

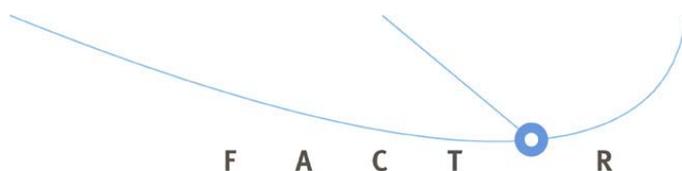
Vision 2050: Nachhaltige Energieversorgung und Energienutzung in der Schweiz

**Executive Summary
April 2003**

Ausgearbeitet durch:
**Arbeitsgemeinschaft
Factor Consulting + Management AG & e concept AG**

In Zusammenarbeit mit:
bremer energie institut
Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung, Karlsruhe

Im Auftrag von:
Bundesamt für Energie



Impressum

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen des Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

Arbeitsgemeinschaft Factor Consulting + Management AG und **e c o n c e p t** AG, Zürich

Autoren:

Marco Berg (Factor Consulting + Management AG)

Urs Brodmann (Factor Consulting + Management AG)

Walter Ott (**e c o n c e p t** AG)

Unter Mitwirkung von: Michael Frank (Stromerzeugung, Modelle), Eberhard Jochem (Modelle), Claudia Kemfert (Modelle), Wolfgang Pfaffenberger (Politik im EU-Raum)

Begleitgruppe:

M. Beck, Bundesamt für Energie (bis September 2002)

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

P. Previdoli, Bundesamt für Energie (ab Oktober 2002)

Th. Stadler, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft

H.-R. Zulliger, Präsident CORE

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

Inhaltsverzeichnis

Das Wichtigste in Kürze	III
L'essentiel en bref.....	VII
1 Einleitung.....	1
2 Bedarf für eine Langfriststrategie im Energiebereich	4
2.1 Wofür Langfriststrategien im Energiebereich?.....	4
2.2 Energiepolitische Strategien und Ziele im EU-Raum.....	5
2.3 Energiepolitische Strategien und Ziele der Schweiz.....	7
2.4 Folgerungen zum Bedarf für ein Gesamtprojekt.....	9
3 Forschungsbedarf im Hinblick auf eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik	11
3.1 Technologiepotenziale und Verhaltenspotenziale	11
3.2 Rahmenbedingungen, Strategien und Massnahmen	15
3.3 Modelle für die ökonomische Auswirkungsanalyse	18
3.4 Folgerungen zum Forschungsbedarf im Gesamtprojekt.....	20
4 Nachhaltigkeitsindikatoren und Zielwerte.....	22
4.1 Einführung und Zielsetzung	22
4.2 Auswahl der Leit- und Evaluationsindikatoren.....	23
4.3 Zielwerte für die Leitindikatoren.....	25
5 Struktur und Aufgaben des Gesamtprojekts	30
5.1 Nutzen des Gesamtprojektes	30
5.2 Vorschlag zum Vorgehen beim Gesamtprojekt	30
5.3 Module des Gesamtprojektes	33
5.4 Möglicher Finanzplan des Gesamtprojekts.....	38
5.5 Grenzen des Gesamtprojektes	39
6 Empfehlung für das weitere Vorgehen	40

Das Wichtigste in Kürze

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 in einem Zeitraum von 50 Jahren am Ziel einer 2000 Watt-Gesellschaft und einem Pro-Kopf-Ausstoss von 1 Tonne CO₂ pro Jahr auszurichten. **Ziel der vorliegenden Studie ist**, den Nutzen und das Vorgehen einer vom BFE geplanten Studienreihe (nachfolgend „Gesamtprojekt“ genannt) zu klären, welche für die Schweiz Wege zu einer nachhaltigen Energieversorgung und Energienutzung bis ins Jahr 2050 aufzeigen soll.

Dazu wird beleuchtet, welches die Chancen und Risiken für die Schweiz im europäischen Umfeld sind, wenn sie eine Langfriststrategie im Energiebereich einschlägt bzw. unterlässt. **Es werden die Forschungsfragen identifiziert**, die im Rahmen des Gesamtprojektes zu bearbeiten wären, um eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik formulieren zu können. Dies betrifft die Bereiche der technischen Potenziale und Verhaltenspotenziale, der energiepolitischen Strategien und Massnahmen und ihrer Akzeptanz sowie der Bestimmung der Auswirkungen der Energiepolitik auf Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Ein Schwergewicht wird gelegt auf die Frage, inwieweit auf die bestehenden Energieperspektiven aufgebaut werden kann bzw. über diese hinausgegangen werden muss.

Es gibt (nicht nur) in der Schweiz einen Bedarf für eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik. Energierrelevante Technologien und Strukturen zeichnen sich zum Teil durch sehr lange Reinvestitionszyklen und Vorlaufzeiten der Forschung und Entwicklung aus. Mehr als die Hälfte des derzeitigen Primärenergieverbrauchs fällt in Bereichen an, wo in den nächsten Jahren anstehende Entscheidungen über Forschungs- und Entwicklungsausgaben oder gar konkrete Investitionsentscheidungen die Gestalt des Energiesystems in 2050 massgeblich beeinflussen. Die Politik verschenkt deshalb 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. Die Politik muss im Hinblick auf die Langfristziele bereits heute Strategien, Instrumente und Massnahmen entwickeln und umsetzen.

In der Schweiz fehlen klare Vorstellungen zu den langfristig anzustrebenden Nachhaltigkeitszielen. Zudem fehlt ein Instrumentarium, mit welchem die Wirkung energiepolitischer Strategien und Massnahmen zum Erreichen dieser Ziele beurteilt werden kann. Vorarbeiten für eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik wie die der deutschen Enquete-Kommission oder das britische Energie-Weissbuch liegen in dieser Form (Aktualität, Zeithorizont) für die Schweiz nicht vor. Sie wären jedoch klar erwünscht, würden sie doch die Glaubwürdigkeit der bundesrätlichen Nachhaltigkeitsziele deutlich erhöhen, in-

dem sie die Anforderungen einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik, ihre prinzipiellen Optionen sowie ihre Chancen und Risiken nüchtern aufzeigen könnten.

Ein **Bedarf für das geplante Gesamtprojekt** besteht, weil die wissenschaftlichen Grundlagen für den Entwurf einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik in der Schweiz erst ansatzweise vorhanden sind. Insbesondere sollte eine Langfriststrategie bis 2050 im Vergleich mit den bestehenden Energieperspektiven auf neu erarbeiteten Grundlagen basieren, die der Dynamik der Technologieentwicklung vermehrt Rechnung tragen. Zudem sind verstärkte Überlegungen nötig zu den möglichen, auch visionären, langfristigen Trends gesellschaftlich-wirtschaftlicher Veränderungen und den daraus resultierenden Veränderungen der Energiedienstleistungsbedürfnisse.

Forschungsbedarf besteht in viererlei Hinsicht:

1. in der wesentlich genaueren Analyse der in den Energieperspektiven getroffenen, tendenziell zu konservativen Annahmen zu **Technologiepotenzialen** sowie im Einbezug von **Potenzialen zur Minderung der Energiedienstleistungs-Nachfrage**. Nötig ist eine umfassendere, präzisere Abbildung der technischen Entwicklung im Referenzfall bis 2050; ein systematisch betriebenes, vorausschauendes Technologiemonitoring; die Neuerfassung von Potenzialen im Bereich Energie- und Stoffflüsse und Verhaltensänderungen.
2. zu den **treibenden Kräften der Energiedienstleistungs-Nachfrage in Wirtschaft und Gesellschaft**. Dabei geht es um die Erfassung der Tendenzen in bezug auf Art und Organisation wirtschaftlicher Aktivitäten in der Schweiz, auf Arbeits-, Lebens- und Freizeitformen sowie auf den internationalen Rahmen (Preise, Klimapolitik etc.). Nötig ist auch diesbezüglich ein gegenüber den Energieperspektiven verbessertes Referenzszenario bis 2050.
3. bei der **Identifikation und Evaluation** langfristig wirkender **Massnahmen und Instrumente**, namentlich zur Behebung von Marktunvollkommenheiten; zur Förderung von gesellschaftlichem Lernen (Verhaltenspotenziale); zur Überwindung von Akzeptanzbarrieren; der Innovations- und Technologiepolitik.
4. zur **Weiterentwicklung langfristiger, umfassender Politiksimulationen**. Im Vordergrund stehen sog. **hybride Ansätze**, die die Stärken von technologieorientierten Bottom-up-Modellen und makroökonomischen berechenbaren Gleichgewichtsmodellen kombinieren. Die wesentliche Schwierigkeit besteht im Finden der problemadäquaten Balance zwischen Reduktion und Abbildung der enormen Komplexität der Zusammenhänge unter Berücksichtigung der langfristig gegebenen Unsicherheiten. Im Vordergrund steht die zweckmässige Ausgestaltung und Anwendung der in der Schweiz vorhandenen Modelle.

Der **Nutzen eines Gesamtprojektes**, das sich diesem vierfachen Forschungsbedarf widmen würde, besteht in folgendem: Es zeigt die Anforderungen an die Schweizer Energiepolitik auf, die eine Ausrichtung des Energiesystems auf bis 2050 formulierte Nachhaltigkeitsziele mit sich bringt. Es gibt Hinweise auf den kurz- und mittelfristigen energiepolitischen Handlungsbedarf im Hinblick auf das Erreichen der Langfristziele. Es liefert Grundlagen für die Ableitung des langfristig einzuschlagenden Nachhaltigkeitspfads und die auf ihn führenden Strategien und Massnahmen. Es bildet die Basis für den politischen Diskurs über die Nachhaltigkeitsstrategie bis 2050.

Konkret schlagen wir vor, das Gesamtprojekt zur Realisierung dieses Nutzens entlang den Erfordernissen der **Backcasting-Technik** zu strukturieren. Die Backcasting-Technik ist am besten geeignet zur Formulierung der Strategien und Massnahmen, die zum Erreichen langfristiger Nachhaltigkeitsziele erforderlich sind. Anders als bei den bestehenden Energieperspektiven ist dabei ein **normativer bzw. zielorientierter Ansatz der Szenariobildung** verlangt. Damit verbunden ist eine Umkehrung der bisherigen Herangehensweise der Energieperspektiven, welche die Auswirkungen bestimmter Strategien und Massnahmen ermittelten. Im Hinblick auf eine langfristig nachhaltige Energiepolitik steht jedoch im Vordergrund, welches die optimalen Strategien und Massnahmen sind, um bestimmte, vorgegebene Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Vom Prinzip her nicht neu, wurde die Backcasting-Technik im Bereich langfristiger Energieszenarien bislang kaum angewendet.

Die ersten Schritte eines Backcasting-Verfahrens – **Auswahl von Kriterien und Indikatoren für Nachhaltigkeit sowie von Zielwerten für das Zieljahr 2050** – werden in der vorliegenden Studie bearbeitet. Für die Behandlung der weiteren Schritte schlagen wir vor, das Gesamtprojekt in **drei Module mit insgesamt acht Studien** zu unterteilen. In diesen werden die Grundlagen bereitgestellt zur Formulierung eines Referenzszenarios sowie dreier **Zielszenarien** bis 2050 und zur Formulierung von spezifischen Bündeln von Strategien und Massnahmen, mit denen ein Zielszenario umgesetzt werden kann. Die Zielszenarien verfolgen den Zweck, politische und energiewirtschaftliche Pfade aufzuzeigen, auf denen die formulierten Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können. Der Vergleich verschiedener, in sich konsistenter Zielszenarien illustriert, in welchen Bandbreiten sich zukünftige Entwicklungen abspielen können, und zeigt die Vor- und Nachteile und Zielkonflikte dieser Pfade auf, die je unterschiedliche Gewinner und Verlierer hervorbringen und mit je unterschiedlichen Kosten verbunden sein werden.

Es werden jeweils konkrete Vorschläge zum Inhalt der Studien und zum methodischen Vorgehen entwickelt sowie die Querbezüge zwischen den Studien aufgezeigt. In einem vierten Modul werden die Ergebnisse ausgewertet und kommuniziert sowie Empfehlungen formuliert.

L'essentiel en bref

A l'avenir, l'approvisionnement énergétique et l'utilisation de l'énergie en Suisse devront être axés davantage sur le principe du développement durable. Dans la stratégie qu'il a élaborée à ce sujet, le Conseil fédéral recommande d'orienter les politiques énergétique et climatique de la Suisse, en l'espace de 50 ans, sur le double objectif d'une société à 2000 watts et d'une quantité d'émissions de CO₂ d'une tonne par tête et par an. **Le présent document vise à** déterminer l'intérêt que revêt une série d'études planifiée par l'OFEN (intitulée ci-après «Projet global») et la procédure à adopter; ces études proposeront à la Suisse des pistes pour mettre en place, d'ici 2050, un approvisionnement énergétique et une utilisation de l'énergie durables.

A cette fin sont mis en lumière les chances et les risques qu'encourrait la Suisse, dans le contexte européen, si elle adoptait une stratégie à long terme dans le secteur énergétique ou si elle y renonçait. Pour formuler une politique énergétique durable, axée sur le long terme, il s'agit **d'identifier les objets de recherche** qu'il faudrait aborder dans le cadre du projet global. Cela concerne les potentialités sur le plan de la technique et du comportement, les stratégies et les mesures à adopter en matière de politique énergétique ainsi que leur acceptation, la détermination des impacts de cette politique sur l'économie, la société et l'environnement. Le problème principal consiste à savoir dans quelle mesure on peut se baser sur les perspectives énergétiques existantes ou s'il faut les dépasser.

La Suisse n'est pas le seul pays à ressentir le besoin d'adopter une politique énergétique durable, axée sur le long terme. Les technologies et les structures énergétiques se caractérisent parfois par de très longs cycles de réinvestissement et délais de commercialisation de la recherche et du développement. Plus de la moitié de la consommation d'énergie primaire actuelle touche des secteurs où, ces prochaines années, les décisions à prendre concernant les dépenses liées à la recherche et au développement, voire des décisions concrètes sur les investissements, exerceront une influence décisive sur la forme que prendra le système énergétique en 2050. Par conséquent, lorsqu'il ne se fixe pas d'objectifs à long terme dans le secteur énergétique, le monde politique laisse une certaine marge de manœuvre. Or, seuls ces objectifs permettront d'analyser, de planifier et d'évaluer la politique énergétique actuelle dans ses effets à long terme. Pour les objectifs à long terme, il incombe d'ores et déjà au monde politique d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies, des instruments et des mesures.

La Suisse manque d'idées claires sur les objectifs qu'elle doit se fixer à long terme concernant le développement durable. En outre, elle ne dispose pas d'un instrument qui lui permettrait d'évaluer l'impact des stratégies et des mesures qu'elle aurait adoptées en matière de politique énergétique pour atteindre ces objectifs. Contrairement à la com-

mission d'enquête allemande ou au livre blanc britannique sur l'énergie, elle n'envisage pas de travaux préparatoires sous cette forme (actualité, calendrier) pour mettre en place une politique énergétique durable, axée sur le long terme. Pourtant souhaitables, ces travaux accroîtraient la crédibilité du Conseil fédéral quant aux objectifs qu'il s'est fixés en matière de développement durable en mettant en lumière les exigences d'une politique énergétique à long terme, ses principales options ainsi que ses chances et ses risques.

Le besoin de planifier un projet global se fait sentir, car les bases scientifiques nécessaires à l'élaboration d'une politique énergétique durable, axée sur le long terme, en Suisse ne sont qu'à l'état d'ébauche. En comparaison avec les perspectives énergétiques actuelles, une stratégie à adopter jusqu'en 2050 devrait en particulier s'appuyer sur de nouvelles bases prenant mieux en compte la dynamique du développement technologique. Il faudrait en outre réfléchir davantage aux tendances, même visionnaires, qui pourraient se dessiner à long terme en rapport avec les changements socio-économiques et la réorientation des besoins en énergie qui en découlerait.

Les besoins en matière de recherche se manifestent sous quatre formes:

1. dans l'analyse nettement plus précise des hypothèses sur les **potentiels technologiques**, par trop conservatrices, présentées dans les perspectives énergétiques, ainsi que dans l'intégration **des potentiels de réduction de la demande d'énergie**. Il faut une représentation complète, plus précise, du développement technique pour le cas de référence jusqu'en 2050; un monitoring technologique systématique, prévisionnel; une réévaluation des potentialités qu'offrent les flux d'énergie et de matière ainsi que les changements de comportement.
2. dans **l'accroissement de la demande d'énergie dans l'économie et la société**. Il s'agit de saisir les tendances par rapport au type d'activités économiques en Suisse et à l'organisation qui les sous-tend, aux modes de travail, de vie ou de loisir ainsi qu'aux contextes internationaux (prix, politique climatique, etc.). Il faut à cet égard optimiser le scénario de référence jusqu'en 2050 par rapport aux perspectives énergétiques.
3. dans **l'identification et l'évaluation des mesures et des instruments** efficaces à long terme, notamment pour gommer les imperfections du marché; pour promouvoir l'apprentissage social (potentiels liés au comportement); pour vaincre les réticences face aux politiques en matière d'innovation et de technologie.
4. dans **le développement de simulations politiques exhaustives, axées sur le long terme**. Il s'agit prioritairement de **solutions hybrides** qui combinent les atouts des modèles inversés (bottom-up) axés sur la technologie à ceux des modèles d'équilibre macroéconomique. La difficulté principale consiste à trouver la balance adéquate entre la schématisation et la représentation fidèle de l'énorme complexité de la situation compte tenu des incertitudes à long terme. Il faut en premier lieu élaborer et appliquer de manière appropriée les modèles existant en Suisse.

L'intérêt d'un projet global qui serait consacré à ce quadruple besoin en matière de recherche est le suivant: il mettra en lumière les exigences vis-à-vis de la politique énergétique suisse, qui impliquent une orientation du système énergétique sur les objectifs formulés en matière de développement durable jusqu'en 2050. Il renseignera sur les priorités à court et à moyen terme de la politique énergétique en fonction des objectifs à atteindre à long terme. Il fournira les bases permettant d'orienter le cheminement à long terme vers le développement durable et d'élaborer les stratégies et les mesures qui en découlent. Il fondera le débat politique qui tournera autour de la stratégie à adopter jusqu'en 2050 pour le développement durable.

Concrètement, nous proposons de structurer le projet global en fonction des exigences de la **technique de «backcasting»**. Celle-ci est la plus appropriée pour formuler les stratégies et les mesures requises pour atteindre les objectifs définis à long terme en matière de développement durable. Contrairement à ce qui se passe pour les perspectives énergétiques existantes, la **constitution du scénario** doit ici se baser sur une **approche normative, axée sur les objectifs**. Elle implique un renversement de l'ancienne approche des perspectives énergétiques, lesquelles cherchaient à déterminer les impacts de certaines stratégies ou mesures. Toutefois, dans la perspective d'une politique énergétique durable, il convient surtout d'optimiser les stratégies et les mesures qui permettront d'atteindre des objectifs prédéfinis. Bien qu'elle ne soit pas nouvelle dans son principe, la technique de «backcasting» n'a jusqu'à présent guère servi pour les scénarios énergétiques à long terme.

La présente étude définit les premières étapes d'une méthode de «backcasting» – **sélection de critères et d'indicateurs pour le développement durable, de valeurs cibles pour 2050**. Pour mettre sur pied les étapes suivantes, nous proposons de subdiviser le projet global en **trois modules comportant en tout huit études**. Celles-ci fourniront les bases pour formuler un scénario de référence et trois **scénarios cibles** jusqu'en 2050, ainsi que pour élaborer des trains de mesures et des stratégies spécifiques susceptibles de mettre en œuvre un scénario cible. Le scénario cible a pour but d'indiquer les voies à emprunter aux plans politique et énergétique pour atteindre les objectifs formulés en matière de développement durable. La comparaison entre divers scénarios cibles, en soi consistants, définit la marge de manœuvre pour les évolutions futures; elle met également en lumière les avantages et les inconvénients des voies empruntées, qui laisseront sur la route différents gagnants et perdants et dont les coûts varieront.

Des propositions concrètes seront faites quant au contenu des études, à la méthode à utiliser et à la mise en lumière d'éventuelles synergies entre elles. Un quatrième module évaluera et transmettra les résultats et formulera des recommandations.

1 Einleitung

If long-term emission reduction is the goal, we cannot follow 'business as usual' even in the short-term. Action needs to start now.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 in einem Zeitraum von 50 Jahren am Ziel einer 2000 Watt-Gesellschaft und einem Pro-Kopf-Ausstoss von 1 Tonne CO₂ pro Jahr auszurichten. Angesichts dessen, dass heute in der Schweiz pro Kopf permanent direkt 5'000 Watt Primärenergie verbraucht und jährlich über 6 Tonnen CO₂ emittiert werden, lässt sich ermesen, ein wie tiefgreifender Wandel des Energiesystems dazu vonnöten ist.

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.

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. Es soll dazu Strategien und Massnahmen erarbeiten, mit denen die Ziele einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik erreicht werden können. Da die ersten Weichen einer solchen Energiepolitik vermutlich in naher Zukunft gestellt werden müssen, sollte das Gesamtprojekt auch konkrete Empfehlungen zuhanden der kurz- und mittelfristigen Energiepolitik erbringen.

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

¹ A. Grübler, S. Messner 1998. Technological Change and the Timing of Mitigation Measures. *Energy Economics* 20, 495–512, S. 495.

- 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 eine Beschleunigung der Entwicklung und Ausschöpfung 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 hinführen, hinsichtlich der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen (Wachstum, Beschäftigung) und deren Verteilung (Wettbewerbsfähigkeit von Branchen, Belastung verschiedener Bevölkerungsgruppen) 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.

Ziele des Pilotprojekts

Primäres Ziel des vorliegenden Pilotprojekts ist, den Nutzen und die Machbarkeit des Gesamtprojektes aufzuzeigen. Im einzelnen sind dazu die Struktur, die erforderliche Vorgehensweise und die prioritär zu bearbeitenden Bereiche des Gesamtprojektes auszuarbeiten. Den Nutzen des Gesamtprojekts bestimmen wir anhand der folgenden Schritte:

- **Abklärung Strategiebedarf:** Inwiefern besteht in der Schweiz ein Bedarf für eine Langfriststrategie im Energiebereich? Benötigt wird dazu 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 dazu eine Literaturrecherche zu den bereits genannten Bereichen (Potenziale; Rahmenbedingungen; Strategien und 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 zu 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 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.

Wir verzichten im Rahmen dieser Zusammenfassung zugunsten einer besseren Lesbarkeit auf die Wiedergabe von Literaturstellen.

2 Bedarf für eine Langfriststrategie im Energiebereich

2.1 Wofür Langfriststrategien im Energiebereich?

Lange Reinvestitionszyklen und Vorlaufzeiten in F+E

Energierrelevante Technologien und Strukturen zeichnen sich zum Teil durch sehr lange Reinvestitionszyklen und Vorlaufzeiten der Forschung und Entwicklung aus. Die Erneuerungsrate der Gebäudeinfrastruktur des „Bauwerks Schweiz“ beträgt zumindest 50 Jahre. Das bedeutet, im laufenden Jahrzehnt getroffene Investitionsentscheidungen haben einen Einfluss auf das Erreichen von Nachhaltigkeitszielen für das Jahr 2050. Ähnliches gilt für die Eisenbahninfrastruktur, für Flugzeuge, Kraftwerke und manche Prozesstechnologien. Die langsame Durchdringung des Marktes mit neuen Technologien ist dort eine Folge der langen Lebensdauer und der hohen Kapitalkosten der jeweiligen Geräte und Anlagen.

Mehr als die Hälfte des derzeitigen Primärenergieverbrauchs fällt in Bereichen an, wo in den nächsten Jahren anstehende Entscheidungen über Forschungs- und Entwicklungsausgaben 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 den ihr dort möglichen Handlungsspielraum sichern.

Verhinderung einer gefährlichen anthropogenen Störung des Klimasystems

Es gibt aber auch gute ökologische Gründe, sich frühzeitig mit den Anforderungen an den Wandel des Energiesystems auseinanderzusetzen. An erster Stelle zu nennen ist dabei die 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 CO₂ in der Atmosphäre von über 100 Jahren ist der Klimawandel nicht so sehr bestimmt durch den genauen Emissionspfad, sondern vielmehr die im Verlauf dieses Jahrhunderts total emittierte CO₂-Menge. Die globalen

CO₂-Emissionen müssen zur Begrenzung der ökologischen und wirtschaftlichen Risiken des Klimawandels auf ein vertretbares Mass um mindestens die Hälfte bis zwei Drittel zurückgehen. 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 CO₂-Gesetzes oder des Kyoto-Protokolls für die Bekämpfung des langfristigen Klimawandels von beschränkter Relevanz sind. Für die Bekämpfung des Klimawandels ist ebenso bedeutsam, dass langfristige Ziele gesetzt werden, welche zu einer Begrenzung der kumulierten Emissionen führen und einen Emissionspfad vorgeben. 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.

2.2 Energiepolitische Strategien und Ziele im EU-Raum

Beschlossene energiepolitische Strategien

Die Europäische Kommission hat im Ende 2000 vorgelegten Grünbuch „Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit“ ihre Schwerpunkte einer langfristigen energiepolitischen Strategie festgelegt und darin umfangreiche und konkrete Vorschläge für eine nachhaltige Energiepolitik präsentiert. Der Horizont dieser Vorschläge ist typischerweise 2020. Sie befassen sich im wesentlichen mit der Förderung von Energieeffizienz oder erneuerbaren Energien in den Bereichen Verkehr, Gebäude und Stromerzeugung.

Der Vergleich der Energiepolitiken ausgewählter Mitgliedsstaaten ergibt grosse Unterschiede, 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.

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 Ver-

sorgungssicherheit, Umweltschutz und Wirtschaftlichkeit gesetzten Ziele nicht erreicht werden können.

Von grosser Bedeutung für die Energiepolitik wird 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 Grosse mittente ab 2005 einen Markstein dar. Das Handelssystem verknüpft Treibhausgasemissionen mit einem Preis (Internalisierung) und wird damit die Wettbewerbsfähigkeit verschiedener Energieträger und Technologien spürbar verändern.

Politiknahe Langfriststrategien

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

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 kontrovers diskutiert und mit Dissens verabschiedet. Die Kommission setzte sich als Leitziel, Wege zu einem Energiesystem zu entwerfen, welches 2050 gegenüber 1990 um 80% geringere CO₂-Emissionen aufweist. Drei Szenarien wurden daraufhin untersucht, mit welchen sozialen und ökonomischen Folgen sie dieses Ziel im Vergleich zu einem Referenzszenario zu erreichen vermögen.

Nach Ansicht der Mehrheit der Kommission genügt nur das sog. RRO-Szenario den Kriterien der Nachhaltigkeit. Dieses zeichnet sich aus durch eine massive Erhöhung der Effizienz des Energiesystems mit schrittweiser Dezentralisierung, die konsequente Markteinführung erneuerbarer Energien sowie einen Kernenergieausstieg bis 2030. 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. Zudem formulierte sie energiepolitische Ziele bis 2020: zur Steigerung der Energieproduktivität und des Anteils erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch sowie an der Stromproduktion; zur Erhöhung des WKK-Anteils; zur Absenkung des spezifischen Verbrauchs von Gebäuden und Fahrzeugen; zur Senkung der CO₂-Emissionen.

In **Grossbritannien** wurde, ausgelöst durch einen im Februar 2002 publizierten Strategiebericht der Regierung, eine breite öffentliche Diskussion angestossen, wie die Energieversorgung bis 2050 gestaltet werden soll. Diese Diskussion erreichte mit der Publikation des „**Energy White Book**“ der Regierung im Februar 2003 einen vorläufigen Kulminationspunkt. Wie in Deutschland wurden mittels Szenarien verschiedene Pfade evaluiert, wie das Energiesystem bis 2020 bzw. 2050 gestaltet werden müsste, um bis 2050 eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 60% zu erreichen. Das Weissbuch der Regierung bleibt eher unverbindlich, was Langfristziele betrifft, – für 2020 werden Ziele zur Effizienz der Haushalte sowie zum Anteil erneuerbarer Energie an der Stromerzeugung formuliert – und hält alle energiepolitischen Optionen offen. Es demonstriert dennoch, dass Grossbritannien gewillt ist, eine Langfristoptik bei seiner Energiepolitik einzunehmen.

Fazit

Die EU und einige Mitgliedsstaaten haben sich ambitionöse energiepolitische Ziele gesetzt; diese reichen allerdings – mit Ausnahme von Fristen zum Ausstieg aus der Kernenergie – lediglich bis 2020. Es ist damit zu rechnen, dass sich im EU-Raum nationale Energiepolitik zunehmend auf langfristige, primär klimapolitisch motivierte Überlegungen stützen wird. Denkbar ist, dass sich im weiteren Verlauf der internationalen Klimaverhandlungen in der EU 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 folgt aber nicht ohne weiteres, dass sich eine europaweit harmonisierte langfristige Energiepolitik etablieren wird. 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

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 Ansatz 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 vermehrten Ein-

satzes erneuerbarer Energien, nachfrageseitig das Energiesparen bzw. Effizienzsteigerungen.

Das Umfeld für die Einnahme einer Langfristoptik in der Schweizer Energiepolitik ist selbst unter Beibehaltung der beschlossenen Hauptstossrichtungen ungünstig. Es ist nicht gelungen, neben Energiegesetz, CO₂-Gesetz und LSVA weitere Instrumente für eine Verstärkung der Energiepolitik im Hinblick auf die eingangs erwähnten, ambitionösen Langfristziele der Nachhaltigkeit zu etablieren. Es existieren zwar Absichtserklärungen für eine langfristig angelegte Nachhaltigkeitspolitik, die kurz- bis mittelfristige Energiepolitik ist aber an diese Langfristziele (2000 Watt-Gesellschaft, 1 t CO₂ pro Kopf und Jahr) nicht angebunden.

Status der Energieperspektiven

In der Schweiz bestehen mit den Energieperspektiven bis ins Jahr 2030 reichende Grundlagen für die Ausgestaltung und die Evaluation der schweizerischen Energiepolitik. Die Energieperspektiven weisen auf den energiepolitischen Handlungsbedarf hin und bilden somit eine wichtige Basis für die Formulierung energiepolitischer Ziele. Sie ermöglichen die Evaluation energiepolitischer Strategien und Massnahmen. Mit Ausnahme des Szenario IV wurde mit den Energieperspektiven bislang jedoch nicht aufzuzeigen versucht, ob und wie vorgegebene Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können.

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

- Das für Vergleiche und die Evaluation von Massnahmen wichtige Referenzszenario ist zusehends überholt, es müsste den heutigen bzw. in Zukunft absehbaren gesellschaftlich-wirtschaftlichen Strukturen angepasst werden.
- 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.
- Die Methodik mit Kohorten-Durchschnittswerten (z.B. Energiekennzahlen für homogene Nutzungen/Anwendungen) kann infolge struktureller Veränderungen immer weniger gut fortgeschrieben werden und basiert mehr und mehr auf „plausiblen Ad-hoc-Annahmen“.

Stellung der Schweizer Energiepolitik im EU-Raum

Der **Zeithorizont** der Schweizer Energiepolitik ist mit lediglich 10 Jahren eher kürzer als in der EU, wo zunehmend Ziele für das Jahr 2020 formuliert werden. Was die **Strategien**

und Ziele betrifft, kann aber von einem Hinterherhinken der Schweiz (noch) nicht gesprochen werden. Aufgrund der Eigenheiten des hiesigen Energiesystems, vor allem des Stromsektors, gestalten sich auch die Schwerpunkte der Schweizer Energiepolitik punktuell anders als in der EU. Der **rationalen Energienutzung** wird ein mindestens so grosser Stellenwert beigemessen wie im EU-Raum. Tendenziell im Hintertreffen befindet sich die Schweiz hingegen in der Unterstützung **erneuerbarer Energien** in den Bereichen Biomasse (Holz, Energiepflanzen etc.) und Sonnenenergienutzung. Auf den ersten Blick vorbildlich scheint die **Klimapolitik** des Bundes mit dem CO₂-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 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 der 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. Eine Vorreiterrolle birgt 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 volkswirtschaftliche Chancen eröffnen. Eine frühzeitige Ausrichtung der Schweiz auf eine langfristige Perspektive im Energiebereich könnte daher trotz oder wegen der Eingebundenheit in den europäischen Raum möglich und nützlich sein.

2.4 Folgerungen zum Bedarf für ein Gesamtprojekt

Die Energiepolitik der Schweiz ist im Grundsatz für die Ausrichtung auf einen Langfrighthorizont nicht schlecht gerüstet. Was fehlt, sind aber zum einen klare Vorstellungen der langfristig anzustrebenden Nachhaltigkeitsziele und dann vor allem ein Instrumentarium, mit welchem die Wirkung energiepolitischer Strategien und Massnahmen zum Erreichen dieser Ziele beurteilt werden kann. Vorarbeiten für eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik wie die der deutschen Enquete-Kommission oder das britische Energie-Weissbuch liegen in dieser Form (Aktualität, Zeithorizont) für die Schweiz nicht vor. Sie wären jedoch klar erwünscht, könnten sie doch allenfalls zur Deblockierung der energiepolitischen Situation in der Schweiz beitragen, indem sie die Anforderungen einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik, ihre prinzipiellen Optionen sowie ihre Chancen und Risiken nüchtern aufzeigen könnten.

Ein Bedarf für das Gesamtprojekt besteht somit hinsichtlich der folgenden, den Entwurf einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik betreffenden Defizite:

- Zur Erweiterung des Zeithorizonts der aktuellen Energiepolitik müssen langfristige Nachhaltigkeitsziele erarbeitet und diskutiert werden.
- Es sind Vorstellungen zu den energiepolitischen Strategien und Massnahmen zu entwickeln, mit denen die Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können, sowie zum kurz- bis mittelfristigen Handlungsbedarf.
- Eine Langfriststrategie bis 2050 sollte im Vergleich mit den bestehenden Energieperspektiven auf neu erarbeiteten Grundlagen basieren, die der Dynamik der Technologieentwicklung vermehrt Rechnung tragen. Zudem sind verstärkte Überlegungen nötig zu den möglichen, auch visionären, langfristigen Trends gesellschaftlich-wirtschaftlicher Veränderungen und den daraus resultierenden Veränderungen der Energiedienstleistungsbedürfnisse.

Im Hinblick auf den **Bedarf für ein Gesamtprojekt** gilt es folgendes festzuhalten:

- Es gibt in der Schweiz einen Bedarf für eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik.
- Die wissenschaftlichen Grundlagen für den Entwurf einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik sind in der Schweiz erst ansatzweise vorhanden.
- Die bestehenden Energieperspektiven bedürfen der Erweiterung zur Klärung, wie bis 2050 eine nachhaltige Gestaltung des Schweizer Energiesystems erreicht werden kann.

3 Forschungsbedarf im Hinblick auf eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik

3.1 Technologiepotenziale und Verhaltenspotenziale

Definition von Technologiepotenzialen und Verhaltenspotenzialen

Die Unterscheidung der beiden folgenden technischen Potenzialbegriffe ist zentral:

- Das **technische Potenzial** gibt die Energie- oder Emissionseinsparung an, welche mit einer bereits demonstrierten Technologie zu einem Zeitpunkt erzielt werden kann, wenn diese ungeachtet ihrer Wirtschaftlichkeit oder von Reinvestitionszyklen, aber unter Beachtung ihrer Verfügbarkeit und ihres maximalen Anwendungsumfangs (gegeben durch den existierenden Kapitalstock) eingesetzt würde.
- Das **technisch-wirtschaftliche Potenzial** einer heute einsatzfähigen Technologie ist derjenige Teil ihres technischen Potenzials, der realisiert wird, wenn die Technologie immer nur gesamt- bzw. einzelwirtschaftlich rentabel – unter Berücksichtigung von Ersatzzyklen, Abschreibefristen und Opportunitätskosten – eingesetzt wird. Dabei werden funktionierende und transparente Märkte vorausgesetzt.

Nach Möglichkeit sind für eine Technologie für den jeweils fraglichen Zeitpunkt die Kosten pro erzeugte Energieeinheit bzw. die Kosten pro eingesparte Energie- oder Emissionseinheit anzugeben. Sowohl das technische wie das technisch-wirtschaftliche Potenzial einer Technologie nehmen im Laufe der Zeit durch Lern- und Skaleneffekte zu. Deren Ausmass bestimmt die Chancen für eine Degression der spezifischen Kosten der Technologie. Je länger zudem der Reinvestitionszyklus des für die Technologie relevanten Kapitalstocks ist, desto geringer ist ihre Umsetzungsrate.

Verhaltenspotenziale beziehen sich auf die Senkung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen (EDL) durch Verhaltensänderungen von Privaten, von Unternehmen oder dem Staat: bei Kauf- und Investitionsentscheiden zugunsten energieeffizienterer oder emissionsärmerer Technologien; bei der Nutzung energieverbrauchender Güter und Dienstleistungen, die zu einem geringeren Bezug von EDL führen; über den nutzenäquivalenten Bezug von EDL (z.B. Produkte mit geringerem Gehalt grauer Energie); im Zuge eines Wandels von Lebensstilen, Wertesystemen und Präferenzen (Suffizienz). Soweit möglich werden **Verhaltenspotenziale in Form der Einsparungen an Energie (bzw. Emissionen) angegeben, die erzielt werden können, wenn alle untersuchten oder denkbaren Verhaltensänderungen vollständig und sofort von allen Akteuren umgesetzt würden.** Insbesondere **Suffizienzpotenziale** stehen für diejenigen Energieeinsparungen, die durch Verzicht auf Teile der Qualität bzw. des Zusatznutzens oder des Umfangs einer

EDL entstehen (z.B. Ausschalten von Heizkörpern in unbenutzten Räumen, Wahl nahe liegender Urlaubsziele, saisongerechter Genuss von Obst und Gemüse).

Lernprozesse und die Akkumulation von Wissen und Erfahrung im Umgang mit einer Technologie bzw. einem Produkt lassen sich mit sog. **Lern- und Erfahrungskurven** darstellen. Lernkurven stellen einen Zusammenhang her zwischen den Kosten einer Technologie und ihrer kumulierten installierten Menge. Im einzelnen sind drei verschiedene Kostensenkungseinflüsse zu unterscheiden: Lerneffekte, Stückzahl-Kostendegression und Anlagengrössen-Kostendegression. Charakterisiert wird die Lernkurve durch die **Lernrate**, welche die Kostenreduktion einer Einheit bei Verdoppelung der kumulierten Produktionsmenge angibt. Lernkurven werden verwendet zur Abschätzung von Kostensenkungspotenzialen neuer Technologien.

Technologiepotenziale im Gebäudebereich

In Wohngebäuden und gewerblich genutzten Gebäuden werden heute rund 385 PJ Endenergie pro Jahr für Raumwärme, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung, Beleuchtung, elektrische Geräte, Regelung/Steuerung und IT-Anwendungen verbraucht. Dazu kommen etwa 68 PJ/a grauer Endenergieverbrauch. Die Effizienzpotenziale im Gebäudebereich werden bis 2050 auf 66% geschätzt.

Die Technologiepotenziale im Gebäudebereich sind relativ gut untersucht. Die langfristigen technisch-wirtschaftlichen Perspektiven einzelner Technologien, deren Einsparpotenzial bedeutend sein könnte, sind – besonders mit Blick auf eine Evaluation der Schweizer Energieperspektiven – zu vertiefen:

- Hochleistungs-Isolationsmaterialien und moderne (multifunktionale) Fenstersysteme als zentrale Technologien für eine drastische Reduktion des Wärmeenergiebedarfs von Gebäuden;
- Entwicklung der Kosten zur Umsetzung eines Null-Heizenergiestandards für Neubauten und Sanierungen; diese setzen sich zusammen aus den Kosten für Wärmeschutztechnologien und für die erneuerbaren Energien zur Warmwasser- und Raumwärmeproduktion und hängen ab von der noch notwendigen Raumwärmeproduktion;
- technologische, wirtschaftliche und akzeptanzmässige Perspektiven der Lüftungs- und Klimatisierungskonzepte; die bestehenden mechanischen Systeme haben Akzeptanzprobleme und sind zum Teil noch nicht wirtschaftlich.

Technologiepotenziale im Verkehrsbereich

Im Verkehr werden heute rund 300 PJ Endenergie pro Jahr verbraucht. Die Effizienzpotenziale bis 2050 werden auf 60% geschätzt. Die grössten absoluten Einsparungen werden im Personenwagenverkehr erwartet.

Die technischen Potenziale im Verkehrsbereich sind bis 2020/30 recht gut überblickbar. Die Perspektiven des Schweizer Energieverbrauchs im Privatverkehr werden, was Antriebssystem und Treibstoff anbelangt, von globalen Entwicklungen dominiert werden. Die Frage, welche Kombination aus Antriebstechnologie und Treibstoff langfristig das grösste Potenzial aufweist, ist äusserst verwickelt, da sie von gesamtsystemaren Entscheidungen abhängt. Es sind daher vertiefte Überlegungen zu den möglichen Pfaden eines Technologiewechsels (Ablösung der Kombination Otto-/Dieselmotor und Benzin/Dieselöl), deren Wahrscheinlichkeit sowie den sich ergebenden Folgerungen für die technischen Potenziale bis 2050 anzustellen. Eine entscheidende Rolle spielen die Infrastruktur für Herstellung, Transport und Bezug des Treibstoffs, dessen Speicherbarkeit und Verfügbarkeit und nicht zuletzt die Kundenakzeptanz.

Näher zu untersuchen sind überdies die langfristigen nachfrageseitigen Effizienzpotenziale im Verkehr. Dazu gehören die Einflussnahme auf die Verkehrsmittelwahl (Modal Split) und auf die Verkehrsnachfrage. Die Rolle der Telematik hierbei ist zu vertiefen.

Technologiepotenziale im Bereich Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen

Die neun energieintensiven Branchen Papier, Chemie/Pharma, Zement, Nahrungsmittel, Metall, Maschinen, Elektro, Bau, Textil verbrauchen derzeit rund 140 PJ. Technologiepotenziale bestehen vor allem in bezug auf Prozesse und Querschnittstechnologien. Die Bandbreite der Effizienzpotenziale bis 2050 liegt typischerweise bei 20–50%.

Die technischen Potenziale bei (energieintensiven) Prozessen erfordern vertiefte Abklärungen pro Prozess. Allgemeine Angaben sind wegen der Heterogenität und des spezifischen Charakters der jeweiligen Prozesse nur begrenzt möglich. Für verschiedene Technologien, deren Einsparpotenzial bedeutend sein könnte, besteht Vertiefungsbedarf (z.B. Membrantechnik, neue Trocknungsverfahren, Katalysatoren). Analoges gilt für die Querschnittstechnologien (z.B. Motoren, Pumpen, Beleuchtung, Trocknen, Druckluft, Leistungselektronik).

Technologiepotenziale im Bereich Stromerzeugung

Die technischen Potenziale im Bereich Stromerzeugung sind relativ gut untersucht. Vertiefungsbedarf besteht hinsichtlich der Anforderungen und Möglichkeiten einer längerfristig dezentralen Stromerzeugung. Das betrifft zum einen die Potenziale der in kleineren dezentralen Einheiten einsetzbaren Technologien. Zum anderen sind die Voraussetzungen (Netz, Messung, Steuerung, Betriebsmanagement) und Kosten zu klären für die partielle Substitution zentraler Produktionsanlagen, die ins Hochspannungsnetz einspeisen, durch dezentrale Anlagen mit Einspeisung ins lokale Nieder- und Mittelspannungsnetz.

Klarere Vorstellungen sind zudem zu entwickeln zum Einfluss des langfristig sinkenden Wärmebedarfs in den Gebäuden auf die Dezentralisierung der Stromversorgung. Die

Wirtschaftlichkeit dezentraler WKK-Anlagen hängt vor allem von der Auslastung und damit vom saisonalen Verlauf des lokalen Wärmebedarfs ab. Hier könnten allenfalls kostengünstige Wärmespeicher mildernd wirken. Der Effekt möglicher Systemkopplungen zum Verkehrsbereich (Brennstoffzelle) ist zu untersuchen.

Schliesslich ist das langfristige Potenzial zur Stromproduktion aus neuen erneuerbaren Energien in der Schweiz sowie zum entsprechenden Import verstärkt zu untersuchen (evtl. auch erneuerbar erzeugter Wasserstoff für Brennstoffzellen). Dabei ist zu achten auf energetische Konkurrenznutzungen (Biomasse für Wärme-, Treibstoffproduktion) und die Frage der optimalen Allokation der verfügbaren Biomasseressourcen.

Technologiepotenziale im Bereich Energie- und Stoffflüsse

Beträchtliche Energieeinsparpotenziale sind gegeben durch die Minimierung von Energie- und Stoffflüssen (ESF). Dazu bestehen drei technische Ansatzpunkte: **Recycling** (Wiederverwertung und Zweitnutzung energieintensiver Werkstoffe); **Substitution** (Ersatz von Werkstoffen mit hohem spezifischen Energiebedarf durch weniger energieintensive Alternativen); **Materialeffizienz** (Verminderung des spezifischen Werkstoffbedarfs pro Werkstoffdienstleistung).

Der Energieverbrauch zur Produktion energieintensiver Stoffe in der Industrie ist für etwa ein Drittel des Endenergieverbrauches im Bereich Industrie verantwortlich. Allein das Energieeffizienzpotenzial von neuen und/oder verbesserten Werkstoffen und materialeffizienter Produktegestaltung wird auf 40–80 PJ/a um 2050 (3–6% des heutigen Primärenergieverbrauches) geschätzt. Eine erhebliche Energieeinsparung ist zu erwarten durch den Beitrag, den verbesserte Materialeffizienz an die Gewichtsersparnis bei Fahrzeugen leisten kann.

Die technischen Potenziale im Bereich ESF sind bislang eher unzureichend untersucht. Erschwerend für einen geschlossenen Überblick wirkt sich der sehr disperse Einsatzbereich dieser Technologien aus. Die für die Schweiz langfristig relevanten Technologien mit Einsparpotenzial im Bereich ESF sind zu identifizieren und deren Potenziale zu vertiefen (z.B. metallische, keramische und synthetische Werkstoffe, Verbundmaterialien, Biowerkstoffe, Oberflächenschutz, Ersatz von herkömmlichem Zement durch neuartige Bindemittel).

Verhaltenspotenziale

Das Potenzial zur Endenergieeinsparung durch Verhaltensänderungen wird auf insgesamt rund 150 PJ/a bis 2050 beziffert (18% des heutigen Verbrauchs). Die dauerhafte Mobilisierung dieser Potenziale ist jedoch schwierig. Die Suffizienzpotenziale werden als bedeutend angenommen, auch sie sind aber bestenfalls langfristig mobilisierbar.

Anders als die technischen Potenziale, für die oft umfangreiche Analysen vorliegen, sind die Möglichkeiten und der künftige Stellenwert zur Reduktion der EDL-Nachfrage durch das Verhalten der Energienutzer bisher kaum empirisch erforscht. Auch methodologisch ist die Quantifizierung noch nicht sehr fortgeschritten. Eine nähere Untersuchung der Verhaltenspotenziale stellt somit einen dringenden Forschungsbedarf dar.

3.2 Rahmenbedingungen, Strategien und Massnahmen

Rahmenbedingungen für Energieszenarien

Die Rahmenbedingungen für die Entwicklung von Energienachfrageperspektiven können durch politische Strategien und Massnahmen nur geringfügig beeinflusst werden. Ein Teil dieser Rahmenbedingungen ist über längere Zeiträume hinweg einigermaßen absehbar. Mehrheitlich handelt es sich jedoch um Faktoren, die langfristig einem massgeblichen Wandel unterworfen sind. Die Analyse der Wirkungen bestimmter Strategien und Massnahmen basiert in der Regel auf Strategie- oder Massnahmenszenarien, welche mit einem Referenzszenario verglichen werden. Um die Vergleichbarkeit von Politikszenerarien und Referenzszenario zu gewährleisten, müssen alle Szenarien von denselben Rahmenbedingungen ausgehen. Die Vorgabe der Rahmenbedingungen sollte dabei **plausibel, konsistent und transparent** sein.

Die wichtigsten Rahmenbedingungen sind gegeben durch die folgenden wirtschaftlich-gesellschaftlichen Einflussfaktoren: Bevölkerungszahl, Altersstruktur, Migration, Erwerbstätige, Wirtschaftswachstum, Technologieentwicklung, strukturelle Änderungen in Wirtschaft und Gesellschaft (z.B. Tertiarisierung, Freizeitverhalten), Entwicklung der Weltmarktpreise von Leitenergieträgern (z.B. Öl), Liberalisierung, Globalisierung. Die meisten der genannten Rahmenbedingungen entwickeln sich in der Schweiz nicht autonom, sondern sind mehr oder weniger stark von Entwicklungen auf grösserem geographischem Massstab (EU, global) beeinflusst. Der globalen und europaweiten Entwicklung der Rahmenbedingungen und ihren Auswirkungen auf die Schweiz ist deshalb besondere Beachtung zu schenken.

Hinsichtlich der Entwicklung der Rahmenbedingungen gibt es verschiedene Ansatzpunkte, wo eine Vertiefung des Wissens im Vergleich zu den bestehenden Energieperspektiven angezeigt ist, um zu einem plausibleren Referenzszenario zu kommen. Generell sind die treibenden Kräfte der Entwicklung der EDL-Nachfrage für einen Horizont, der bis 2050 reicht, aufzuarbeiten. Im einzelnen geht es um die Erfassung der Tendenzen in bezug auf Art und Organisation wirtschaftlicher Aktivitäten in der Schweiz, auf Arbeits-, Lebens- und Freizeitformen sowie auf den internationalen Rahmen (Preise, Klimapolitik etc.).

Energiepolitische Strategien, Massnahmen und Instrumente

Die wichtigsten **energiepolitischen Strategien** sind die Innovations- und Technologieförderung (F+E, P+D; Bildung, Aus-/Weiterbildung; Exportförderung; Industriepolitik); Information, Kommunikation, Marketing; Vorschriften; Abgaben und Subventionen. Grundlage jeder energiepolitischen Gesamtstrategie sollte die Evaluation der Wirkungen der für diese Strategien bisher eingesetzten Mittel im Hinblick auf formulierte Nachhaltigkeitsziele sein.

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass ambitionöse Nachhaltigkeitsziele nur mit einer Kombination der genannten Strategieelemente zu erreichen sein werden. Neben der Innovations- und Technologieförderung, die die Technologieentwicklung direkt unterstützen, braucht es auch ordnungspolitische und/oder marktwirtschaftliche Komponenten, welche die Technologieentwicklung nur indirekt über ihre Anwendung und die danach zu erwartenden Lern-, Kostendegressions- und Entwicklungseffekte unterstützen. Wichtig sind zudem die Identifikation und strategische Vermarktung möglicher Co-Benefits sowie das Auslösen gesellschaftlicher Lernprozesse durch Information, Kommunikation und Demonstration zur Erhöhung von Beteiligung und Akzeptanz. Insgesamt stellt sich die Frage nach dem optimalen Strategiemix, welcher beim Verfolgen der langfristigen Nachhaltigkeitsziele verteilungspolitische Aspekte, Kompensationsmöglichkeiten und die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz berücksichtigt.

Die **Massnahmen und Instrumente** zur Umsetzung der Strategieelemente gliedern sich in ordnungsrechtliche, marktwirtschaftliche und übrige. Zu ersteren gehören Vorschriften, zu den marktwirtschaftlichen Instrumenten zählen Abgaben, Subventionen und Emissionszertifikate, zu den übrigen Instrumenten gehören Vereinbarungen, freiwillige Massnahmen, Information, Kommunikation, Bildung, F+E sowie neue Vermarktungsmodelle (Labelling, Nachhaltigkeitsmarketing etc.). Mit wenigen Ausnahmen (wie z.B. LSVA, gewisse Subventionen und Labels) dienen die aktuell eingesetzten energiepolitischen Instrumente der kurz- bis mittelfristigen Mobilisierung (nahezu) wirtschaftlicher Potenziale.

Auch auf der Ebene der Massnahmen und Instrumente stellt sich die Frage nach dem zweckmässigen Mix zur Erreichung der formulierten langfristigen Nachhaltigkeitsziele. Dabei sind die Ungewissheiten über die künftige Entwicklung der Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, d.h. die Instrumente müssen flexibel sein, keine übermässigen 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.

Hinsichtlich der Strategien und Massnahmen besteht Forschungsbedarf zur Evaluation bestehender Massnahmen und Instrumente sowie zur Identifikation allfälliger zusätzlicher Massnahmen und Instrumente, die den sukzessiven und langfristig angelegten Umbau hin zur nachhaltigen Energieversorgung und -nutzung auslösen können:

- Identifikation und Evaluation von: geeignetem Mix von langfristig wirkenden S+M, mit dem die Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können; von S+M zur gezielten und effizienten Behebung von Marktunvollkommenheiten sowie von Kompensationsmassnahmen; von Ansätzen zur Förderung von gesellschaftlichem Lernen, insbesondere in bezug auf die Ausschöpfung von Verhaltenspotenzialen (z.B. neuartige Vermarktungsansätze), Benennung von Hemmnissen und Voraussetzungen);
- Evaluation von: Machbarkeit und Effizienz von langfristigen Vorschriften zur Absenkung des Energieverbrauchs von Gebäuden (evtl. auch Fahrzeugen und Geräten); klimapolitischen Instrumenten (z.B. Erzeugung und Handel von Emissionszertifikaten); bestehenden Vereinbarungsstrategien in der Schweiz, ihrer langfristigen Perspektiven, Klärung der Rahmenbedingungen zur Erhöhung der Effektivität; Innovations- und Technologiepolitik und Identifikation der optimalen Mittelallokation auf die verschiedenen Instrumente.
- Entwicklung und Anwendung eines Evaluationsrasters zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit von Strategien und Massnahmen (z.B. Auswirkungen auf Wettbewerbsfähigkeit einzelner Branchen als Kriterium).

Akzeptanz von Strategien und Massnahmen

Die Durchsetzbarkeit bzw. die Akzeptanz der erforderlichen Massnahmen, um die Langfristziele einer nachhaltigen Energieversorgung zu erreichen, ist ein kritischer Faktor der Nachhaltigkeitspolitik. Die Akzeptanzforschung weist auf Faktoren hin, die bei der Politikkonzeption und Massnahmenevaluation zu beachten sind: Wahrnehmbarkeit/Antizipierbarkeit der Massnahmenwirkungen und die Frage, welche Gewinner und Verlierer sie hervorbringen wird; die Identität der jeweiligen Gewinner und Belasteten einer Massnahme (gut organisierte Interessengruppen können grösseren Einfluss auf die Massnahmenausgestaltung ausüben); ob Kosten lokal und sofort getragen werden müssen und ob Nutzen überregional/global oder verzögert anfallen; ob die tatsächlichen Nutzen und Kosten subjektiv richtig wahrgenommen werden; ob die Massnahme bei Unternehmungen oder Endkonsumenten ansetzt; ob die Massnahme verständlich und nachvollziehbar ist und welche Verteilungswirkungen sie auslöst.

Noch ist unklar, inwiefern die strukturelle Alterung der schweizerischen Gesellschaft die künftige Akzeptanz der Nachhaltigkeitspolitik beeinflusst und inwiefern künftig zunehmende Einkommensdisparitäten negative Auswirkungen auf die Akzeptanz der Nachhaltigkeitsmassnahmen haben werden (vor allem bei marktwirtschaftlichen Instrumenten). Ferner verbleibt die Frage nach den Möglichkeiten und Ansatzpunkten der Promotion nachhaltiger Einstellungen und Lebensstile und der Durchsetzung der Instrumente, die die Erfüllung der anvisierten Ziele ermöglichen, insbesondere der Steigerung der Akzeptanz von marktwirtschaftlichen Instrumenten (beispielsweise durch Kompensationsmassnahmen).

3.3 Modelle für die ökonomische Auswirkungsanalyse

Bei der Analyse der Perspektiven einer sehr langfristigen Energieanwendung stellen sich neue Probleme, die bei kurz- und mittelfristigen Betrachtungen weniger ins Gewicht fallen. So wird der gesamte Kapitalstock, der kurzfristig als konstant betrachtet werden kann, langfristig vollständig erneuert und dessen Eigenschaften wie etwa die Energieeffizienz oder die Art des benötigten Energieträgers hängen von vielen Faktoren ab, die nur mittelfristig eingeschätzt werden können. Wir geben eine Übersicht existierender Ansätze zur Modellierung des zukünftigen Bedarfs an Energie und eines denkbaren Energieangebotes und zeigen, inwieweit sie sich für langfristige Analysen eignen.

- **Bottom-up-Modelle:** berechnen den zukünftigen Technologiemitmix bei Vorgabe der EDL-Nachfrageentwicklung sowie der Energieeffizienz bestehender und neuer Energieerzeugungs- und -nutzungstechnologien. Der technische Fortschritt wird über die Energieeffizienz der jeweiligen Kohorte exogen vorgegeben, zuweilen auch mittels Lern- und Erfahrungskurven endogenisiert. Weiter können Umweltauflagen oder Marktdurchdringungsraten einzelner Technologien als Restriktionen im Modell berücksichtigt werden. Demographische und gesamtwirtschaftliche Größen (z.B. Zahl der privaten Haushalte bzw. Wirtschaftswachstum) oder strukturelle Änderungen in der Energienachfrage werden exogen vorgegeben.
- **Input-Output-Modelle:** werden hauptsächlich zur Analyse der gesamtwirtschaftlichen Wirkungen einer Änderung in der Endnachfrage eingesetzt. Die Wirtschaft wird als ein System sektorieller Input-Output-Beziehungen modelliert. Der politik-induzierte technische Fortschritt innerhalb eines gesamtwirtschaftlichen Rahmens kann beschrieben werden, allerdings sind die Auswirkungen auf sektorale Aspekte beschränkt. Langfristige Entwicklungen können nicht abgebildet werden. Da die Endnachfrage exogen vorgegeben wird, sind wesentliche Interaktionen zwischen Energieanwendung sowie Wirtschaft und Gesellschaft nicht analysierbar.
- **Makroökonomische Prognosemodelle:** werden hauptsächlich für Konjunkturprognosen verwendet, lassen Marktungleichgewichte zu und sind in der Regel nachfragegetrieben. Die Endnachfrage wird nicht exogen vorgegeben, sondern über Verhaltensgleichungen endogenisiert. Dank ihrer empirischen Fundierung sind diese Modelle für die kurz- und mittelfristige Politikanalyse fiskalischer Massnahmen sehr gut geeignet. Allerdings können Politikmassnahmen, die auf der Ebene einzelner Technologien ansetzen, in diesem Modellrahmen nicht betrachtet werden.
- **Berechenbare Gleichgewichtsmodelle:** bestimmen die optimale Allokation aufgrund relativer Preise durch Räumung der Märkte zu jedem Zeitpunkt. Das Verhalten der Wirtschaftssubjekte wird über mikroökonomische Prinzipien der Nutzen- und Gewinnmaximierung modelliert. Die Modellzusammenhänge werden über die Festlegung struktureller Parameter wie Substitutionselastizitäten in der Produktion und im Konsum

bestimmt. Die Interaktionen zwischen der Energienutzung sowie der Wirtschaft und der Gesellschaft werden gut abgebildet. Die Gleichgewichtsmodelle eignen sich für die Analyse der langfristigen Auswirkungen fiskalischer Massnahmen wie einer Energie- oder CO₂-Abgabe. Politik-induzierter technischer Fortschritt kann jedoch nicht endogen erklärt, sondern muss als exogener Parameter vorgegeben werden.

Bottom-up-Modelle eignen sich somit am besten zur Modellierung von politik-induziertem technischen Fortschritt und der Auswirkungen auf die Umwelt. Sie vermögen aber nur zum Teil wichtige Determinanten des Energieangebots zu erklären; die Interaktionen zwischen Energiesystem und Wirtschaft wie Gesellschaft fallen vollständig ausser Betracht. Die übrigen betrachteten Modelle, die oft unter dem Begriff **Top-down-Modelle** zusammengefasst werden, berücksichtigen umgekehrt die wichtigsten wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung und erklären die Determinanten des Energieangebots endogen. Dafür kann politik-induzierter technischer Fortschritt nicht und die Auswirkungen auf die natürliche Umwelt nur beschränkt analysiert werden.

Hybride Ansätze

Dies führte in den letzten 10 Jahren zur Entwicklung **hybrider Ansätze**, welche die Stärken der beiden Modelltypen zu kombinieren versuchen. Trotz eines Mehraufwands in der Umsetzung sind hybride Ansätze am ehesten geeignet, konsistente Projektionen künftiger Energieanwendung sowie sachgerechte Analysen von Politikmassnahmen durchzuführen. Mit ihnen lassen sich komplexere Zusammenhänge darstellen sowie Politikmassnahmen, die gezielt bei bestimmten Technologien ansetzen, auf ihre sozio-ökonomischen Implikationen hin analysieren; insbesondere für längere Zeithorizonte über mehrere Dekaden eignet sich die Kombination von prozessorientierten Bottom-up-Modellen mit den berechenbaren Gleichgewichtsmodellen.

Stand in der Schweiz

Die umfassendsten Arbeiten im Bereich der Modellierung der langfristigen Energieanwendung wurden im Rahmen der Energieperspektiven, für Auswirkungenanalysen von Abgaben und ökologischer Steuerreform sowie zum Kernenergieausstieg ausgeführt. Diese Modelle sind entweder prozessorientierte Bottom-up-Modelle oder einfache Energienachfragemodelle. Im Rahmen der Evaluation einer ökologischen Steuerreform sowie der Kernenergieinitiativen wurden berechenbare, z.T. hybride Gleichgewichtsmodelle entwickelt. Aus der Übersicht geht hervor, dass in der Schweiz für energiepolitische Analysen vorwiegend Bottom-up-Ansätze und berechenbare Gleichgewichtsmodelle zum Einsatz kommen, während Input-Output-Modelle sowie makroökonomische Modelle, die in der Schweiz hauptsächlich für Konjunkturprognosen eingesetzt werden, bisher nicht zur Anwendung gelangten.

3.4 Folgerungen zum Forschungsbedarf im Gesamtprojekt

Forschungsbedarf im Bereich Potenziale

Die wissenschaftliche Herausforderung, aus den technischen Potenzialen von heute realisierte Investitionen und einen entsprechenden Kapitalstock des Jahres 2050 zu projizieren, liegt besonders bei Energieanwendungen mit langen Reinvestitionszyklen und einem relativ hohen Anteil am heutigen Energiebedarf eines Landes (z.B. Strassenfahrzeuge, Produktionstechniken der Investitions-, Konsumgüter- und Nahrungsmittelindustrie, Wärmeerzeuger).

Forschungsbedarf im Hinblick auf das Gesamtprojekt besteht vor allem in der wesentlich genaueren Analyse der in den Energieperspektiven getroffenen, tendenziell zu konservativen Annahmen zu Technologiepotenzialen sowie im Einbezug von Potenzialen zur Minderung der EDL-Nachfrage:

- Umfassendere, präzisere Abbildung der technischen Entwicklung im Referenzfall bis 2050; Erweiterung der Datenbasis für die Berechnung der Auswirkungsmodelle. Identifikation der bedeutsamen Technologien (relevanter Anteil/Einfluss auf Energieverbrauch und/oder grosses energierelevantes Innovationspotenzial).
- Systematisch betriebenes, vorausschauendes Technologiemonitoring.
- Neuerfassung von Potenzialen im Bereich Energie- und Stoffflüsse und Verhaltensänderungen.

Forschungsbedarf im Bereich Rahmenbedingungen, Strategien und Massnahmen

Im Hinblick auf eine langfristige Nachhaltigkeitsstrategie fehlt eine konsistente und plausible Vorstellung davon, wie sich Wirtschaft und Gesellschaft unbeeinflusst bis 2050 entwickeln werden und welche Auswirkungen dies auf die EDL-Nachfrage hat. Das Reservoir energiepolitischer Strategien und Massnahmen ist begrenzt. Instrumente mit Langfristoptik und solche zur Ausschöpfung von Verhaltenspotenzialen sowie zur Überwindung von Akzeptanzbarrieren sind noch Mangelware. Lücken sind auch vorhanden, was die Frage der Wirksamkeit und Effizienz der Strategien und Massnahmen angeht.

Forschungsbedarf im Hinblick auf das Gesamtprojekt besteht in der Formulierung eines gegenüber den Energieperspektiven verbesserten Referenzszenarios bis 2050. Dazu sind die treibenden Kräfte der EDL-Nachfrage in Wirtschaft und Gesellschaft aufzuarbeiten. Dabei geht es um die Erfassung der Tendenzen in bezug auf Art und Organisation wirtschaftlicher Aktivitäten in der Schweiz, auf Arbeits-, Lebens- und Freizeitformen sowie auf den internationalen Rahmen (Preise, Klimapolitik etc.).

Forschungsbedarf besteht zudem bei der Identifikation und Evaluation von langfristig wirkenden Massnahmen und Instrumenten, insbesondere in den Bereichen: Behebung von Marktunvollkommenheiten, Förderung von gesellschaftlichem Lernen (Verhaltenspotenziale), Innovations- und Technologiepolitik. Die Machbarkeit und Effizienz von langfristigen Vorschriften zur Absenkung des Energieverbrauchs von Gebäuden sind zu prüfen, ebenso die Rolle klimapolitischer Instrumente (z.B. Emissionszertifikatehandel).

Forschungsbedarf im Bereich Auswirkungsmodelle

Für langfristige, umfassende Politiksimulationen besteht ein Bedarf zur Weiterentwicklung hybrider Ansätze, die die Stärken von Bottom-up-Modellen und berechenbaren Gleichgewichtsmodellen kombinieren. Bei der Verknüpfung der Ansätze stellen sich verschiedene modelltechnische Probleme, deren Behandlung von der genauen Aufgabenstellung abhängt und die teils auch noch der Lösung harren. Im Vordergrund steht die schrittweise Integration von Bottom-up-Elementen in allgemeine Gleichgewichtsmodelle durch explizite technische Modellierung einzelner Sektoren (Stromerzeugung, Gebäude, Verkehr).

Die wesentliche Schwierigkeit besteht im Finden der problemadäquaten Balance zwischen Reduktion und Abbildung der enormen Komplexität der Zusammenhänge zwischen technisch vermittelter Energieanwendung, Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt sowie deren politischer Beeinflussung bei gleichzeitigem Einbezug der spezifischen Aspekte, die bei einer Langfristbetrachtung zu beachten sind: Länge von Reinvestitionszyklen; Unsicherheiten über die Entwicklung von Technologie- und Verhaltenspotenzialen sowie der wirtschaftlich-gesellschaftlichen Struktur und deren Auswirkungen auf den Energiebedarf; mögliche Sättigungseffekte beim Konsum etc.

Für das **Gesamtprojekt** besteht im Bereich der Auswirkungsmodelle vor allem ein Bedarf, auf das in der Schweiz vorhandene Know-how optimal aufzubauen. Bestehende hybride Ansätze sind möglichst schlank so zu erweitern, dass sie den spezifischen Anforderungen gerecht werden können, die mit der Analyse einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik verbunden sind. Daraus mag ein genuiner Forschungsbeitrag resultieren, im Vordergrund steht aber die zweckmässige Ausgestaltung und Anwendung der Modelle.

4 Nachhaltigkeitsindikatoren und Zielwerte

4.1 Einführung und Zielsetzung

Als Grundlage und Richtschnur für das Gesamtprojekt entwerfen wir im folgenden ein konkretes, knappes Set von Indikatoren, mit welchem sich das Schweizer Energiesystem langfristig in bezug auf seine Nachhaltigkeit charakterisieren lässt. Anschliessend diskutieren wir für die Indikatoren zugehörige Zielwerte bis 2050. 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.

Die Auswahl der Indikatoren orientiert sich an den Postulaten des Bundesrates zur nachhaltigen Entwicklung sowie an den im Rahmen des Projekts „Monet“ der Bundesverwaltung formulierten Postulaten. 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 eines Workshops diskutiert. Die Ergebnisse der dortigen Diskussion wurden in den hier präsentierten Vorschlag eingearbeitet.

4.2 Auswahl der Leit- und Evaluationsindikatoren

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 Bericht „Nachhaltigkeit: Kriterien und Indikatoren für den Energiebereich“. 14 Kriterien beziehen sich auf die Wirkungen des Energiesystems auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft (vgl. Tabelle 1).

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

Tabelle 2: *Wirkungskriterien des Energiebereichs (eingegrenzte Kriterien kursiv)*

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. Die möglichen Leitindikatoren grenzen wir ein durch Prüfung der folgenden Voraussetzungen:

- **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 auf-

wendig zu erheben sein. Ausserdem soll der Indikator geeignet sein für die praktische Handhabung in der Forschungsarbeit.

Zur Eingrenzung der in Tabelle 2 aufgeführten Wirkungskriterien stützen wir uns zur Hauptsache auf die im Rahmen des Projekts *Monet* (**M**onitoring der **n**achhaltigen **E**ntwicklung) der Bundesverwaltung festgelegten Postulate zur Nachhaltigkeit ab und orientieren uns zusätzlich an den Überlegungen der deutschen Enquete-Kommission.

Als Ergebnis der Eingrenzung bleiben die folgenden sieben Kriterien übrig: **Ressourcen, Klima, Radioaktivität, Preise, Effizienz, Solidarität, Sicherheit**. Diesen Kriterien ordnen wir die in Tabelle 3 aufgeführten Indikatoren als Messgrössen zu.² Die Leitindikatoren erlauben es, die Vision eines nachhaltigen Energiesystems fassbar zu machen. Zu diesem Zweck werden für sie unten konkrete Zielwerte definiert.

Zentrale Aufgabe des Gesamtprojektes wird es sein, machbare energiepolitische Strategien und Massnahmen zu entwickeln, mit denen die Zielwerte für die Leitindikatoren erreicht werden können. Zur Beurteilung dieser Strategien und Massnahmen, welche die Gestalt des Energiesystems beeinflussen, schlagen wir die Bildung von **Evaluationsindikatoren** vor. Mit ihnen sollen die unterschiedlichen ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen erfasst werden, die mit der je konkreten technischen Ausformung des Energiesystems verbunden sind. Die Evaluationsindikatoren dienen somit der vergleichenden Beurteilung von Handlungsalternativen, die auf ein nachhaltiges Energiesystem führen. Beispiele für Evaluationsindikatoren zeigt ebenfalls Tabelle 3.

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 (abzüglich Rückverteilung)
Energiebedingte CO ₂ -Emissionen	Energieintensität des BIP	Anzahl Anlagen mit potenzieller Schadensdauer im Falle eines GAU von über 30 a
Hochradioaktive Abfälle		
NO _x -Emissionen	BIP	Energiekostenverteilung
Feinpartikel-Emissionen	Beschäftigung	

Tabelle 3: Leitindikatoren des Energiebereichs (oben) und Beispiele für Evaluationsindikatoren (unten)

² Aus Gründen der Praktikabilität und Datenverfügbarkeit sollen die Indikatoren nach dem **Territorialprinzip** erhoben werden. 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).

4.3 Zielwerte für die Leitindikatoren

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 Zielwerte wird aber durchaus geführt, zumindest für einzelne Indikatoren. Auf der Grundlage natur- und technikkwissenschaftlicher 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. Verschiedene solcher Szenarien wurden für die Schweiz betrachtet.

Es zeigte sich, dass das vom Bundesrat anvisierte Ziel einer 2000 W-Gesellschaft mit einem Pro-Kopf-Ausstoss von 1 t CO₂ 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 Anforderung aus Nachhaltigkeits-sicht ist der Zielwert für den CO₂-Ausstoss.

Absolute vs. politische Zielwerte

Wir unterscheiden zwei Arten von Zielwerten:

- **Absolute Zielwerte:** Solche existieren, wenn für das Schutzgut, auf das sich ein Leitindikator 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 Neu Beurteilung führen können). Je eher sie erreicht werden, desto besser; je länger sie verfehlt werden, desto höher ist die Gefahr anhaltender Schäden.
- **Politische Nachhaltigkeitsziele** beziehen sich 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 konfligieren-

der Nachhaltigkeitskriterien und -ziele. Ein Beispiel ist das CO₂-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.

Absolute Zielwerte

Absolute Zielwerte lassen sich nur für vier der sieben Leitindikatoren formulieren:

- **Anteil erneuerbarer Energien am EEV:** Der absolute Zielwert beträgt unbestreitbar 100%. 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 CO₂-Emissionen auf null bedeuten.
- **Energiebedingte CO₂-Emissionen:** Ein absoluter Zielwert lässt sich herleiten unter der Annahme, die atmosphärische CO₂-Konzentration müsse auf einem Niveau von 450 ppm stabilisiert werden. Dafür ist gemäss dem *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) langfristig eine dauerhafte Reduktion der globalen CO₂-Emissionen auf 10 Gt/a erforderlich. Fordert man aus Gerechtigkeitsgründen ein gleiches Emissionsbudget für alle Menschen, kann aus dem Globalziel ein Zielwert für die energiebedingten CO₂-Emissionen der Schweiz abgeleitet werden. Dieser ist abhängig vom Anteil der Schweizer Bevölkerung an der Weltbevölkerung und betrüge derzeit ca. 1,6 t pro Kopf und Jahr.
- **Hochradioaktive Abfälle, Anzahl Anlagen mit potenzieller Schadensdauer im Falle eines GAU von mehr als 30 a:** Für beide Indikatoren beträgt der absolute Zielwert 0, wenn man die Postulate, aus denen sie sich herleiten, konsequent auslegt. In beiden Fällen ist die Kernenergie als derzeit einzige Energieform von den Zielwerten betroffen. Die Zielwerte schliessen die Nachhaltigkeit der Kernenergie nicht aus. Technisch könnten sie grundsätzlich eingehalten werden.

Politische Zielwerte und Zielpfade

Die politischen Zielwerte, die für die einzelnen Leitindikatoren bis ins Jahr 2050 realistisch gesetzt werden können, schätzen wir wie folgt ab (vgl. Tabelle 4):

- **Energieintensität:** Wir schlagen 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 bei einem BIP-Wachstum von 1,4% p.a. bis 2050 um gut ein Viertel abnehmen.

- **CO₂-Emissionen:** Wir schlagen eine Absenkung auf 15,5 Mt/a bis zum Jahr 2050 vor (entsprechend 2,15 t pro Kopf und Jahr). Der CO₂-Zielpfad sieht eine bis 2050 allmählich wachsende Pflicht zur Emissionsreduktion vor. Das ist kompatibel mit aktuellen Langfristszenarien, die davon ausgehen, dass zunächst die bestehenden wirtschaftlichen Effizienzpotenziale ausgeschöpft werden und erst ab etwa 2030 eine verstärkte Dekarbonisierung stattfindet. Eine bis 2050 stärkere Absenkung mag sich durchaus im Lauf der kommenden zwei Jahrzehnte als möglich erweisen. Das gilt insbesondere für den in der Tabelle angegebenen Zielwert für das Zwischenjahr 2020.
- **Anteil erneuerbarer Energien am EEV:** Wir schlagen eine Steigerung auf 55% bis zum Jahr 2050 vor. Dieses Ziel leitet sich ab aus dem CO₂-Ziel sowie aus drei weiteren Faktoren: dem Ausmass der Nutzung der flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls sowie der Sequestrierung von Kohlenstoff und dem Anteil der Kernenergie am EEV. Wir gehen davon aus, dass diese 2050 in einem Mass zur Dekarbonisierung beitragen, dass der Anteil an erneuerbaren Energien am EEV um 10% tiefer liegen muss als ohne sie. Von den diskutierten politischen Zielwerten ist dieser der unsicherste. Entsprechend ist Tabelle der 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.

	1990	2000	2010	2020	2050
Energieintensität (MJ/Fr. ₂₀₀₀)	2.11	2.11	1.72	1.41	0.77
CO ₂ -Emissionen (Mt) ^a	42.9	44.4	40.0	35.5	15.5
Anteil Erneuerbare am EEV (%)	–	16	20	24	55
Endenergieverbrauch (PJ)	786	855	805	758	633
BIP (Mrd. Fr. ₂₀₀₀)	372	406	466	536	813
Wohnbevölkerung (Mio.)	6.8	7.2	7.6	7.7	7.2

a. Die Werte für 1990 und 2000 enthalten die CO₂-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 CO₂-Gesetz lässt, indem es nur den inländischen Flugverkehr in sein Reduktionsziel einbezieht.

Tabelle 4: Politisches Nachhaltigkeitsziel für die Energieintensität (Vergangenheitswerte kursiv; [implizit] bestehende politische Vorgaben fett; angenommene Werte grau unterlegt; übrige Werte berechnet)

Untenstehende Abbildung illustriert die vorgeschlagenen Zielpfade für die drei genannten Leitindikatoren.

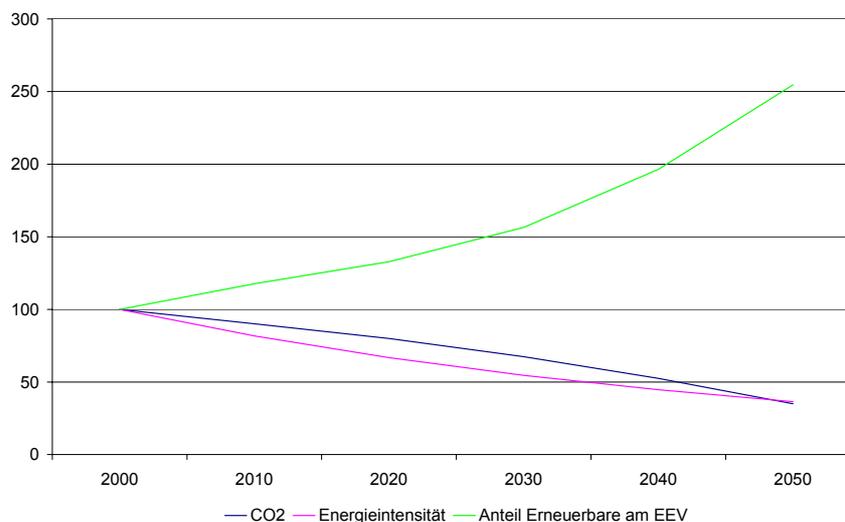


Abbildung 1: Zielpfade für die Leitindikatoren bis 2050 (relative Änderung zum Stand 2000)

Zielkatalog für ein nachhaltiges Schweizer Energiesystem

Die Leitindikatoren stellen ein Kernset dar, welches zur 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. Tabelle 5 fasst die vorgeschlagenen Indikatoren und Zielwerte nochmals zusammen.

Die hier als politisch bezeichneten Ziele für das Jahr 2050 sind ein Abbild dessen, was wir bis zu diesem Zeitpunkt für grundsätzlich realisierbar und im Hinblick auf Nachhaltigkeit für erstrebenswert halten. Auch für diese Ziele ist weder klar, ob sie bis zum gewählten Zeitpunkt tatsächlich erreicht werden können, noch auch, mit welchen Mitteln sie erreicht werden sollen. Genau dies ist **Aufgabe des Gesamtprojektes**: Es soll realisierbare Strategien und Massnahmen entwickeln, mit denen die Zielwerte für die Leitindikatoren erreicht werden können. Es soll aufzeigen, ob verschiedene Zielpfade bis 2050 eingeschlagen werden können und mit welchen Auswirkungen. Zur Bewertung der Strategien und Massnahmen wie auch der Zielpfade sind die Evaluationsindikatoren hinzuzuziehen, welche die ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen erfassen (soweit dies nicht bereits mit den Leitindikatoren geschieht). Dabei wird man um die – letztlich politische – Gewichtung sowohl der Leitindikatoren und ihrer Ziele wie der Evaluationsindikatoren nicht herumkommen.

Indikatoren	Ziel- richtung	Zielwert absolut	Zielwert 2020	Zielwert 2050
Anteil erneuerbarer Energien am EEV [%]	↑	100%	24%	55%
Energiebedingte CO ₂ -Emissionen [Mt/a]	↓	7 ^a	36 ^b	16 ^b
Hochradioaktive Abfälle [m ³ /a]	↓	0	möglichst klein	möglichst klein
Mittlere Konsumentenpreise für Leitenergie- träger [Fr./kWh]	↓	n.v.	möglichst klein	möglichst klein
Energieintensität [MJ/Fr. ₂₀₀₀]	↓	n.v.	1.41	0.77
Anteil der Energiekosten am untersten Dezil der Haushaltseinkommen [%]	↓	n.v.	nicht höher als heute	nicht höher als heute
Anzahl Anlagen mit potenzieller Schadens- dauer im Falle eines GAU von über 30 a [-]	↓	0	möglichst klein	möglichst klein

- a. Das Schweizer Ziel leitet sich ab durch Multiplikation des globalen Emissionsziels von 10 Gt/a mit einem erwarteten Anteil der Schweizer an der Weltbevölkerung von 0,07%.
- b. Inklusive internationale Flugreisen der Schweizer Wohnbevölkerung.

Tabelle 5: Vorschlag für Nachhaltigkeitsindikatoren und Zielwerte für den Schweizer Energiebereich (n.v. = nicht verfügbar)

Die hier formulierten Zielwerte sind ein erster, begründeter Input für ein iteratives Verfahren, aus welchem sich politisch akzeptable Zielwerte herauschälen sollten. In diesem Sinne haben die Zielwerte lediglich indikativen Charakter, indem sie revidierbar, an neue Erkenntnisse und gewandelte Vorstellungen anpassbar bleiben müssen. Im Rahmen eines weiteren politischen Prozesses sollte ihnen aber eine gewisse politische Verbindlichkeit zugewiesen werden, da die Verpflichtung zur Langfriststrategie sonst papieren bleibt.

5 Struktur und Aufgaben des Gesamtprojekts

5.1 Nutzen des Gesamtprojektes

Der Nutzen des Gesamtprojektes besteht in folgenden Punkten:

- Es kann illustrieren, warum die Ausrichtung auf langfristige Ziele bereits heute erforderlich ist und welche Chancen und Risiken ein frühzeitiges Einschwenken auf einen langfristigen Zielpfad mit sich bringt.
- Es kann aufzeigen, wo die Hebel heutiger und zukünftiger Energiepolitik anzusetzen sind, damit langfristig formulierte Nachhaltigkeitsziele erreicht werden, und welche wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Konsequenzen damit verbunden sind.
- Es kann die Grundlage bilden für eine informierte, politische Diskussion zur Frage, ob und welche Langfristziele in der Energiepolitik anzustreben sind und welche Konsequenzen dies für das konkrete energiepolitische Handeln der näheren Zukunft nahelegen würde.
- Es kann zur Verbreiterung der Know-how-Basis in der Schweiz zu den komplexen Zusammenhängen zwischen Gesellschaft, Wirtschaft, Technik und Politik sowie zur Netzwerkbildung der Forschenden in den verschiedenen beteiligten Disziplinen beitragen, indem es die aktuell vorhandenen wissenschaftlichen Grundlagen für die Ausgestaltung einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik erweitert.

Nutzen des Gesamtprojektes:

Das Gesamtprojekt zeigt die Anforderungen an die Schweizer Energiepolitik auf, die eine Ausrichtung des Energiesystems auf bis 2050 formulierte Nachhaltigkeitsziele mit sich bringt. Es gibt Hinweise auf den kurz- und mittelfristigen energiepolitischen Handlungsbedarf im Hinblick auf das Erreichen der Langfristziele. Es liefert Grundlagen für die Ableitung des langfristig einzuschlagenden Nachhaltigkeitspfads und die auf ihn führenden Strategien. Es bildet die Basis für den politischen Diskurs über die Nachhaltigkeitsstrategie bis 2050.

5.2 Vorschlag zum Vorgehen beim Gesamtprojekt

Es stellt sich die Frage, wie das Gesamtprojekt den beschriebenen Nutzen realisieren kann (Machbarkeit). Konkret wird dazu ein Vorschlag benötigt, wie im Gesamtprojekt vorgegangen werden soll und welche Fragen mit welchen Methoden bearbeitet werden sollen. Im Gesamtprojekt kann nicht der gesamte in Kap. 3 ausgewiesene Forschungsbedarf aufgearbeitet werden. Angesichts des begrenzten Budget- und Zeitrahmens gilt es abzuwägen, welche Fragestellungen prioritär zu vertiefen sind, damit ein im ganzen stimmiges

Gesamtprojekt entsteht, mit welchem sich der angeführte Nutzen bestmöglich realisieren lässt.

Der Ansatz der bestehenden Energieperspektiven zur Szenariobildung ist nicht optimal an die Fragestellung angepasst, die durch den Wunsch nach dem Entwurf einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik vorgegeben ist. Gefordert ist vielmehr ein **normativer bzw. zielorientierter Ansatz der Szenariobildung**. Das führt zu einer Umkehrung der bisherigen Herangehensweise der Energieperspektiven, welche die Auswirkungen bestimmter Strategien und Massnahmen ermittelten. Im Hinblick auf eine langfristig nachhaltige Energiepolitik geht es hingegen um die Frage, welches die optimalen Strategien und Massnahmen sind, um bestimmte, vorgegebene Nachhaltigkeitsziele zu erreichen. Die Bearbeitung dieser Fragestellung mit Szenarien und Modellen wird mit der **Backcasting-Technik** vorgenommen. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass sie versucht, eine konsistente Politik zur Verwirklichung einer angestrebten Zukunft zu entwerfen, während der konventionelle Ansatz eher darauf bedacht ist, den Einsatz von Politikelementen auf ihre Eignung zu prüfen, das Eintreten einer unerwünschten Zukunft abzuwenden.

Obwohl vom Prinzip her keineswegs neu, wurde die Backcasting-Technik im Bereich langfristiger Energieszenarien bislang nur spärlich angewendet (s. Abbildung 2). Als Beispiel mag der Ansatz der deutschen Enquete-Kommission zur nachhaltigen Energieversorgung dienen, der zumindest teilweise einem Backcasting entspricht. Die derzeit vielleicht prominenteste Anwendung der Backcasting-Technik im Umfeld der Energie stammt dagegen aus dem Projekt „Environmentally Sustainable Transport“ der OECD.

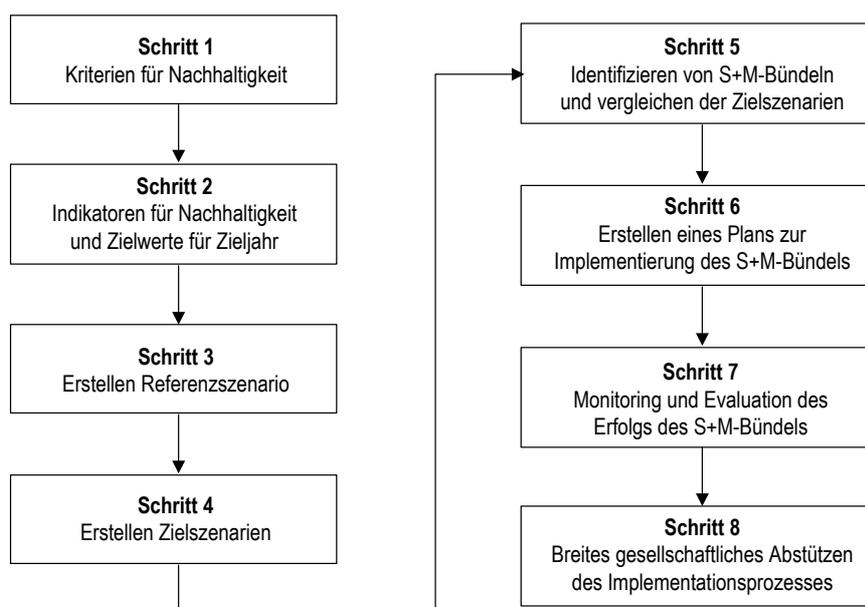


Abbildung 2: Ablauf der Schritte zur Etablierung einer langfristigen Nachhaltigkeitsstrategie auf Basis eines Backcastings

Backcasting als Grundansatz für das Gesamtprojekt:

Aufgrund unserer Überlegungen schlagen wir vor, das Gesamtprojekt entlang den Erfordernissen für die Anwendung der Backcasting-Technik zu strukturieren. Die Backcasting-Technik ist am besten geeignet, um die Strategien und Massnahmen zu formulieren, die zum Erreichen langfristiger Nachhaltigkeitsziele erforderlich sind.

Gegenstand des Gesamtprojektes sind die Schritte 3 bis 5 des Backcasting-Prozesses. Die ersten beiden Schritte wurden in der vorliegenden Studie bereits abgehandelt. Abbildung 3 zeigt unseren Vorschlag für die Strukturierung des Gesamtprojektes. Wir unterscheiden vier Module A–D, die nachfolgend kurz erläutert werden. Die Module A, B und C sollen teils parallel laufen, um den gegenseitigen Austausch sicherzustellen.

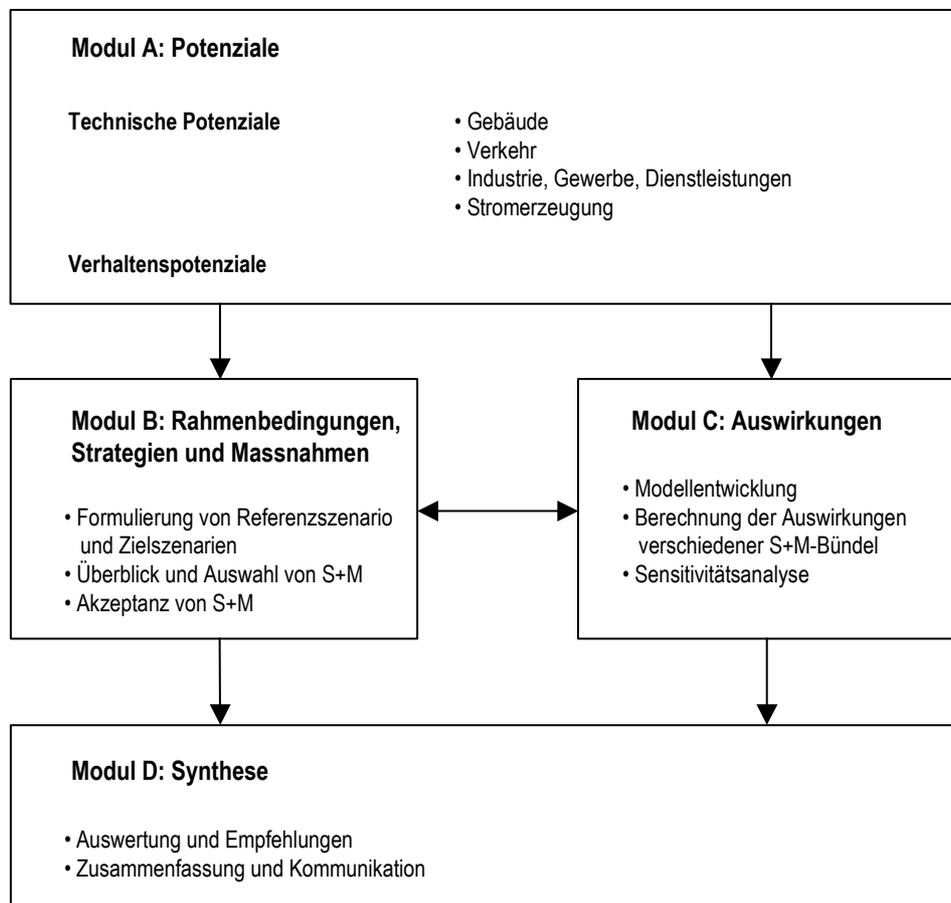


Abbildung 3: Vorgeschlagene Strukturierung des Gesamtprojektes

5.3 Module des Gesamtprojektes

Modul A: Potenziale

In Modul A werden die technischen Potenziale und Verhaltenspotenziale quantifiziert, soweit sie zur Erarbeitung des Referenzszenarios und der Zielszenarien von Belang sind. Die Erhebung der Potenziale verfolgt innerhalb des Gesamtprojektes einen doppelten Zweck: (1) Die Potenziale sollen der Formulierung eines glaubwürdigen, realitätsnahen Referenzszenarios dienen. (2) Die Potenziale sollen als exogene Rahmenbedingung in die Modelle der Szenarien eingehen.

Die **technischen Potenziale** sind wie folgt zu bestimmen:

- Die technischen Potenziale sind zu beziffern als die Energie- oder Emissionseinsparung, welche mit einer Technologie zu einem Zeitpunkt erzielt werden kann, wenn diese ungeachtet ihrer Wirtschaftlichkeit oder von Reinvestitionszyklen, aber unter Beachtung ihrer Verfügbarkeit und ihres maximalen Anwendungsumfangs eingesetzt würde. Soweit möglich sind für den jeweils betrachteten Zeitpunkt die **Kosten pro erzeugte Energieeinheit bzw. pro eingesparte Energie- oder Emissionseinheit** anzugeben. Die Kostenangaben sind vorzugsweise aus den Ergebnissen globaler Modelle abzuleiten, welche mit einem endogenisierten technischen Fortschritt berechnet wurden.
- Zu prüfen ist, ob eine **Endogenisierung der technologischen Entwicklung in Teilbereichen** angezeigt ist (insbesondere Gebäudebereich). Wo eine Endogenisierung sinnvoll scheint, sollen deshalb mit Hilfe eines **vorausschauenden Technologiemonitorings** für die Schweiz Lernkurven ermittelt werden.

Die technischen Potenziale sind in der angegebenen Weise für die Bereiche **Gebäude, Verkehr, I/G/D (inkl. Energie- und Stoffflüsse), Stromerzeugung** zu bestimmen (**Studien A1 bis A4**). Insbesondere im Hinblick auf die Formulierung eines glaubwürdigen und realitätsnahen Referenzszenarios sind in jedem Bereich spezifische Punkte zu vertiefen, die die zu erwartende langfristige Entwicklung und den möglichen Beitrag der jeweiligen Technologien beeinflussen. In Aussage und Form sind die Ergebnisse der Studien A1 bis A4 zu vereinheitlichen. Ziel ist die quantitative Erfassung der technischen Potenziale in den genannten Bereichen bis 2020 sowie Angaben zu den jeweiligen Lernkurven. Für den Zeitraum 2020 bis 2050 sind die Überlegungen auf die technischen Potenziale von Kerntechnologien zu konzentrieren, welche erheblich zur Effizienzsteigerung und/oder zur CO₂-Minderung beitragen können. Dabei ist in Betracht zu ziehen, dass durch politikinduzierten Fortschritt zusätzliche technische Potenziale entwickelt werden können.

Ziel der Bestimmung der **Verhaltenspotenziale (Studie A5)** ist die Aufarbeitung der bisher nur ungenügend empirisch erforschten Möglichkeiten zur Reduktion der EDL-

Nachfrage durch das Verhalten von Privaten, Unternehmen oder des Staats und die Abschätzung von deren Stellenwert im Rahmen einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik. Soweit möglich sind die **Verhaltenspotenziale als diejenigen Einsparungen an Energie (bzw. Emissionen) anzugeben**, die erzielt werden können, wenn alle untersuchten oder denkbaren Verhaltensänderungen vollständig und sofort von allen Akteuren umgesetzt würden. Als **Suffizienzpotenziale** werden diejenigen Verhaltenspotenziale bezeichnet, die durch Verzicht auf Teile der Qualität bzw. des Zusatznutzens oder des Umfangs einer EDL entstehen.

Bei der Ermittlung der Verhaltenspotenziale ist zunächst von den Hemmnissen abzusehen, die deren Ausschöpfung entgegenstehen. Auch die Motivation der Verhaltensänderung (ob zum Zweck des Energiesparens oder nicht) ist zunächst nicht massgeblich. Die Diskussion der Motivationen und Hemmnisse ist separat aufzunehmen, um Hinweise auf die Realisierungschancen der Verhaltenspotenziale und auf Wege zur Überwindung der Hemmnisse zu bekommen.

Methoden: Die Daten zu den technischen Potenzialen sind im Rahmen einer Literatur- und Datenbankauswertung zu erheben; unterstützend sind Interviews mit Spitzenforschern bzw. –unternehmen zu führen. Zur Vereinheitlichung des Vorgehens und der Form der Ergebnisse der Studien A1 bis A4 bedarf es der separaten Koordination zwischen den verschiedenen Studienteilnehmern. – Zur Quantifizierung der Verhaltenspotenziale ist noch methodische Vorarbeit zu leisten. Die Verhaltenspotenziale sind möglichst interdisziplinär unter Beteiligung von Psychologie, Soziologie, Politologie und Ökonomie zu bestimmen.

Modul B: Rahmenbedingungen, Strategien und Massnahmen

In Modul B werden ein Referenzszenario sowie drei Zielszenarien formuliert (**Studie B1**) sowie die für die Zielszenarien spezifischen Bündel von energiepolitischen Strategien und Massnahmen (S+M) identifiziert und ausgearbeitet, durch deren Anwendung die Nachhaltigkeitsziele und die Vorgaben der Zielszenarien erreicht werden sollen (**Studie B2**).

Das **Referenzszenario** soll auf der beschlossenen bzw. bereits realisierten Politik beruhen („frozen policy“) und die technologischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Trends fortschreiben. Es soll jedoch keine verstärkte politische Aktivität enthalten. Festzulegen sind neben sozioökonomischen Rahmendaten (Bevölkerung, sektorielle wirtschaftliche Aktivität, Importpreise von Öl, Gas, Strom) insbesondere energie- und umweltpolitische Vorgaben. Zudem fliessen die in Modul A bestimmten Potenziale ein. Es ist jeweils von den neuesten Daten der Bundesverwaltung aus Perspektivarbeiten auszugehen. Unsicherheiten über die Entwicklung der Rahmendaten sind in Form von **Sensitivitätsanalysen** zu berücksichtigen (die dann für das Referenz- wie die Politiksznarien durchgeführt werden). Zusätzlich ist die Ausarbeitung einer zweiten **Variante** des Referenzszenarios zu prüfen, die einer anderen langfristigen Entwicklung von Gesellschaft und Wirt-

schaft entspricht, die aber gleichwohl eine mögliche BAU-Entwicklung darstellt (basierend z.B. auf einer Welt ohne und einer mit weiterer Verschärfung der Kyoto-Ziele und klimapolitischer Einbezug der Entwicklungsländer).

Die drei **Zielszenarien** verfolgen den Zweck, politische und energiewirtschaftliche Pfade aufzuzeigen, auf denen die formulierten Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können. Der Vergleich verschiedener, in sich konsistenter Zielszenarien illustriert, in welchen Bandbreiten sich zukünftige Entwicklungen abspielen können. Er soll einen gesellschaftlichen und politischen Diskurs über die Vor- und Nachteile dieser Pfade auslösen, die je unterschiedliche Gewinner und Verlierer hervorbringen und auch mit je unterschiedlichen Kosten verbunden sein werden, und über die mit ihnen verbundenen Zielkonflikte informieren.

Auch die Zielszenarien sind durch Rahmenbedingungen und Vorgaben zu charakterisieren. Während die sozioökonomischen Rahmendaten für Referenz- und Zielszenarien gleich sind, soll die wirtschaftliche Aktivität und somit die EDL-Nachfrage in den Zielszenarien vom Referenzszenario abweichen können. Die wesentlichsten Unterschiede zum Referenzszenario bestehen darin, dass dem Zielszenario zusätzliche Vorgaben (Zielwerte der Leitindikatoren) gemacht werden, dass diese Vorgaben mit zusätzlichen bzw. verschärften S+M erreicht werden sollen, und dass diese zusätzlichen S+M zu anderen Werten für die Evaluationsindikatoren führen werden als im Referenzszenario. Die Gestaltung der S+M im Zielszenario soll dabei so erfolgen, dass die Auswirkungen auf die Evaluationsindikatoren möglichst positiv sind.

Zur Konstruktion der Zielszenarien schlagen wir vor, diese anhand der Intensität zu unterscheiden, in der die folgenden **energiewirtschaftlichen Basisoptionen** zum Erreichen der Nachhaltigkeitsziele beitragen sollen: Energiesparen und Verbesserung der Energieeffizienz; Einsatz fossiler Energien; Einsatz erneuerbarer Energien; Einsatz Nuklearenergie; Sequestrierung von Kohlenstoff; Senkung der EDL-Nachfrage. Auf der Stufe der vorliegenden Studie halten wir es jedoch für nicht sinnvoll, bestimmte Zielszenarien festzulegen.

In **Studie B2** wird das Instrumentarium energiepolitischen Handelns daraufhin untersucht und evaluiert, inwiefern es geeignet ist, die langfristige Entwicklung und Ausschöpfung von Technologie- und Verhaltenspotenzialen zu befördern und die Bestimmungsfaktoren der EDL-Nachfrage zu beeinflussen sowie diesen beiden Anliegen entgegenstehende Hemmnisse (z.B. infolge mangelnder Akzeptanz) abzubauen. Zudem sind für die einzelnen S+M Intensität und Zeitpunkt der Implementierung zu bestimmen. Ziel der Studie ist die Konzeption und Evaluation eines optimalen Bündels von S+M. Folgende Aufgaben sind in der Studie B2 zu behandeln:

- Identifikation und Evaluation von S+M zur gezielten und effizienten Behebung von Marktunvollkommenheiten sowie von Kompensationsmassnahmen; Konzeption und Evaluation einer Stossrichtung „Ausschöpfung Verhaltenspotenziale“ und Klärung ih-

rer Erfolgsvoraussetzungen; Evaluation der Machbarkeit und Effizienz von langfristigen Vorschriften zur Absenkung des Energieverbrauchs von Gebäuden (evtl. auch Fahrzeugen und Geräten); Evaluation klimapolitischer Instrumente (z.B. Erzeugung und Handel von Emissionszertifikaten);

- Identifikation und Evaluation eines geeigneten Mixes von langfristig wirkenden S+M, mit dem die Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können;
- Erarbeitung von Vorschlägen, mit welchen Ausgestaltungsvarianten und Kompensationsmassnahmen die Akzeptanz der S+M erhöht werden kann; dazu Verbesserung des Verständnisses für die Prozesse, die zur Gewährung oder Verweigerung gesellschaftlicher Akzeptanz führen;
- Entwicklung und Anwendung eines Evaluationsrasters zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit der S+M (z.B. Auswirkungen auf Wettbewerbsfähigkeit einzelner Branchen als Kriterium).

Zur Bestimmung des S+M-Bündels sind die einzelnen S+M auf ihre Eignung hin zu analysieren, in einem der formulierten Zielszenarien eingesetzt zu werden. Dazu sind mittels des Bewertungsverfahrens diejenigen S+M zu bestimmen, deren Anwendung am meisten Erfolg verspricht, ein bestimmtes der Nachhaltigkeitsziele zu erreichen, sofern sie rechtzeitig und in adäquater Intensität eingesetzt werden. Als Resultat der Bewertung ist für jedes Zielszenario ein Paket von S+M festzulegen, mit dem dessen Vorgaben erreicht werden sollen. Anschliessend sind – allenfalls durch erneute Anwendung des Bewertungsverfahrens – die Intensität und der Einsatzzeitpunkt zu bestimmen, in denen die einzelnen Instrumente in einem Zielszenario im Zeitverlauf einzusetzen sind (S+M-Bündel).

Modul C: Auswirkungen

In Modul C wird mit Hilfe computergestützter Modellrechnungen aufgezeigt, unter welchen Bedingungen, mit welchen S+M und mit welchen Auswirkungen in den Zielszenarien die formulierten Nachhaltigkeitsziele erreicht werden (**Studie C1**). Für das Referenzszenario ist zu bestimmen, mit welchem Technologie- bzw. Endenergiemix die darin vorgegebene EDL-Nachfrage zu welchen Kosten befriedigt wird. Festzustellen sind zudem die Auswirkungen auf die Leit- und Evaluationsindikatoren. Für die Zielszenarien sind zum einen die Auswirkungen verschiedener S+M-Bündel auf die Leitindikatoren zu untersuchen. Die Intensität der verschiedenen S+M ist in einem iterativen Prozess so zu justieren, dass die Leitindikatoren möglichst den vorgegebenen Zielwerten genügen. Zum anderen sind die Auswirkungen auf Evaluationsindikatoren zu bestimmen, die dann mit denen des Referenzszenarios verglichen werden können. Als Evaluationsindikatoren stehen die volkswirtschaftlichen Kosten und Verteilungseffekte im Vordergrund. Für jedes Szenario sind optimale S+M-Bündel zu bestimmen, welche eine maximale Zielerreichung für die ver-

schiedenen Leitindikatoren gewährleisten und zugleich die negativen volkswirtschaftlichen Auswirkungen minimieren.

Wir schlagen vor, die Auswirkungen in den Zielszenarien soweit möglich mit Hilfe eines **hybriden Ansatzes** zu berechnen, welcher ein dynamisches allgemeines Gleichgewichtsmodell (top-down) mit einem Technologiemo­dell (bottom-up) koppelt. Die Studie C1 muss insbesondere die folgenden Aufgaben behandeln:

- **Modellentwicklung:** Aufbauend auf den in der Schweiz vorhandenen Arbeiten im Modellbereich (insbesondere *Swissgem*) ist ein hybrides Modell zu operationalisieren. Konkret sind dazu in ein allgemeines Gleichgewichtsmodell Bottom-up-Elemente für Teilbereiche (z.B. Stromerzeugung, Gebäude, Verkehr) einzuführen. Es sind die im Rahmen der Module A und B erhobenen Daten und angestellten Überlegungen als Input zu verwenden. Der technische Fortschritt ist nur für jene Technologien zu endogenisieren, bei denen dies aufgrund der in Modul A durchgeführten Arbeiten für sinnvoll erachtet wurde. Für die S+M ist je einzeln zu prüfen, wie diese angemessen im Modell abgebildet werden können. Allenfalls sind neue Ansätze zu generieren zur Integration vielversprechender S+M ins Modell (z.B. Massnahmen zur Ausschöpfung von Verhaltenspotenzialen).
- **Berechnung der Auswirkungen verschiedener S+M-Bündel:** Wie schneiden die in Modul B formulierten Zielszenarien in bezug auf die Nachhaltigkeitsziele 2050 ab? Welche Zielkonflikte zwischen einzelnen Nachhaltigkeitszielen ergeben sich und können allenfalls bis 2050 nicht gelöst werden? Welches sind die volkswirtschaftlichen Kosten und Auswirkungen der verschiedenen szenariospezifischen S+M-Bündel (Wachstum, Wohlfahrt, Arbeitsplätze, Verteilungswirkungen, wirtschaftliche Struktureffekte)? Basierend auf den Resultaten der Modellierung (Zielerreichung Leitindikatoren, volkswirtschaftliche Auswirkungen) sind die S+M-Bündel in einem iterativen Verfahren zu optimieren. Dies soll in engem Kontakt mit den Bearbeitern der Studie B2 geschehen.
- **Auswertung der Berechnungen für die einzelnen Zielszenarien:** Ergeben sich Hinweise, in welcher zeitlichen Abfolge und welcher Intensität einzelne S+M umzusetzen sind? Welche S+M müssen heute schon (revidierbar) umgesetzt werden, um die Nachhaltigkeitsziele 2050 erreichen zu können? Wann sind welche Schwerpunkstechnologien in welcher Weise zu fördern, wie sehen diesbezügliche „Road maps“ aus? Wie kann man die Strategie flexibel genug halten, um die möglichen (gesamtwirtschaftlichen) Verluste möglichst gering zu halten? Wie sehen Hedging-Strategien aus?
- **Sensitivitätsanalyse:** Wie hängen die Ergebnisse der Berechnungen von exogen vorgegebenen Faktoren ab (z.B. Importpreise, Diskontrate)?

Modul D: Synthese

In Modul D wird die Grundlage geschaffen für eine politische Bewertung der Notwendigkeit, der Anforderungen und der Machbarkeit einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik. Dazu sind die detaillierten Ergebnisse der Modellrechnungen auszuwerten, miteinander zu vergleichen und zu kommunizieren.

Die Auswertung der Modellergebnisse (**Studie D1**) ist im Hinblick auf folgende Ziele vorzunehmen: Folgerungen ziehen zu den Chancen und Risiken einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik; Kriterien entwickeln für eine politische Abwägung der unterschiedlichen, den Zielszenarien zugrundeliegenden energiepolitischen Basisstrategien anhand der Auswirkungen der Zielszenarien auf Leit- und Evaluationsindikatoren; Empfehlungen ausarbeiten zum kurz- und mittelfristigen energiepolitischen Handlungsbedarf im Hinblick auf das Erreichen der Nachhaltigkeitsziele; Vorschlag zur Implementierung der S+M-Bündel (dazu Spiegelung an der bestehenden Energiepolitik und Hinweise zur politischen Aufgabenteilung); weiteren Vertiefungsbedarf eruieren für den Entwurf einer sinnvollen und umsetzbaren Langfriststrategie.

Die Kommunikation der Resultate der Module A-C soll über zwei Kanäle erfolgen (**Projekt D2**): eine öffentlichkeits- und zugleich politikwirksame Publikation (Populärfassung), die die Problemstellung der langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik erläutert und über die im Gesamtprojekt dazu erarbeiteten Ergebnisse und Empfehlungen informiert; eine Schlussveranstaltung unter Einbezug der relevanten Stakeholder, deren Ziel es ist, einen öffentlichen Diskurs und einen politischen Prozess in Gang zu bringen über Ziele, Akzeptanz und Wünschbarkeit einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik. Die Schlussveranstaltung ist im Hinblick darauf auszuwerten, wie die Notwendigkeit einer Langfriststrategie in der Energiepolitik und der mit ihr verbundenen Massnahmen den verschiedenen Zielgruppen kommunikativ zu vermitteln ist, damit die Akzeptanzbasis für eine solche Politik verbreitert werden kann.

5.4 Möglicher Finanzplan des Gesamtprojekts

Für das Gesamtprojekt ist gemäss Ausschreibung ein Budget von 1,6 Mio. Fr. vorgesehen. Wir schlagen vor, angesichts der Komplexität des Gesamtprojektes einen Betrag von Fr. 100'000,- als Reserve zurückzubehalten. Dieser kann für spezielle Koordinationsaufgaben oder für sich im Laufe des Forschungsprozesses als sinnvoll ergebende Vertiefungen eingesetzt werden.

Die Module A–C sollten wegen der vielfältigen Bezüge zwischen ihnen parallel ausgeschrieben und begonnen werden. Die Studiennehmer der Module B und C sollten von Beginn an einbezogen sein, damit sie ihre Bedürfnisse an die bei ihnen einflussenden Ergebnisse frühzeitig einbringen können.

Strukturierung des Gesamtprojekts	Betrag
Modul A: Potenziale	600
A1 Gebäude	100
A2 Industrie, Gewerbe, Dienstleistungen	100
A3 Verkehr	100
A4 Stromerzeugung	100
A5 Verhalten	150
Koordination	50
Modul B: Rahmenbedingungen, Strategien und Massnahmen	300
B1 Formulierung Szenarien	125
B2 Evaluation und Auswahl S+M	175
Modul C: Auswirkungen	400
C1 Modellentwicklung und -rechnungen	400
Modul D: Synthese und Umsetzung	200
D1 Auswertung und Empfehlungen	100
D2 Zusammenfassung und Kommunikation	100
Reserve	100
Total Finanzvolumen	1600

Abbildung 4: Finanzplan des Gesamtprojektes (Angaben in 1'000 Franken)

5.5 Grenzen des Gesamtprojektes

Die Erwartungen an das Gesamtprojekt sind hoch gesteckt. Es ist daher wichtig, auf diesen Grenzen hinzuweisen. Manche Ziele können und sollen unseres Erachtens nicht erfüllt werden, selbst wenn sie dringlich sind. Dazu gehört, dass keine umstürzenden Erkenntnisse zu erwarten sind, was den Zusammenhang zwischen Energiesystem und Gesellschaft, Wirtschaft und Politik anbelangt. Fragen nach der Wechselwirkung zwischen dem Wandel von Gesellschaft und Wirtschaft und der Gestalt des Energiesystems (Energieverbrauch, Energiemix) werden offen bleiben, weil sie die Gewinnung und Einnahme grundlegend neuer Perspektiven verlangen.

Ähnliches gilt für die Frage nach den Wechselwirkungen zwischen Wirtschaftswachstum und Höhe und Art des Energieverbrauchs, auf die in der Ausschreibung mehrfach Bezug genommen wird, sowie für die Frage nach den Entstehungsbedingungen von technischem Fortschritt. Antworten zu diesen Fragenkomplexen können innerhalb des Gesamtprojekts höchstens ansatzweise erwartet werden. Diese Grenzen des Gesamtprojekts verdeutlichen, dass die Entwicklung grundlegend neuer Methoden und Ansätze, für die zweifelsohne ein wissenschaftlicher Bedarf besteht, vom Gesamtprojekt nicht erwartet werden darf. Wir sind jedoch der Überzeugung, dass das vorhandene methodische Rüstzeug grösstenteils durchaus ausreichend ist, um den Zwecken des Gesamtprojektes gerecht zu werden.

6 Empfehlung für das weitere Vorgehen

Aufgrund der zuvor angestellten Überlegungen zum Bedarf für eine Langfriststrategie im Energiebereich und dem Forschungsbedarf für eine langfristige, nachhaltige Energiepolitik sowie aufgrund der Erwägungen zu Nutzen und Machbarkeit des Gesamtprojektes, das die Grundlagen für den Entwurf einer solchen Energiepolitik liefern soll, kommen wir zu folgenden Schlussfolgerungen und Empfehlungen zuhanden des BFE und der CORE:

- Es gibt einen Bedarf für eine Langfriststrategie im Energiebereich, und das nicht nur in der Schweiz. In der EU hat die diesbezügliche Diskussion in den jüngsten Jahren an Dynamik gewonnen. Für die Schweiz ist es vorteilhaft, wenn sie eigene Überlegungen zu einer Langfriststrategie im Energiebereich anstellt. So kann sie sich im Umfeld der EU positionieren und die mit einer Langfriststrategie für sie verbundenen Chancen und Risiken rechtzeitig ins politische Kalkül einbeziehen.
- Die Schweiz ist, was die wissenschaftlichen Grundlagen für den Entwurf einer langfristigen, nachhaltigen Energiepolitik betrifft, nicht genügend gerüstet. Die bestehenden Energieperspektiven der Bundesverwaltung, das im ETH-Bereich, an den Hochschulen und in privaten Büros vorhandene Know-how bieten zwar eine gute Ausgangslage. Erst das Gesamtprojekt aber versetzt die Schweizer Energiepolitik in die Lage, die Anforderungen, die eine Ausrichtung des Energiesystems auf Nachhaltigkeitsziele bis 2050 mit sich bringt, auf wissenschaftlich fundierter Basis zu diskutieren.
- Wir empfehlen die Durchführung des Gesamtprojektes im vorgeschlagenen Rahmen. Sie verspricht eine Fülle von Erkenntnissen zur Zukunft energierelevanter Technologien, zu den gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Bestimmungsfaktoren der Energiedienstleistungsnachfrage sowie zu den energiepolitischen Strategien und Massnahmen, mit denen das Energiesystem der Schweiz auf einen langfristigen Nachhaltigkeitskurs gebracht werden kann. Diese Erkenntnisse werden auch dann für die mittelfristige Energiepolitik bis 2020 nutzbringend sein, wenn das politische Klima der Einnahme einer Langfristperspektive bis 2050 ungünstig sein sollte.