentwicklung etc. zu berücksichtigen, d.h. die Instrumente müssen flexibel sein, keine zu grossen Kosten in der nahegelegenen Zukunft verursachen und Pfadkorrekturen möglichst kostengünstig ermöglichen. Gleichzeitig müssen die Massnahmen und Instrumente implementierbar sein, d.h. sie müssen Akzeptanz finden können (s. Studie B3).

Ziel der Studie B2 ist, das Instrumentarium energiepolitischen Handelns daraufhin zu untersuchen und zu evaluieren, inwiefern es geeignet ist, die Entwicklung und Ausschöpfung von technischen und Verhaltenspotenzialen zu befördern. Weiter sind SRM-Bündel zur Umsetzung der in der Studie B1 definierten Zielszenarien festzulegen und in Zusammenarbeit mit den Bearbeitern der Studie C1 zu optimieren.

## Fragestellung und Aufgabe

Für die Evaluation von möglichen SRM stellen sich die folgenden Fragen:

- Massnahmen und Instrumente: Mit welchen der folgenden Massnahmen und Instrumente k\u00f6nnen die technischen Potenziale am besten ausgesch\u00f6pft werden, mit welchen die Verhaltenspotenziale? Welche Wirkungen werden jeweils erwartet?<sup>42</sup>
  - Vorschriften
  - Abgaben
  - Subventionen
  - Push- bzw. Pull-Massnahmen
  - freiwillige Massnahmen
  - Emissionshandelssysteme
  - Information und Kommunikation
- Innovations- und Technologiepolitik: Zwei Strategien auf unterschiedlichem Interventionsniveau existieren: die primär wirtschafts- oder strukturpolitisch begründete Innovations- und Technologieförderung mit F+E- und P+D-Mitteln; die Beschleunigung der Technologie- und Know-how-Diffusion und der zugehörigen Lernprozesse vor allem durch flankierende Massnahmen.

\_

Ein Teil der Verhaltenspotenziale kann mit technischer Hilfe ausgeschöpft werden: Dank Regelungstechnik und IKT-Technologien bestehen vielfältige Möglichkeiten, energiesparendes Benutzerverhalten zu unterstützen oder neuartige energie- und verkehrspolitische Instrumente einzusetzen (z.B. LSVA-Erfassungstechnologie; Möglichkeiten zum Road Pricing; präsenzabhängige Beleuchtung; Verbrauchsoptimierungsprogramme, kontinuierliche Verbrauchsinformationen

- Was kann Technologiepolitik angesichts der Erkenntnisse aus der Querschnittsstudie Q2 bewirken, wo müsste sie ansetzen?
- Welches sind die Risiken von Technologiepolitik?
- Welche Ergebnisse brachte die bisherige Innovationsförderungs- und Technologiepolitik im Energiebereich im Hinblick auf die Nachhaltigkeitsziele? Wie war die Effektivitat und Effizienz unterschiedlicher Förderungsstrategien, insbesondere des Know-how-Transfers und der Förderung der Entwicklung einzelner Technologien in der Schweiz.
- Inwiefern kann die Diffusionsförderung beschleunigt werden? Welches sind die wirtschaftlichen Effekte der schnelleren Aufnahme, Integration und marktorientierten Weiterentwicklung neuer Technologien? Werden neue Absatzmöglichkeiten und Wettbewerbsvorteile geschaffen?
- Wie kann die Mittelallokation bei F+E und P+D am besten auf die langfristigen Nachhaltigkeitsziele ausgerichtet werden?
- Identifikation von langfristig nachhaltigkeitsrelevanten Ansatzpunkten für die Innovations- und Technologieförderung in der Schweiz. Ex ante Evaluation der zu erwartenden Effektivität und Effizienz im Hinblick auf die Nachhaltigkeitsziele.
- Einschätzung der Marktchancen von Energietechnologien, die in der Schweiz produziert werden.

Für die Optimierung sind SRM-Bündel pro Zielszenario zu definieren und in die Modelle von Modul C einzuspeisen. Basierend auf den Resultaten der Modellierung (speziell Zielerreichung Leitindikatoren, volkswirtschaftliche Auswirkungen) sind die SRM-Bündel in einem iteratliven Verfahren zu optimieren.

#### Methoden

Analyse anhand der verfügbaren internationalen Evaluationsliteratur und bestehender schweizerischer Erfahrungen mit den genannten SRM

#### 6.7.3 Studie B3: Akzeptanz

Fehlende Akzeptanz ist ein wesentliches Hemmnis für die Ausschöpfung technischer Potenziale und für die Umsetzung von SRM. Es muss daher ein zentrales Anliegen einer Langfriststrategie sein, ein besseres Verständnis für die Prozesse zu gewinnen, die zur Gewährung oder Verweigerung gesellschaftlicher Akzeptanz führen. In die Bewertung der

SRM ist daher der Aspekt der Akzeptanz prominent einzubeziehen. Zu behandeln ist insbesondere die Frage: Welche Faktoren beeinflussen die Akzeptanz (politisch, individuell, wirtschaftlich; national, international) von Technologien und SRM? Ist Akzeptanz ein herstellbares Gut?

#### **Motivation und Ziel**

Die Akzeptanz der Nachhaltigkeitsziele (Einstellungsakzeptanz) und der dafür benötigten Massnahmen (Massnahmen- und Verhaltensakzeptanz) wird durch die Entwicklung der individuellen Problemwahrnehmung und die künftige gesellschaftlich-wirtschaftliche Entwicklung mit ihren Auswirkungen auf die gesellschaftlichen Werte bestimmt. Die Auswirkungen des zunehmenden Anteils alter Menschen auf die Nachhaltigkeitspolitik ist unklar. Dasselbe gilt für die noch immer zunehmende Individualisierung mit steigender Bedeutung von Selbstbestimmungs- und Selbstentfaltungswerten.

#### Fragestellung und Aufgabe

geht es hier vor allem um die folgenden Fragen:

- Wie wirkt sich die Alterung der Schweizer Gesellschaft auf die Akzeptanz von intergenerationellen Verteilungsfragen und von Langfristzielen aus, deren Einhaltung schon in der Gegenwart gewisse Einschränkungen mit sich bringt.
- Welchen Stellenwert hat die Nachhaltigkeitspolitik vor dem Hintergrund steigender Verteilungsprobleme und Rationierungsgefahren im Bereich der Gesundheitsversorgung und der sozialen Absicherung.
- Welche Instrumente der Nachhaltigkeitspolitik versprechen am ehesten Akzeptanz, wie kann ihre Akzeptanz verbessert werden?

## Methoden

Zu ergänzen

Verbindung zu anderen Modulen und Studien

Zu ergänzen

# 6.8 Modul C: Auswirkungen

Im Modul Auswirkungsmodelle geht es darum aufzuzeigen, unter welchen Bedingungen, mit welchen SRM und mit welchen Auswirkungen in den einzelnen Szenarien die gesetzten Nachhaltigkeitsziele erreicht werden. In einem iterativen Prozess ist zu bestimmen, welches SRM-Bündel für ein gegebenes Szenario die Nachhaltigkeitsziele am besten erfüllt.

Als Kriterien für die Bewertung und zum Vergleich der verschiedenen SRM – ob zugeschnitten auf technische oder Verhaltenspotenziale – sind zu verwenden: Beitrag zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele (Effektivität), Kosten-Nutzen-Verhältnis (Effizienz), Risiken, private/gesellschaftliche/politische Akzeptanz. Insbesondere sind auch die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der verschiedenen Zielszenarien und SRM-Bündel zu berücksichtigen (Wachstum, Wohlfahrt, Arbeitsplätze, Verteilungswirkungen, wirtschaftliche Struktureffekte).

#### Vorgaben zum Modell und zur Organisation

Die Fragen des Moduls sollen mit Hilfe computergestützter Modellrechnungen untersucht werden. Das verwendete Modell sollen die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Dynamisches<sup>43</sup> allgemeines Gleichgewichtsmodell (CGE), gekoppelt mit einem "bottom-up"-Modell zur technologischen Abbildung der Energieversorgung und –Nutzung;
- Endogenisierung des technischen Fortschritts (Degression der spezifischen Investitionskosten in Funktion der kumulierten installierten Leistung) soweit sinnvoll, d.h. nur
  für Technologien, für welche die Marktentwicklung in der Schweiz einen relevanten
  Einfluss auf die Kostendegression hat.

Das Modul soll durch einen einzigen Auftragnehmer (bzw. Arbeitsgemeinschaft) bearbeitet werden. Eine Aufteilung der zu bearbeitenden Szenarien auf mehrere Auftragnehmer (mit unterschiedlichen Modellierwerkzeugen) würde den Vergleich der Resultate erschweren. Eine parallele Bearbeitung derselben Szenarien durch unterschiedliche Auftragnehmer könnte zwar die Robustheit der Resultate erhöhen. Erfahrungsgemäss ist jedoch der Vergleich verschiedener Modellierungsarbeiten so aufwendig, dass die Kosten einer doppelspurigen Bearbeitung deren Nutzen kaum rechtfertigen würden.

-

<sup>&</sup>quot;Dynamisch" bedeutet hier, dass sich die Investitionen im Zeitverlauf modellendogen ändern. Dies ermöglicht die Modellierung eines wirtschaftlichen und technischen Strukturwandels als Folge energiepolitischer Strategien und Massnahmen.

## Erläuterungen zum methodischen Vorgehen

Abbildung 13 illustriert das Prinzip der Kopplung von Bottom-Up- und Top-Down-Modellen. In den Zielszenarien wird die Einführung zusätzlicher SRM-Bündel zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele unterstellt. Diese verändern beispielsweise die Kosten von Energie- und Emissionseinsparungen und damit den durch das Bottom-up-Modell gewählten, kostenoptimierten Technologiemix. Diese Veränderung wird in das Top-Down-Modell (Gleichgewichtsmodell) eingespiesen, z.B. über veränderte Substitutionselastizitäten von Energie und Kapital. Das Gleichgewichtsmodell berechnet daraus die veränderte wirtschaftliche Aktivität in den Sektoren. Daraus resultiert eine veränderte Nachfrage nach Energiedienstleistungen, welche wiederum als Input für das Bottom-up-Modell dient.

## Iteration between Top-Down and Bottom-Up Models

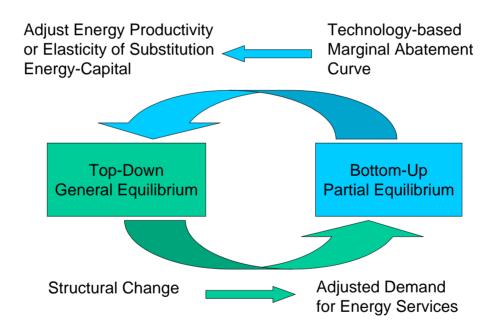


Abbildung 13: Kopplung von Bottom-Up- und Top-Down-Modellen Quelle: Lukas Gutzwiller, PSI, 2002 (pers. Mitteilung)

Im Unterschied zu den Zielszenarien wird beim Referenzszenario die wirtschaftliche Entwicklung in den verschiedenen Sektoren aufgrund von Schätzungen vorgegeben. Daraus ergibt sich eine Nachfrage nach Energiedienstleistungen. Das Bottom-up-Modell bestimmt den optimalen Technologiemix zur Befriedigung dieser Nachfrage und die Auswirkungen auf die Leitindikatoren. Tabelle 16 fasst die Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Behandlung des Referenzszenarios und der Zielszenarien vereinfacht zusammen.

	Referenzszenario	Zielszenarien
Exogene Rahmenbe- dingungen	Bevölkerungsentwicklung, internationale Energiepreise; technische, politische, wirtschaftliche, gesellschaftliche Entwicklung im Ausland	
Strategien, Rahmenbedingungen, Massnahmen	heute realisierte, beschlossene oder absehbare SRM	Zusätzliche SRM-Bündel werden unterstellt (zu optimieren)
Sektorielle wirtschaftli- che Aktivität	exogen vorgegeben	Unterschiede zur Referenz Modell- endogen berechnet
EDL-Nachfrage	exogen vorgegeben, basierend auf sektorieller Aktivität	Modell-endogen berechnet, basie- rend auf wirtschaftlicher Entwicklung sowie Massnahmen zur gezielten Beeinflussung der EDL
Verfügbare Technolo- gien (inkl. Investitions- kosten) der EDL- Bereitstellung	exogen vorgegeben aufgrund Resultate Modul A	exogen vorgegeben wie im Referenz- szenario; in Teilbereichen allenfalls Modell-endogen variiert
Auswirkungen	Leitindikatoren: berechnet	Leitindikatoren: berechnet
	Evaluationsindikatoren: berechnet	Evaluationsindikatoren: berechnet  → Unterschiede zur Referenz (z.B. volkswirtschaftliche Effekte)

Tabelle 16: Vergleich der Behandlung von Referenzszenario und Zielszenarie

Modul C beinhaltet eine einzige Studie C1: Modellierung der Referenz- und Zielszenarien.

#### **Motivation und Ziel**

Der Energiebereich und seine Wechselwirkungen mit der Wirtschaft sind so komplex, dass eine quantitative Darstellung und Analyse nur mit Hilfe computergestützer Modelle zu bewältigen ist. Die Studie C1 soll untersuchen, wie sich das Energiesystem in den verschiedenen Szenarien entwickelt (besonders bezüglich Nachfrage nach Energiedienstleistungen und Technologiemix zur Befriedigung dieser Nachfrage), und welche Auswirkungen in Bezug auf die Leitindikatoren resultieren. Darauf aufbauend sollen optimale SRM-Bündel für jedes Szenario bestimmt werden, welche einerseits eine maximale Ziellerreichung für die verschiedenen Leitdindikatoren gewährleisten und andererseits negative volkswirtschaftliche Auswirkungen minimieren.

## Fragestellung und Aufgabe

Die Studie soll insbesondere die folgenden Fragen klären:

 Wie schneiden die in Modul B formulierten Zielszenarien in bezug auf die Nachhaltigkeitsziele 2050 ab? Welche Zielkonflikte zwischen einzelnen Nachhaltigkeitszielen können bis 2050 nicht gelöst werden?

- Wie hoch sind und wer trägt die Kosten zum Erreichen des Nachhaltigkeitszieles 2050? Welches sind die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der verschiedenen Zielszenarien und SRM-Bündel (Wachstum, Wohlfahrt, Arbeitsplätze, Verteilungswirkungen, wirtschaftliche Struktureffekte)?
- Welche SRM müssen heute schon (revidierbar) umgesetzt werden, um die Nachhaltigkeitsziele 2050 erreichen zu können? In welcher zeitlichen Abfolge und welcher Intensität sind die SRM umzusetzen?
- Gibt es Ausstiegsmöglichkeiten aus einer Strategie? Wieviel Kosten bringen Strategieänderungen mit sich? Wie kann man die Strategie flexibel genug halten, um die möglichen (gesamtwirtschaftlichen) Verluste möglichst gering zu halten? Wie sehen Hedging-Strategien aus?
- Wie hängen die Ergebnisse der Berechnungen von exogen vorgegebenen Faktoren ab (Sensitivitätsanalyse)? Welchen Einfluss hat die Diskontrate auf die Resultate?

Die Aussagekraft und Grenzen der Modellresultate sind transparent und kritisch darzustellen. Gibt es vielversprechende SRM (z.B. im Hinblick auf verhaltensbedingte Potenziale zur Reduktion der EDL-Nachfrage), welche nicht angemessen in das Modell integriert werden können? Wie können solche SRM bzw. Potenziale bei der Beurteilung der Szenarien berücksichtigt werden?

#### Methoden

Die Fragen des Moduls sollen mit Hilfe computergestützter Modellrechnungen untersucht werden. Das verwendete Modell sollen die folgenden Anforderungen erfüllen:

- Dynamisches allgemeines Gleichgewichtsmodell (CGE), gekoppelt mit einem "bottomup"-Modell zur technologischen Abbildung der Energieversorgung und –Nutzung;
- Endogenisierung des technischen Fortschritts (Degression der spezifischen Investitionskosten in Funktion der kumulierten installierten Leistung) soweit sinnvoll, d.h. nur
  für Technologien, für welche die Marktentwicklung in der Schweiz einen relevanten
  Einfluss auf die Kostendegression hat.

## Verbindung zu anderen Modulen und Teilstudien

Die Studie C1 baut unmittelbar auf den Resultaten der Module A (Potenziale) und B (SRM) auf. Auch die Resultate der Querschnittstudien zur Bedeutung des Wirtschaftswachstums und den Mechanismen der Technologieentwicklung werden soweit als möglich in den quantitativen Modellen berücksichtigt. Die Resultate der Studie C1 sind eine entscheidende Grundlage für die gesamthafte Beurteilung der Szenarien im Modul D.

# 6.9 Modul D: Synthese

Aufgabe des Moduls Synthese ist das Zusammenführen der Resultate des Gesamtprojekts und die Schaffung der Grundlagen dafür, dass die verbleibenden Schritte 6–8 des OECD-Ablaufschemas durchgeführt werden können – was im Rahmen des Gesamtprojekts selbst nicht mehr möglich sein wird.

## 6.9.1 Studie D1: Zusammenfassung und Vorschlag zu Massnahmen

Als erstes sind die verschiedenen untersuchten Zielszenarien miteinander zu vergleichen. Da die Zielszenarien im Idealfall die ihnen als Randbedingung vorgegebenen Zielwerte für die Leitindikatoren erreichen, sollten sie sich lediglich im jeweiligen optimierten SRM-Bündel sowie in der Wirkung auf die gewählten Evaluationsindikatoren unterscheiden. Aufgabe der Synthese ist zunächst, die Grundlage für eine politische Abwägung der unterschiedlichen, den Zielszenarien zugrundeliegenden energiepolitischen Basisstrategien zu schaffen.

Aufgabe des Moduls ist sodann die Behandlung von Schritt 6:

 Schritt 6: Es ist ein Plan zur Implementierung des SRM-Bündels zu erstellen. Dazu sind die einzelnen Elemente des Bündels inhaltlich und in ihrer Wirkung auf den Zielpfad abzustimmen. Für die zeitliche Abfolge und die Dauer der Anwendung der SRM ist ein Fahrplan zu erarbeiten.

Die Komplexität der Aufgabe verlangt hierfür vermutlich mehrere Iterationsschritte.

#### Motivation und Ziel

Der in den Modulen B und C durchgeführte Backcasting-Prozess erbringt als Resultat spezifische, optimierte SRM-Bündel für die verschiedenen, auf unterschiedlichen Basisstrategien beruhenden Zielszenarien. Die Zielszenarien unterscheiden sich in der Wirkung auf die gewählten Evaluationsindikatoren und allenfalls auch in der Wirkung auf die Leitindikatoren, wenn sie die Randbedingung der für sie vorgegebenen Zielwerte nicht erreichen.

Ziel der Studie D1 ist einerseits, die Resultate der Module A-C übersichtlich zusammenzufassen. Weiter soll sie die Grundlagen zu schaffen für eine politische Abwägung der Zielszenarien gegeneinander und für die Implementierung einer konkreten Politik, damit die Ergebnisse des Gesamtprojektes in eine nachhaltige Langfriststrategie im Energiebereich einfliessen können.

## Fragestellung und Aufgabe

Die folgenden Aufgaben sind zu behandeln:

- Übersichtliche Zusammenfassung und Synthese der Resultate der Module A-C
- Entwicklung von Kriterien für einen Vergleich der Zielszenarien, um die Grundlage für einen politischen Entscheid über die unterschiedlichen energiepolitischen Basisstrategien zu schaffen; transparente Darstellung der entstehenden Zielkonflikte bei den Auswirkungen der Zielszenarien auf Leit- und Evaluationsindikatoren (volkswirtschaftliche und Verteilungseffekte);
- Aufzeigen von Ansätzen für die Entscheidfindung über das zu verfolgende Zielszenario (z.B. Möglichkeiten zur Gewichtung und Aggregation der Indikatoren; Sensitivität
  der Resultate auf unterschiedliche Gewichtungsfaktoren); Formulierung von Vorschlägen für den weiteren Kommunikations- und Diskussionsprozess;
- Auswahl eines SRM-Bündels, dessen Elemente einen konkreten Vorschlag für die langfristige Energiepolitik bilden;
- Erstellen eines Planes zur Implementierung eines ausgewählten SRM-Bündels. Dazu sind die einzelnen Elemente des Bündels inhaltlich und in ihrer Wirkung auf den Zielpfad abzustimmen. Für die zeitliche Abfolge und die Dauer der Anwendung der SRM ist ein Fahrplan zu erarbeiten.

Für letztere Aufgabe sind insbesondere folgenden Fragen anzugehen:

- Wie sind die politischen Verantwortlichkeiten für die Umsetzung des SRM-Bündels verteilt, wie wird die Umsetzung koordiniert (z.B. zwischen Bund, Kantonen, Gemeinden)?
- Wie kann die Akzeptanz der einzelnen Elemente des SRM-Bündels gesichert werden?
- Wann sind welche Schwerpunktstechnologien in welcher Weise zu f\u00f6rdern, wie sehen diesbez\u00fcgliche "Road maps" aus?

#### Methoden

Interdisziplinäre Zusammenarbeit der in den Modulen B und C vertretenen Disziplinen. Synthese und Auswertung von Dokumenten. Gespräche mit Studiennehmern der Module B und C. Gespräche mit Vertretern der Bundesverwaltung und Stakeholdern aus Wirtschaft und Gesellschaft.

#### Verbindung zu anderen Modulen und Studien

Die Studie D1 beruht auf den Ergebnissen der Module B und C.

Ziel ist eine Art Roadmap für SRM. Chancen und Risiken eines SRM-Bündels benennen (Volksmeinung, gesellschaftlicher Wandel, (welt-)wirtschaftliche Aussichten, early-mover advantage etc.). Die politische Aufgabenteilung (Bund, Kte etc.) ist zu überlegen. Abstimmung mit intl. Politik vornehmen. Abstimmung mit der bestehenden Energiepolitik sowie anderen Politikfeldern (Finanzen, Bildung, Forschung, Wirtschaftsförderung etc.)

Schliesslich muss das Modul Synthese die Umsetzung der Ergebnisse des Gesamtprojekts durch Veranstaltungen etc. in Angriff nehmen. Konkret sind die Ergebnisse des Gesamtprojektes an einer Veranstaltung vorzustellen, die explizit zum Ziel hat, einen öffentlichen Diskurs und einen politischen Prozess in Gang zu bringen über die Wünschbarkeit einer langfristig nachhaltigen Energiepolitik und über deren Ziele und Akzeptanz.

## 6.9.2 Studie D2: Umsetzung und Kommunkation

#### **Motivation und Ziel**

Die Implementierung einer langfristigen Energiepolitik erfordert ein Umsetzungskonzept. Ziel der Studie D2 sind die Formulierung eines solchen Umsetzungskonzepts sowie die Durchführung einer Schlussveranstaltung zur Präsentation und Diskussion der Ergebnisse des Gesamtprojekts.

#### Fragestellung und Aufgabe

Die folgenden Fragen sind in bezug auf das Umsetzungskonzept zu bearbeiten:

- Welche konkreten flankierenden Massnahmen sind nötig, um eine möglichst breite Akzeptanz bei allen relevanten gesellschaftlichen Akteuren für die Implementierung des SRM-Bündels zu bekommen?
- Wie ist die Notwendigkeit einer Langfriststrategie in der Energiepolitik und der mit ihr verbundenen Massnahmen kommunikativ zu vermitteln? Wie sind die Erkenntnisse des Gesamtprojekts einer breiten Öffentlichkeit und dem Fachpublikum nahezubringen?
- Welche Zielgruppen sind konkret mit welchen kommunikativen Mitteln anzusprechen?

Darüber hinaus obliegt den Studiennehmern die Organisation einer Schlussveranstaltung zum Gesamtprojekt. Diese sollte ganztägig sein, nationale und evtl. auch internationale Teilnehmer umfassen, Personen aus Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Stakeholder-Organisationen (Verbände etc.) einbeziehen und einen transdisziplinären Dialog initiieren.

#### Methoden

Kommunikationsplanung, Wissenschaftsjournalismus

## 6.10 Weitere Schritte zur Etablierung einer Langfriststrategie

Idealerweise wird es dem Gesamtprojekt gelingen, das Bewusstsein für die Notwendigkeit einer Energiepolitik mit langfristigem Horizont zu stärken und Hinweise auf die dazu erforderlichen konkreten Handlungsschritte zu geben. Damit schafft es die Grundlagen für die Ingangsetzung der entsprechenden politischen Prozesse.

Ist der politische Wille für die Etablierung einer Langfriststrategie vorhanden und eine entsprechende Konzeption ausgearbeitet, bedarf es der Überwachung des Erfolgs des politischen Prozesses. Im Anschluss an das Gesamtprojekt sollten deshalb die Schritte 7 und 8 des OECD-Ablaufplans in Angriff genommen werden:

Schritt 7: Der Erfolg der SRM ist zu überwachen und zu kommunizieren. Das Monitoring ist dabei von Anfang an als Teil der Implementierung vorzusehen. Es hat sich auf die vorgegebenen Indikatoren und Zielwerte zu beziehen. Die entsprechenden Grössen sind periodisch zu erheben, ausserdem Triggergrössen für die Energiedienstleistungsnachfrage, Evaluationsindikatoren für die Beurteilung von SRM sowie die Entwicklung des technischen Fortschritts (Technologiemonitoring). Ergänzend ist die Akzeptanz der SRM zu erheben. Das Monitoring muss Aussagen dazu ermöglichen, in welche Richtung und in welcher Form die SRM anzupassen sind.

Jede auf langfristige Nachhaltigkeit angelegte Politik benötigt ein Kontrollinstrument, mit dem der Erfolg der SRM begleitend gemessen werden kann. Die Politik sollte zudem in der Lage sein, den Zielpfad periodisch anhand vorgegebener Indikatoren überprüfen und diesen allenfalls revidieren zu können und zwar in Abhängigkeit exogener gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Randbedingungen. Benötigt wird dazu ein System standardisierter Prozesse, für das wir die Bezeichnung "Monitoring-, Evaluations- und Prognosesystem" oder kurz MEPS vorschlagen. Das MEPS ist als lernfähiges System zu konzipieren, welches die periodische Evaluation und Aktualisierung einer langfristigen, an revidierbaren Nachhaltigkeitszielen ausgerichteten energiepolitischen Strategie erlaubt.

Ziel des MEPS ist, die Energiepolitik umfassend und langfristig am Prinzip der Nachhaltigkeit auszurichten. Es soll der periodischen Überwachung, Evaluation und Aktualisierung von Zielpfad, Strategie und Massnahmen dienen. Dazu sind Kriterien und standardisierte Prozesse festzulegen, welche den bisherigen Erfolg der Strategie zu überwachen und zu bewerten wie auch deren weiteren Verlauf vorauszuplanen vermögen. Dazu gehört etwa das Festlegen von Etappenzielen, z.B. in 10-Jahresschritten. Die energiepolitische Beschlussfassung soll damit umfassender auf Kosten-Nutzen-Überlegungen abgestützt und

 – durch Kopplung der Zieldefinition an vordefinierte Schlüsselgrössen – transparenter und vorhersehbarer gemacht werden.

In einem Anschlussprojekt sind dazu die folgenden Fragen und Aufgaben anzugehen:

- Welche Grössen und Indikatoren sind zu erfassen, um den vergangenen bzw. prospektiven Erfolg des SRM-Bündels zu beurteilen (z.B. Triggergrössen für die EDL-Nachfrage, Evaluationsindikatoren, Technologiemonitoring, Akzeptanz)?
- Welches sind die Beurteilungskriterien zur Evaluation des Erfolgs des SRM-Bündels (z.B. ökonomische und soziale Kosten und Nutzen)? Sie müssen Aussagen dazu ermöglichen, in welche Richtung und in welcher Form die SRM anzupassen sind.
- Zu klären ist die effektive Machbarkeit von neuen Monitoring- und Evaluationskomponenten. Wie sind die folgenden Elemente des MEPS auszugestalten hinsichtlich Zuständigkeit, Finanzierung, Terminen?
  - Erfassung der Leitindikatoren, allenfalls einiger Evaluationsindikatoren ex-post;
  - Erfassung der Rahmendaten und der Potenziale ex-post;
  - Anpassung der Rahmendaten und der Potenziale ex-ante;
  - Erfassung des Umsetzungsgrads, der Wirksamkeit, der Akzeptanz von SRM expost;
  - Anpassung der Nachhaltigkeitsziele;
  - Anpassung des SRM-Bündels unter Anwendung einer standardisierten Evaluation.
- Das MEPS ist mit bestehenden Monitoring- und Evaluationsinstrumenten der Energiepolitik abzustimmen, seine Elemente sind zu koordinieren (z.B. Technologiemonitoring, Emissionsszenarien und Strategieevaluationen).

Der achte und letzte Schritt des OECD-Ablaufschemas besteht aus der Vermittlungsarbeit, die die Etablierung einer langfristigen Energiepolitik notwendig begleitet:

Schritt 8: Die Implementierung ist in breiter Abstimmung mit allen Stakeholdern vorzunehmen. Ohne eine breite Akzeptanz wird die langfristige Energiepolitik zum Scheitern verurteilt sein. Da diese nicht leicht zu erreichen sein wird angesichts der tiefen Gräben in der aktuellen energiepolitischen Diskussion, ist ein langfristig angelegter Einsatz von Mitteln in Kommunikation, Bildung und Ausbildung notwendig, der den Nutzen einer langfristig nachhaltigen Energieversorgung und –nutzung in nachvollziehbarer Weise vermittelt. Diese Bestrebung ist einzubetten in allgemeine Anstrengungen, in Wirtschaft und Gesellschaft mehr Bewusstsein für langfristiges Denken zu wecken.

## 6.11 Finanz- und Zeitplan des Gesamtprojekts

Strukturierung des Gesamtprojekts	Betrag
Modul A: Potenziale	525
A1 Gebäude	75
A2 Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen	75
A3 Verkehr	75
A4 Stromerzeugung	75
A5 Verhalten bei Kauf, Investition, Nutzung	75
A6 Suffizienz	75
A7 Strukturbedingte Potenziale	75
Querschnittsstudien	200
Q1 Wirtschaftswachstum	100
Q2 Technologieentwicklung	100
Modul B: Strategien, Rahmenbedingungen, Massnahmen	325
B1 Entwicklung Szenarien	100
B2 Überblick/ Auswahl/ Optimierung SRM	150
B3 Akzeptanz	75
Modul C: Auswirkungen	300
C1 Modellphilosophie	100
C2 Auswirkungen SRM-Bündel	150
C3 Sensitivitätsanalyse	50
Modul D: Synthese und Umsetzung	250
D1 Synthese und Vorschlag Massnahmen	100
D2 Vorschlag MEPS	75
D3 Umsetzung	75
Total Finanzvolumen	1600

Abbildung 14: Finanzplan des Gesamtprojektes (Angaben in 1'000 Franken)

Strukturierung des Gesamtprojekts	03/1	03/2	03/3	03/4	04/1	04/2	04/	04/4	05/1	05/2	05/3	05/4
Modul A: Potenziale				ZB		SB						
Querschnittsstudien					SB							
Modul B: Strategien, Rahmenbedingungen, Massnahmen								SB				
Modul C: Auswirkungen									SB			
Modul D: Synthese und Umsetzung												SB

Bearbeitung ZB Zwischenbericht SB Schlussbericht

Abbildung 15: Zeitplan des Gesamtprojektes

# 7 Empfehlung für das weitere Vorgehen

Definitive und konkrete Empfehlung an BFE und CORE aufgrund der Folgerungen zu Machbarkeit und Nutzen des Gesamtprojektes nach Vernehmlassung des Schlussberichts

### Literaturverzeichnis

- Arend M. 1998. Environmental Policy, Social Exclusion and Climate Change. Theoretical Framework for the EPSECC-Project within the EU-Environment and Climate Programme. Zürich
- Bahn O. et al. 1997. A Multi-Regional MARKAL-MACRO Model to Study an International Market of CO<sub>2</sub> Emission Permits. Paul Scherrer Institut, Villigen
- Balthasar A. 2000. Energie 2000 Programmwirkungen und Folgerungen aus der Evaluation. Verlag Rüegger, Zürich
- Barker T., P. Zagame 1995. E3ME: An Energy-Environment-Economy Model for Europe. European Commission, Brüssel
- Barreto *et al.* 2002, Barreto L., A. Makihira, K. Riahi. The Hydrogen Economy in the 21<sup>st</sup> Century: A Sustainable Development Scenario. Submitted to *International Journal of Hydrogen Energy*
- Barreto L. 2001. Technological Learning in Energy Optimisation Models and Deployment of Emerging Technologies. Dissertation der ETH Zürich Nr. 14151
- Barreto L., S. Kypreos 2000. *Multi-Regional Technological Learning: Some Experiences with the MARKAL Model.* Paul Scherrer Institut, Villigen
- Barro R. J., X. Sala-i-Martin 1992. Economic Growth. McGraw-Hill
- Basics 1996. Perspektiven der Energienachfrage der Industrie 1990–2030. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Zürich
- Batjes J. J., C. G. M. Goldewijk 1994. The IMAGE 2 Hundred Year (1890–1990) Database of the Global Environment (HYDE). RIVM, Bilthoven
- BEI 2000, Bremer Energie Institut. Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Ausstiegs der Schweiz aus der Kernenergie. Teil I. Bremen, BEI
- BEI 2001, Bremer Energie Institut. Volkswirtschaftliche Auswirkungen des Ausstiegs der Schweiz aus der Kernenergie. Teil II. Bremen, BEI
- Beuret V. 2002. Weltenergieperspektiven und Versorgungssicherheit. Die Volkswirtschaft 6/2002, Bern
- BFE 2002, Bundesamt für Energie. Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2001. Bern
- BFS 1997, Bundesamt für Statistik. Umwelt in der Schweiz. Bern
- BFS 1999, Bundesamt für Statistik. *Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz. Materialien für ein Indikatorensystem.* Neuchâtel
- BFS 2000, Bundesamt für Statistik. *Der neue Landesindex der Konsumentpreise; Mai 2000 = 100. Methodenübersicht.* Neuchâtel

- BFS et al. 2002, Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Raumentwicklung. Nachhaltige Entwicklung messen: Einblick in MONET das Schweizer Monitoringssystem. Neuchâtel
- BMWi 2000, Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. *Energie Daten 2000*. Berlin, S. 26
- BMWi 2001, Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. *Nachhaltige Energie*politik für eine zukunftsfähige Energieversorgung. Berlin
- Böhringer C. 1997. NEWAGE Modellinstrumentarium zur gesamtwirtschaftlichen Analyse von Energie- und Umweltpolitiken. In: S. Molt, U. Fahl, Energiemodelle in der Bundesrepublik Deutschland Stand der Entwicklung. Forschungszentrum Jülich, S. 99–122
- Böhringer C. 1998. The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modelling. *Energy Economics*, S. 233–248
- Bossel H. 1999. *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications*. International Institute for Sustainable Development, Winnipeg
- Brodmann *et al.* 2001, Brodmann U., F. Gubler, F. Walter. *Nachhaltigkeit: Kriterien und Indikatoren für den Energiebereich.* Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie, Bern
- Brune W. 2002. Ressourcenverwendung und Nachhaltigkeit in der Energiewirtschaft. *Energiewirtschaft. Energiewirtschaft. Energiewirtschaft.* 2002. Schaftliche Tagesfragen 52(4), 206
- Burniaux J.-M. et al. 1992. GREEN: A Global Model for Quantifiying the Costs of Policies to Curb CO<sub>2</sub>-Emissions. OECD-Studies: The Economic Costs of Reducing Emissions No.19
- Buser et al. 2000, Buser M., P. Rossel, F. Bosset. Nouvelles formes de communication et de coopération des entreprises: conséquences pour les transports. NFP 41, Bericht A8, Bern
- Buser H., S. Kunz, R. Horbaty 1996. Windkraft und Landschaftsschutz. Studie im Auftrag des BFE, Bern
- Buwal 1995a, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs* 1950–2010. Schriftenreihe Umwelt Nr. 255. Bern
- Buwal 1995b, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. *Vom Menschen verursachte Luft-schadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900–2010.* Schriftenreihe Umwelt Nr. 256, Bern
- CAN 1995, Coalition Anti Nuclaire. In die Zukunft ohne Atomenergie. Zürich
- Cansier D. 1996. Umweltökonomie. 2., neubearbeitete Auflage, Lucius & Lucius, Stuttgart
- Capros P. 1996. PRIMES and GEM-E3 Contribution to Climate Change Policy Debate. National Technical University of Athens
- Capros P. et al. 1995. GEM-E3 Computable General Equilibrium Model for Studying Economy-Energy-Environment Interactions. European Commission, Brüssel
- Capros P., L. Mantzos 2000. The Economic Effects of EU-Wide Industry Level Emission Trading to Reduce Greenhouse Gases.

- Carraro C., M. Galeotti 1996. WARM: A European Model for Energy and Environmental Analysis. Fondazione Eni Enrico Mattei, Mailand
- Carraro C., M. Galeotti 1997. Economic Growth, International Competitiveness and Environmental Protection, R&D and Innovation Strategies with the WARM Model. *Energy Economics* **19**(1), 2–28
- Chandler D. L. 2002. Hydrogen utopia comes two steps closer. *New Scientist* vom 5. Oktober 2002, S. 14
- Commission E. 1993. HERMES, Harmonised Econometric Research for Modeling Economic Systems. Amsterdam
- Conrad K. 1993. *Problems of Modeling CO<sub>2</sub> Reductions with GE Models: Applied General Equilib*rium Modeling for Environmental Policy Analysis. In: W. Kuckhinrichs, W. Pfaffenberger, W. Ströbele, Economics of the Greenhouse Effect. Jülich, S. 33–88
- CORE 2002,. Eidgenössische Energieforschungskommission. Konzept der Energieforschung des Bundes 2004–2007. Bundesamt für Energie, Bern
- Criqui P. et al. 2000. The Efficiency of Energy R&D Expenditures.
- Dasen S., M. Engel 1998. *Technische Möglichkeiten im Personenfernverkehr auf der Schiene.* NFP 41, Bericht F4, Bern
- DBR 2002, Deutsche Bundesregierung. Perspektiven für Deutschland Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. Berlin
- DOE 2002, US Department of Energy. National Hydrogen Energy Roadmap. Washington D.C.
- Dolecek L. 2002. Übersicht über Energieperspektiven in der Schweiz 1994–2002 Fragestellungen, Vorgehen, Annahmen, Ergebnisse und Vergleiche. Bundesamt für Energie, Bern, http://www.energie-schweiz.ch/imperia/md/content/statistikperspektiven/2.pdf
- Dowlatabadi H., M. Granger Morgan 1993. Integrated Assessment of Climate Change. *Science* **259**, 1813
- DTC 2001, Dynamic Test Center. *Entwicklung des Flottenverbrauchs in der Schweiz*. Studie im Auftrag der Vereinigung Schweizerischer Automobil-Importeure.
- DTI 2003, UK Department of Trade and Industry. Energy White Paper: Our energy future creating a low carbon economy. TSO, Norwich
- **e c o** n c e p t 2000, Ökologische Steuerreform und marktwirtschaftliche Instrumente für eine nachhaltige Abfallwirtschaft, SPPU/IP Abfall, Zürich Jan. 2000
- Ecoplan 1996. Wirtschaftliche Auswirkungen der Energie-Umwelt-Initiative. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- Ecoplan 2001. Wirtschaftliche Auswirkungen der Volksinitiativen "Strom ohne Atom" und MoratoriumPlus". Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- Edmonds J. 1998. Climate Change Economic Modelling: Background Analysis for the Kyoto Protocol. OECD Workshop Paris
- EEA 2002, European Environment Agency. Environmental Signals 2002. Brüssel

- EIA 2002, Energy Information Administration. *International Energy Outlook 2002*. US Department of Energy, <a href="http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html">http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html</a>
- EK 1997, Europäische Kommission. Energie für die Zukunft: erneuerbare Energieträger Weissbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan. KOM(1997) 599 endgültig, Brüssel
- EK 1998, Europäische Kommission. Energy Efficiency in the EC Towards a Strategy for the Rational Use of Energy. COM(1998) 246 final, Brüssel
- EK 2000, Europäische Kommission. *Grünbuch "Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit"*. KOM(2000) 769 endgültig, Brüssel
- EK 2001a, Europäische Kommission. Einbeziehung der Umweltbelange und der nachhaltigen Entwicklung in die Energie- und in die Verkehrspolitik: Bewertungsbericht 2001 und Anwendung der Strategien. SEC(2001) 502, Arbeitspapier der Kommissionsdienststellen, Brüssel
- EK 2001b, Europäische Kommission. Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über alternative Kraftstoffe für den Strassenverkehr und ein Bündel von Massnahmen zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen. KOM(2001) 547 endgültig, Brüssel
- EK 2001c, Europäische Kommission. Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionsberechtigungen in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates. KOM(2001) 581 endgültig, Brüssel
- EK 2002, Europäische Kommission. Vorschlag für eine Entscheidung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Festlegung eines mehrjährigen Programms für Massnahmen im Energiebereich: Programm "Intelligente Energie für Europa" 2003-2006. KOM(2002) 162 endgültig, Brüssel
- EnergieSchweiz 2002. Ein fliegender Start 1. Jahresbericht EnergieSchweiz 2001/02. Bundeamt für Energie, Bern
- Enquete 2001, Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung" des Deutschen Bundestages. Erster Bericht. Drucksache 14/7509, Berlin
- Enquete 2002, Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung" des Deutschen Bundestages. Schlussbericht. http://www.bundestag.de/gremien/ener/schlussbericht/index.htm
- Espey S. 2001. Internationaler Vergleich energiepolitischer Instrumente zur Förderung von regenerativen Energien in ausgewählten Industrieländern. Dissertation der Universität Bremen
- Europäische Umweltagentur 1999. Umwelt in der Europäischen Union an der Wende des Jahrhunderts. Luxemburg
- Eurostat 2000. Statistik kurz gefasst. Thema 8-4/2000: Elektrizitätsstatistik. Luxemburg
- Eurostat 2001. Combined Heat and Power production (CHP) in the EU Summary of statistics 1994–1998. Luxemburg
- Eurostat 2002. Statistik kurz gefasst. Thema 8-1/2002: Die Energiewirtschaft 2000 aus statistischer Sicht. Luxemburg

- Factor 2001, Factor Consulting + Management AG. CO<sub>2</sub>-Szenario 2050. Studie im Auftrag der Eidgenössischen Energieforschungskommission (CORE), Zürich
- Felder St., R. Schleiniger 1998. Effizienz und politische Durchsetzbarkeit: Die Verwendung der Einnahmen einer CO<sub>2</sub>-Abgabe in der Schweiz. Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik **134** (3), 355–367
- Felder St., R. Schleiniger 2002. Environmental tax reform: Efficiency and political feasibility. *Ecological Economics* **42**, 107–116
- Filippini et al. 2001, Filippini M., S. Banfi, C. Luchsinger, J. Wild. Perspektiven für die Wasserkraft in der Schweiz Langfristige Wettbewerbsfähigkeit und mögliche Verbesserungspotenziale. Studie im Auftrag des BFE, Bern
- Fischedick *et al.* 2002, Fischedick M., J. Nitsch, St. Lechtenböhmer, Th. Hanke, C. Barthel, Ch. Jungbluth, D. Assmann, T. vor der Brüggen, F. Trieb, M. Nast, O. Langniss, L.-A. Brischke. *Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland.* Kurzfassung. Bericht im Auftrag des deutschen Umweltbundesamts, Berlin
- Forum 2002, Forum für Energiemodelle und Energiewirtschaftliche Systemanalysen (Hrsg.). Energiemodelle zum Kernenergieausstieg in Deutschland Effekte und Wirkungen eines Verzichts auf Strom aus Kernkraftwerken. Physica, Heidelberg
- Frischknecht R. 2001. Buwal-Bericht zu grauen Treibhausgasemissionen der Schweiz (Zitat fehlt)
- Gantner et al. 2001a, Gantner U., M. Jakob, St. Hirschberg. Perspektiven der zukünftigen Energieversorgung in der Schweiz unter Berücksichtigung von nachfrageorientierten Massnahmen. Paul Scherrer Institut, Villigen
- Gantner et al. 2001b, Gantner U., M. Jakob, St. Hirschberg. Perspektiven der zukünftigen Stromund Wärmeversorgung für die Schweiz. PSI-Bericht Nr. 01-12, Villigen
- Gielen D., T. Kram 1998a. *The MATTER Projekt on Integrated Energy/Materials Strategies for Western Europe*. IEA-ETSAP Workshop, Berlin
- Gielen R., T. Kram 1998b. *The Role of Kyoto Mechanisms: Result from MARKAL Analysis.* ECN-Policy Studies
- Göbelt M. 2001. Entwicklung eines Modells für die Investitions- und Produktionsprogrammplanung von Energieversorgungsunternehmen im liberalisierten Markt. Dissertation der Universität Karlsruhe
- Goulder L. H. 1995. Effects of Carbon Taxes in a Economy with Prior Tax Distortions: An Intertemporal General Equilibrium Analysis. *Journal of Environmental Economics and Management* **29**(3), 271–297
- Goulder L. H., K. Mathai 1999. Optimal CO<sub>2</sub> Abatement in the Presence of Induced Technological Change. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1–38
- Goulder L., S. Schneider 1999. Induced Technological Change and the Attractiveness of CO<sub>2</sub>
  Abatement Policies. *Resource and Energy Economics* **21**, 211–253
- Grübler A. 1998. Technology and Global Change. Cambridge University Press
- Grübler A., S. Messner 1998. Technological Change and the Timing of Mitigation Measures. *Energy Economics* **20**, 495–512

- Grübler et al. 1999, Grübler A., N. Nakicenovic, D. G. Victor. Dynamics of Energy Technology and Global Change. *Energy Policy* **27**, 247–280
- Gutscher M. 1996. Abschätzung des PV-Flächenpotenzials im schweizerischen Gebäudepark. Studie im Auftrag des BFE, Praktikumsbericht Polygon/Universität Freiburg, Freiburg
- Harmon C. 2000. Experience Curves of Photovoltaic Technology. International Institute for Applied Systems Analysis IIASA, Laxenburg
- Hasselmann *et al.* 2003, Hasselmann K., M. Latif, G. Hooss, C. Azar, G. Berz, O. Edenhofer, B. Hare, C. C. Jaeger, O. M. Johannessen, C. Kemfert, S. Singer, M. Welp, A. Wokaun. The Case for Long-term Mitigation of Anthropogenic Climate Change. Draft Paper to be submitted to *Science*
- Heinloth K. 1997. Die Energiefrage. Vieweg, Braunschweig
- Hourcade J. C., J. Robinson 1996. Mitigating Factors Assessing the Costs of Reducing GHG Emissions. *Energy Policy*, 863–873
- Hüglin Chr. 2000. Anteil des Strassenverkehrs an den PM<sub>10</sub>- und PM<sub>2.5</sub>-Immissionen. Chemische Zusammensetzung des Feinstaubes und Quellenzuordnung mit einem Rezeptormodell. EDMZ, Bestell-Nr. 801.683.d, Bern
- IDARio 2001, Interdepartementaler Ausschuss Rio (Hrsg.). Für eine Schweiz mit Zukunft. Nachhaltige Entwicklung als Chance für Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft. Bern
- IEA 2002, International Energy Agency. *Energy Efficiency Update*. www.iea.org/pubs/newslett/eneeff/Table.htm
- IEA 2002b. Potential for Building Integrated Photovoltaics. Report IEA-PVPS T7-4:2002 Summary
- IEA/OECD 2000. Experience Curves for Energy Technology Policy. Paris
- Imboden D. 2000. Energy forecasting and atmospheric CO<sub>2</sub> perspectives: two worlds ignore each other. *Integrated Assessment* **1**, 321–330
- Infras 1996. Perspektiven der Energienachfrage des Verkehrs 1990–2030. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Zürich/Bern
- Infras 2000. *Quantitative Aspekte einer zukunftsfähigen Schweiz*. Arbeitsbericht zuhanden WWF, SBN, Greenpeace, SGU, SES, Erklärung von Bern, Swisscoalition, Zürich
- Infras et al. 1996, Infras, Econcept, Prognos. Die vergessenen Milliarden: Externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich. Paul Haupt, Bern
- Infras/Ecoplan 1996. Economic Impact Analysis of Ecotax Proposals. Comparative Analysis. Final Report under the EU 3<sup>rd</sup> Framework Programme for CEC DG XII. Bern
- Infras/IWW 2000. External Costs of Transport. Studie im Auftrag der International Union of Railways (UIC), Zürich, Karlsruhe
- Infras/Prognos 2002. CO<sub>2</sub>-neutraler Ersatz der Atomenergie. Im Auftrag des BFE, Bern
- IPCC 1996, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Economic and Social Dimensions of Climate Change*. Cambridge University Press

- IPCC 2001, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2001 The Scientific Basis*. Third Assessment Report. Cambridge University Press
- Iten et al. 2001, Iten R., B. Oettli, E. Jochem, W. Mannsbart. Förderung des Exports im Bereich der Energietechnologien. Studie im Auftrag des BFE, Bern
- Jakob *et al.* 2002, Jakob M., E. Jochem, K. Christen. *Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden*. Entwurf Mai 2002, Center für Energy Policy and Economics, ETH Zürich
- Jochem E. 1997. Some Critical Remarks on Today's Bottom-up Energy Models. In: J. Hake, P. Markewitz (Hrsg.): Modellinstrumente für CO<sub>2</sub>-Minderungsstrategien. Forschungszentrum Zentralbibliothek, Jülich, S. 271–284
- Jochem E., J. Diekmann 2002. Überlegungen zu einer sachgerechten Handhabung von Kostenangaben für Energiesystem-Modelle mit langfristigen Zeithorizonten. Arbeitspapier im Rahmen des IKARUS-Projektes, ISI/DIW, Karlsruhe/Berlin
- Jochem et al. 2002, Jochem E., D. Favrat, K. Hungerbühler, Ph. R. von Rohr, D. Spreng, A. Wokaun, M. Zimmermann. Steps towards a 2000 Watt-Society. Developing a White Paper on Research & Development og Energy-Efficient Technologies. Studie im Auftrag von Novatlantis, Zürich
- Jorgenson D. W., P. J. Wilcoxen 1993. Reducing US Carbon Emissions: An Econometric General Equilibrium Assessment. *Resource and Energy Economics* **15**, 7–25
- Kaufmann U. 2002. Thermische Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz 1990 bis 2001. Dr. Eicher + Pauli AG, Liestal
- Kemfert C. 2000. Emissions Trading and its Impacts on World Economies Contemplation of Baseline Emissions Paths and a Ceiling on Emissions Trading. Nota Di Lavoro 01/2000, Fondazione ENI Enrico Mattei, Mailand
- Kemfert C., W. Kuckshinrichs 1995. MIS A Model-Based Macroeconomic Information System for Energy Analysis in Germany. Oldenburg
- Kemp R. 1997. Environmental Policy and Technical Change. A Comparison of the Technical Impact of Policy Instruments. Edward Elgar, Cheltenham UK, S. 263–278
- Kessler *et al.* 2002, Kessler S., R. Iten, K. Hacker.  $CO_2$ -neutraler Ersatz der Atomenergie. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern
- Kolke R. 1999. Technische Optionen zur Verminderung der Verkehrsbelastungen Brennstoffzellenfahrzeuge im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Deutsches Umweltbundesamt, UBA-Texte 33/99, Berlin
- Kouvaritakis N. et al. 2000. Endogenizing Technology Change in Energy Models: The POLES Experience.
- Kram T. 1998. History, the ETSAP Kyoto Statement and Post-Kyoto Analysis. FEES/ETSAP Workshop "Energy Models for Decision Support – New Challenges and Possible Solutions". ECN Policy Studies, Berlin
- Kram T. 1998. The Energy Technology Systems Analysis Programme: History, the ETSAP Kyoto Statement and Post-Kyoto Analysis. OECD Workshop: The Economic Modelling of Climate Change: Backround Analysis for the Kyoto Protocol, ECN Policy Studies, Paris

- Kröger *et al.* 2000, Kröger W., G. Sarlos, P.-A. Haldi, S. Hirschberg. *Nachhaltige Entwicklung und Energie. Antworten zu 10 Schlüsselfragen.* Studie im Auftrag der Schweizerischen Gesellschaft der Kernfachleute, Villigen
- Kübler K. 2001. Glanz und Elend quantitativer Ziele in der Energiepolitik Zur aktuellen Situation in der Europäischen Gemeinschaft. Zeitschrift für Energiewirtschaft **25**(1), 67–71
- Kumbaroglu G., R. Madlener 2001. A Description of the Hybrid Bottom-up CGE Model SCREEN with an Application to Swiss Climate Policy Analysis. Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich
- Larsen H., L. S. Petersen (eds.) 2002. New and Emerging Technologies Options for the Future. Risø Energy Report 1, Risø National Laboratory, Roskilde
- Leist A. 1991. *Intergenerationelle Gerechtigkeit*. In: K. Bayertz (Hrsg.): Praktische Philosophie, Rowohlt, Hamburg, 322–360
- Lüth O. 1997. Strategien zur Energieversorgung unter Berücksichtigung von Emissionsrestriktionen. VDI-Verlag, Düsseldorf
- Maibach *et al.* 1998, Maibach M., Chr. Schreyer, M. Lebküchner, S. Mauch. *Zukunftsgüterbahn.* NFP 41, Bericht B5, Bern
- Mangold D., E. Hahne 1998. Aktuelle und künftige Kosten thermischer Solaranlagen. Vortrag am 8. Syposium Thermische Solarenergie, 13.–15. Mai 1998
- Manne A. S. 1999. *Equity, Efficiency, and Discounting*. In: P.R. Portney, J.P. Weyant (eds.), Discounting and Intergenerational Equity, Resources for the Future, Washington D.C., 111–129
- Manne A. S. *et al.* 1995. MERGE A Model for Evaluating Regional and Global Effects of GHG Reduction Policies. *Energy Policy* **23**(1), 17–34
- Manne A. S., C. O. Wene 1994. MARKAL/MACRO: A Linked Model for Energy-Economy Analysis. In: J. F. Hake, M. Kleemann, W. Kuckshinrichs, D. Martinsen and M. Walbeck, Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level. Jülich, S. 153–191
- McDonald A., L. Schrattenholzer 2001. Learning Rates for Energy Technologies. *Energy Policy* **29**, 255–261
- McKibbin J. W., J. P. Wilcoxen 1999. *Permit Trading Under the Kyoto Protocol and Beyond*. EMF/IEA/IEW Workshop, International Energy Agency, Paris
- Meier R. 1998. Sozioökonomische Aspekte von Klimaänderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz. vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich (ISBN 3 7281 2603 9)
- Meier R. 2001. Strategie nachhaltiger Flugverkehr Zürich. Auslegeordnung und Ansätze aus Sicht der Stadt Zürich. Studie im Auftrag des Hochbauamts der Stadt Zürich, Bern
- Messner S., M. Strubegger 1994. *The Energy Model MESSAGE III*. In: J. F. Hake, M. Kleemann, W. Kuckshinrichs, D. Martinsen and M. Walbeck, Advances in Systems Analysis: Modelling Energy-Related Emissions on a National and Global Level, Jülich, S. 29–49
- Meyer B. 1998. *Panta Rhei: Econometric E3 Modelling for Germany*. In: E. S. Läge, Energy Models for Decision Support New Challenges and Possible Solutions, S. 155–167

- Moody-Stuart M. 2000. *The Introduction of Hydrogen Into Energy Markets*. International Hydrogen Energy Forum, Vortrag vom 11. September 2000, München
- Mühlethaler et al. 2002, Mühlethaler F., M. Arend, M. Steierwald, S. Martens, K. Axhausen. Das vernetzte Fahrzeug Verkehrstelematik für Strasse und Schiene. Studie im Auftrag der TA-Swiss, Bern
- Neuman K., M. Morlock 1993. Operations Research. Hanser-Verlag, München
- Nordhaus W. D. 1993. Rolling the 'DICE': An Optimal Transition Path for Controlling Greenhouse Gases. *Resource and Energy Economics* **15**, 27–50
- Nordhaus W. D. 1994. Managing the Global Commons. MIT Press, Cambridge
- Nordhaus W. D. 1999. Modelling Induced Innovation in Climate Change Policy. Laxenburg
- Nordhaus W. D., Z. Yang 1996. RICE: A Regional Dynamic General Equilibrium Model of Optimal Climate-Change Policy. *American Economic Review* **86**(4), 741–765
- Nowak et al. 2002, Nowak S., M. Gutschner, G. Favaro. Impact of Technology Developments and Cost Reductions on Market Growth.
- Nowak S. 2002. *Photovoltaik in der Schweiz Chancen und Herausforderungen.* Studie für EnergieSchweiz, St. Ursen
- OECD 2001. Environmentally Sustainable Transport Synthesis Report. Paris
- OECD 2002. Policy Instruments for Achieving Environmentally Sustainable Transport. Paris
- OECD/IEA 2000. Energy Technology and Climate Change. A Call to Action. Paris
- OECD/IEA 2001. Saving Oil and Reducing CO<sub>2</sub> Emissions in Transport. Options & Strategies. Paris
- Pearce F. 2000. Kicking the habit. New Scientist vom 25. November 2000, S. 36-42
- Pearce F. 2002. Mamma mia. New Scientist vom 20. Juli 2002, S. 38-41
- Peck S. C., T. J. Teisberg 1992. CETA: A Model for Carbon Emission Trajectory Assessment. *The Energy Journal* **13**(1), 55–77
- Pfaffenberger W., W. Ströbele 1995. *Makroökonomisches Informationssystem IKARUS*, Band 1-3, Oldenburg
- PIU 2001, Performance and Innovation Unit. *Energy Systems in 2050*. Working Paper, Energy Review Advisory Group. <a href="https://www.piu.gov.uk/2002/energy/report/working%20papers/PIUh.pdf">www.piu.gov.uk/2002/energy/report/working%20papers/PIUh.pdf</a>
- PIU 2002, Performance and Innovation Unit. The Energy Review. UK Cabinet Office, London
- Prognos 1996a. Energieperspektiven der Szenarien I bis III 1990–2030. Synthesebericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- Prognos 1996b. Perspektiven der Energienachfrage des tertiären Sektors 1990–2030. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern

- Prognos 1996c. Perspektiven der Energienachfrage der privaten Haushalte 1990–2030. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- Prognos 1996d. *Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebotes 1990–2030.* Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- Prognos 1996e. Wirtschaftliche Auswirkungen der Szenarien IIa und IIb. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- Prognos 1997. Ergänzungen zu den Energieperspektiven 1990–2030: Szenario IV: Verschärfte und auf Nachhaltigkeit ausgerichtete CO₂-Reduktion (Synthesebericht), und Sensitivitäts-analyse zu Szenario I: Beschlossene Politik, tieferes Wirtschaftswachstum. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- Prognos 2000a. Energetische und klimatische Auswirkungen der Förderabgabe und der Abgabe gemäss Grundnorm. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- Prognos 2000b. Entwicklung und Bestimmungsgründe des Energieverbrauchs 1990 bis 1999 und 2000. Synthesebericht. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- Prognos 2001. Szenarien zu den Initiativen "Strom ohne Atom" sowie "MoratoriumPlus". Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern
- PSI 2001, Paul Scherrer Institut. *Projekt GaBE: Ganzheitliche Bewertung von Energiesystemen.* Villigen
- Rangosch S. 2000. Neue Kommunikationsmedien: Einsatz in Unternehmen und Auswirkungen auf den Verkehr. NFP 41, Bericht A7, Bern
- Rigassi et al. 2003, Rigassi R., Eicher H.P. Eicher und Pauli; Ott W. econcept, Technologie-Monitoring, im Auftrag des BFE/EWG, Bern, März 2003
- Roth I., D. Altwegg 2001. Struktur des Indikatorensystems und Auswahl der Indikatoren. Arbeitspapier zum Projekt MONET, BFS, Buwal, ARE, Neuchâtel
- Rotmans J., H. Dowlatabadi 1998. *Integrated Assessment of Climate Change: Evaluation of Models and Other Methods.* In: S. Rayner, E. Malone (eds.), Human Choice and Climate Change: An International Social Science Assessment, Batelle Press
- Ruh H., A. Zuberbühler 1999. Kurswechsel in der Energiediskussion. *Neue Zürcher Zeitung* vom 6. Januar 1999
- S.A.F.E. 2001, Schweiz. Agentur für Energieeffizienz. *Energieeffizienz bei Elektrogeräten.* Studie im Auftrag des BFE, Zürich/Bern
- SATW 1999, Schweizerische Akademie der technischen Wissenschaften. CH50% Eine Schweiz mit halbiertem Verbrauch an fossilen Energien. SATW-Bericht Nr. 30, Zürich
- SBR 1999, Schweizerischer Bundesrat. Bericht über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone vom 23. Juni 1999. BR 99.077, Bundesblatt Nr. 38, 7735–7758
- SBR 2002, Schweizerischer Bundesrat. Strategie Nachhaltige Entwicklung 2002. Bern
- Scheer et al. 2002, Scheer R., B. Parks, S. Chalk. The Hydrogen Economy: An Alternative Energy Future? Renewable Energy World 7/8 (2002), 81–84

- Scheller A., D. Altwegg 2001. Von der Definition zu den Postulaten nachhaltiger Entwicklung. Arbeitspapier zum Projekt MONET, BFS, Buwal, ARE, Neuchâtel
- Scherer G. G., A. Röder 2001. Auswirkungen der Brennstoffzellen-Technologie auf die Entwicklung alternativer Antriebe im Automobilbereich. *Automobiltechnische Zeitschrift* **103** (4), 274–281
- Schleiss A. 1998. Perspektiven der Schweiz im weltlichen Ausbau der Wasserkraft. *Bulletin SEV/VSE* 22/98
- Schwartz und Partner 2002. CO<sub>2</sub>-Reduktionspotential Erdgas, Phase 1: Referenzszenario. CEPE, PSI, ESU services, Zürich
- SGS 1996, Schweizerische Greina Stiftung. Neue SGS-Energiestudie 1996 bis 2070 Marktwirtschaft im Schweizer Landschafts- und Gewässerschutz. Zürich
- Shell 2001. Energy Needs, Choices and Possibilities. Scenarios to 2050. Shell International Ltd, London
- Shoven J. B., J. Whalley 1992. *Applying General Equilibrium*. Cambridge Surveys of Economic Literature
- SOFAS 2002. *Markterhebung Sonnenenergie 2001*. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern
- SPPU 1999, Schwerpunktprogramm Umwelt Schweiz. Integriertes Projekt Abfall. Panorama 12/99
- Spreng D., M. Semadeni 2001. *Energie, Umwelt und die 2000 Watt-Gesellschaft.* Centre für Energy Policy and Economics, Cepe Working Paper Nr. 11, Zürich
- Steger U. et al. 2002. Nachhaltigkeit, Energie, Innovation. Springer, Berlin
- Steiger W. 2000. Die Chancen von alternativen Antriebssystemen. *Erdöl Erdgas Kohle* **116** (9), 456–461
- Stephan G., D. Imboden 1995. Laissez-faire, Kooperation oder Alleingang: Klimapolitik in der Schweiz. Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik 131(2): 203–226
- Stiftung Entwicklung und Frieden 1999. Globale Trends 2000. Fakten, Analysen, Prognosen. Bonn
- Tewes B. 1992. EFOM als Optimierungsmodell für die Energieangebotsseite auf volkswirtschaftlicher Ebene zur Berücksichtigung externer Kosten. Fernuniversität Hagen
- Tol R. S. J. 1999. Kyoto, Efficiency, and Cost-Effectiveness: Applications of FUND. *The Energy Journal*, Special Issue: The Costs of the Kyoto Protocol: A Multi-Model Evaluation, 131–156
- Tol R. S. J. 1999. Time Discounting and Optimal Emission Reduction: An Application of FUND. *Climate Change* **41**, 351–362
- Turton et al. 2002. Long-Term Greenhouse Gas Scenarios. A pilot study of how Australia can achieve deep cuts in emissions. Discussion Paper No. 48, The Australia Institute
- Umweltrat 2002, Sachverständigenrat für Umweltfragen der Deutschen Bundesregierung. *Umweltgutachten 2002*. Schäffer-Pöschel

- UNEP 1992, United Nations Environment Program (Hrsg.). *UNEP Greenhouse Gas Abatement Costing Studies*. Riso National Laboratory, Roskilde
- United Nations 1996. Indicators of Sustainable Development Framework and Methodologies. New York
- UVEK 2001, Departement für Umwelt, Verkehr, Energie, Kommunikation. *Departementsstrategie UVEK*. Bern
- UVEK 2002, Departement für Umwelt, Verkehr, Energie, Kommunikation. Stand der Energiepolitik in den Kantonen. Bern
- VES 2001, Verkehrswirtschaftliche Energiestrategie. Zweiter Statusbericht der Task-Force an das Steering Committee. Kurzfassung, 13. Juni 2001
- VSE 1995, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke. Vorschau 1995 auf die Elektrizitätsversorgung in der Schweiz bis zum Jahr 2030. VSE, Zürich
- WEC 2001, World Energy Council. Living in One World. WEC, London
- Welsch H. 1996. Klimaschutz, Energiepolitik und Gesamtwirtschaft: Eine allgemeine Gleichgewichtsanalyse für die Europäische Union. Oldenbourg-Verlag, München
- Welsch H., F. Hoster 1995. A General Equilibrium Analysis of European Carbon/ Energy Taxation: Model Structure and Macroeconomic Results. *Zeitschrift für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften* **115**(2), 275–303
- Wene C. 2000. Experience curves for energy technology policy. International Energy Agency, Paris
- Wietschel M. 1995. Die Wirtschaftlichkeit klimaverträglicher Energieversorgung. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Wüest und Partner 1994. Basisdaten und Perspektiven zur Entwicklung des Gebäudeparkes 1990–2030. Zürich
- ZAP 2000, Zentrum für Abgas- und Partikelanalytik. ZAP-Informationstag: Feinstaub:  $PM_{10}$  und  $PM_{2.5}$ . Tagungsband. EMPA, Dübendorf

## **Impressum**

#### Auftraggeber:

Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen des Bundesamtes für Energie

#### Auftragnehmer:

Arbeitsgemeinschaft Factor Consulting + Management AG und econcept AG, Zürich

#### Autoren:

Marco Berg (Factor Consulting + Management AG)

Urs Brodmann (Factor Consulting + Management AG)

Walter Ott (econcept AG)

#### Begleitgruppe:

- M. Beck, Bundesamt für Energie
- A. Gut, Bundesamt für Energie, CORE-Sekretär
- M. Höckel, HTA Biel
- D. Imboden, Professor für Umweltphysik, ETH Zürich
- E. Jochem, Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich
- R. Meier, Programmleiter EWG
- E. Mohr, Institut für Wirtschaft und Ökologie, HSG
- Th. Stadler, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
- H.-R. Zulliger, Präsident CORE

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes "Energiewirtschaftliche Grundlagen" des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt sind allein die Autoren verantwortlich.