



## 2 Perspektiven der Stromnachfrage

### Autoren

Experten: Silvia Banfi, ewz; Bruno Bébié, Stadt Zürich; Lucas Bretschger, ETH Zürich; Maxi Grebe, ETH Zürich; Lino Guzzella, ETH Zürich; Matthias Gysler, Bundesamt für Energie (BFE); Peter de Haan, Ernst Basler + Partner AG; Peter Houzer, ewz; Eberhard Jochem, ETH Zürich / ISI Karlsruhe; Filippo Lechthaler, ETH Zürich; Michel Piot, BFE; Renate Schubert, ETH Zürich; Michael Siegrist, ETH Zürich; Bernadette Sütterlin, ETH Zürich; Marcel Wickart, ewz

Steuerungsausschuss: Marco Berg, Stiftung Klimarappen; Heinz Gutscher, Universität Zürich

#### **Stromnachfrage: viele Faktoren, schwer zu steuern, tendenziell steigend**

Die Stromnachfrage wird durch eine Vielzahl von Faktoren und Entwicklungen beeinflusst. Die wichtigsten ökonomischen Faktoren sind der Strompreis und das Einkommen bzw. die Wirtschaftsleistung. Der Staat kann die Nachfrage nach Strom durch Steuern und Abgaben oder Subventionen beeinflussen. Diese Instrumente wirken vor allem mittel- bis langfristig, wenn Industrie und Haushalte von Möglichkeiten zur Substitution und Effizienzsteigerung Gebrauch machen. Ob diese Möglichkeiten genutzt werden, kann durch ökonomische Faktoren massgeblich beeinflusst werden.

Bereits beim heutigen Stand der Technik sind beachtliche Effizienzpotenziale vorhanden. Sie betragen je nach Anwendungsbereich bis zu 80 % des heutigen Verbrauchs, beispielsweise bei Elektro- und IT-Geräten. Hinzu kommen Effizienzpotenziale, die mit neuen Technologien wie LED-Leuchten oder der (Teil-)Substitution stromintensiver Produkte umgesetzt werden können. Die Stromeffizienz könnte während Jahrzehnten um 1,0 bis 1,5 % pro Jahr verbessert werden, wenn bestehende Hemmnisse beseitigt würden. Allerdings werden diese Effizienzpotenziale durch andere Entwicklungen teilweise kompensiert. Zum Beispiel steigt der Stromverbrauch durch die fortschreitende Automation und Mechanisierung sowie durch die Substitution von fossilen Energien mit Technologien, die zu einer Erhöhung der Stromnachfrage führen (Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge). Diese Einflüsse können zu einem erhöhten Strombedarf von 0,4 bis 0,6 % pro Jahr führen.

Steigt die Stromeffizienz, werden Tätigkeiten, bei denen Strom verbraucht wird, im Vergleich zu anderen Tätigkeiten preisgünstiger. Das schafft einen Anreiz, die stromverbrauchenden Tätigkeiten auszuweiten, wodurch ein Teil der Stromeinsparung wieder zunichte gemacht wird. Dieser sogenannte Rebound-Effekt kann auf durchschnittlich 10 % veranschlagt werden.

Die Stromnachfrage wird zudem von verschiedenen psychologischen und gesellschaftlichen Faktoren beeinflusst. Die Bereitschaft der Individuen, ihre Stromnachfrage zu verringern, hängt massgeblich von ihrer Einschätzung ab, auch effektiv einen Beitrag zur Verringerung des Stromverbrauchs zu leisten. Dabei

spielt die Verfügbarkeit von Informationen oder die Wirksamkeit des eigenen Beitrags eine wesentliche Rolle. Informations- und Steuerungssysteme wie das Smart Metering können hier eine (bescheidene) Verbesserung bringen. Soziale Normen, die Effizienzinvestitionen oder generell die Senkung des Stromverbrauchs als einen wichtigen und anerkannten Beitrag für die nachhaltige Entwicklung deklarieren, können das individuelle Verhalten stärken und unterstützen. Die Beeinflussung dieser Faktoren erfordert sozialwissenschaftliches Know-how und ein spezifisch auf die verschiedenen Akteurguppen abgestimmtes Vorgehen.

Das Bundesamt für Energie und weitere Organisationen haben detaillierte Szenarien zur Stromnachfrage erarbeiten lassen. Dabei sind die Bevölkerungsentwicklung, die Wirtschaftsleistung sowie die angenommenen technologischen Entwicklungen (Effizienzsteigerungen, stärkere Elektrifizierung der Gesellschaft) die wesentlichen Einflussgrößen. Die Szenarien verfolgen verschiedene Ziele, was sich im Detaillierungsgrad der zugrunde liegenden Modelle widerspiegelt. Allerdings können auch sehr detaillierte Modelle nicht alle Einflussfaktoren aufnehmen und quantifizieren. Die Entwicklung dieser Faktoren und ihre Wirkung auf die Stromnachfrage kann oft nur qualitativ abgeschätzt werden.

Die Akademien Schweiz schätzen die Referenzentwicklung der Stromnachfrage in den Jahren 2020, 2035 bzw. 2050 auf 62, 64 bzw. 68 TWh. Gegenüber dem derzeitigen Verbrauch von 60 TWh wird also die Stromnachfrage zunehmen, wenn keine Ansätze zu deren Beeinflussung verfolgt werden. Die Akademien Schweiz schätzen weiter, dass die Stromnachfrage mit Hilfe von politisch durchsetzbaren Massnahmen bis 2020, 2035 bzw. 2050 auf 57, 56 bzw. 58 TWh gesenkt werden kann. Die Bandbreite der Unsicherheit wächst dabei mit zunehmendem Zeithorizont. So liegen die Schätzungen für die Stromnachfrage in 2050 zwischen 50 und 75 TWh.

## **2.1 Die Rolle des Stroms in der Energieversorgung**

In diesem Kapitel geht es um die Frage, welche Faktoren die Nachfrage nach Strom bestimmen und wie sich die Nachfrage in der Schweiz in den kommenden vier Jahrzehnten aufgrund dieser Faktoren voraussichtlich entwickeln wird. Die vorhandenen Studien zur erwarteten Entwicklung der Faktoren und daraus abgeleitet der Stromnachfrage werden ausgewertet. Dabei wird auch auf neue Entwicklungen eingegangen, die in die bisherigen Prognosen nicht oder noch kaum eingeflossen sind. Zudem werden Ansatzpunkte diskutiert, mit denen die Bestimmungsfaktoren im Sinne einer Dämpfung der Nachfrage beeinflusst werden können. Es wird gezeigt, welche Hemmnisse einer solchen Beeinflussung entgegenstehen und wie diese allenfalls überwunden werden können.

Die Bedeutung des Stroms innerhalb der Energieversorgung hat laufend zugenommen und wird weiter zunehmen. Elektrische Geräte und Antriebe sind breit einsetzbar, technisch hochentwickelt, energetisch effizient und im Betrieb nahezu emissionsfrei.

Dies macht sie enorm attraktiv. Der für die Geräte und Antriebe benötigte Strom muss allerdings erst produziert werden. Dafür steht eine Vielzahl von Technologien bereit, die verschiedene Vor- und Nachteile aufweisen (vgl. Kapitel 3). Zudem muss der Strom von den Produktionsstätten zu den elektrischen Verbrauchern geführt werden. Das erfordert ein Stromnetz, das Produzenten und Verbraucher miteinander verbindet (vgl. Kapitel 4).

Die Zunahme des Stromverbrauchs in den letzten Jahrzehnten hat viele Ursachen. Immer mehr elektrische Geräte werden für bestehende und neue Anwendungen eingesetzt, am Arbeitsplatz ebenso wie im Haushalt: Computer, Mobiltelefone, Unterhaltungselektronik, Haushaltsgeräte, Beleuchtung, Haustechnik, Antriebe, Prozesssteuerungen etc. Auch die Bahnen und die Telekommunikationsunternehmen benötigen zunehmend Strom – SBB und Swisscom sind die zwei grössten einzelnen Stromverbraucher. Hinzu kommt ein Trend zum Ersatz fossiler Energieträger durch Elektrizität, z.B. beim Heizen infolge des vermehrten Einsatzes

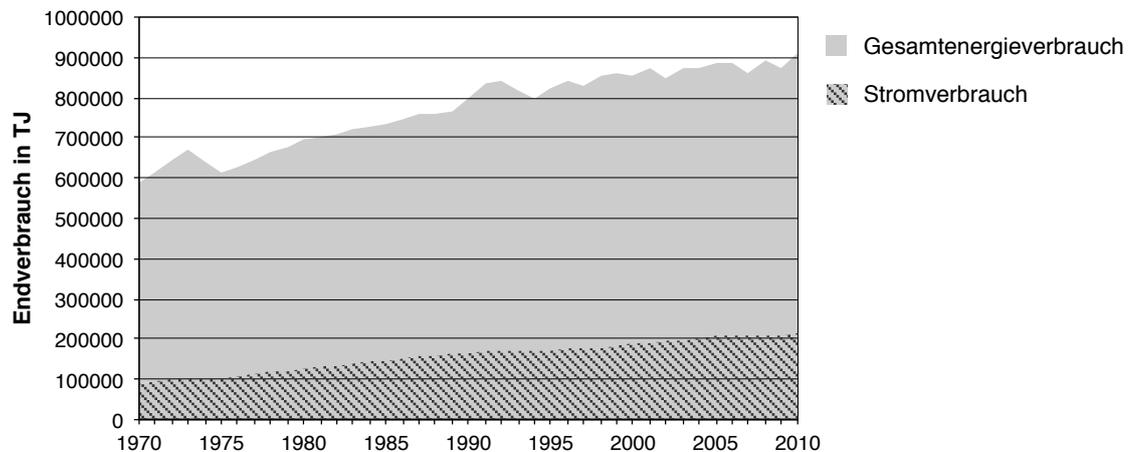


Abbildung 2.1: Entwicklung des Strom- und des Gesamtenergieverbrauchs 1970–2010 (BFE). Zwischen 1970 und 1985 liegen nicht für alle Jahre Zahlen vor. Diese wurden extrapoliert.

von Wärmepumpen. Eine zuverlässige, lückenlose Versorgung ist deshalb von entscheidender Bedeutung für die schweizerische Volkswirtschaft und die Erhaltung einer hohen Lebensqualität.

In konkreten Zahlen sieht das so aus: Der Anteil des Stroms am Endenergieverbrauch betrug 2010 rund 24%, 1970 waren es erst 15% (vgl. Abbildung 2.1). Man spricht deshalb von einer Elektrifizierung der Gesellschaft. In absoluten Zahlen nahm der Verbrauch seit 1970 von 25 auf 60 TWh im Jahr 2010 zu. Das entspricht einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von gut 2%.

Im gleichen Zeitraum nahm die Bevölkerung von 6,2 auf 7,8 Millionen zu (+26%). Gleichzeitig verdoppelte sich der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch nahezu von 4000 auf 7400 kWh. Das Bruttoinlandsprodukt stieg kaufkraftbereinigt (in Preisen von 2009) zwischen 1970 und 2009 von 292 auf 535 Mrd. Fr. (+83%). Die Stromintensität der Volkswirtschaft erhöhte sich somit von 0,086 auf 0,107 kWh/Fr. Die Konsumausgaben für Strom betragen 2009 9,2 Mrd. Fr., der durchschnittliche Endverbraucherpreis lag bei 16,0 Rp./kWh.

Die Industrie und das verarbeitende Gewerbe waren 2010 die wichtigste Verbrauchergruppe mit einem Anteil von 32,2% des Endverbrauchs, gefolgt von den Haushalten (31,2%), dem Dienstleistungssektor (26,8%) und dem Verkehr (8,1%). Die Landwirtschaft macht einen kleinen Anteil

von 1,7% aus. In den letzten 20 Jahren konnte eine Verschiebung zwischen den Verbraucherkategorien festgestellt werden, wobei die Haushalte und der Dienstleistungssektor eine Zunahme ihrer Anteile zu verzeichnen hatten, während der Anteil der Industrie trotz steigender Produktion abnahm.

Zu berücksichtigen ist schliesslich, dass mit den importierten Gütern auch bedeutende Mengen an grauer Energie eingeführt werden. Der gesamte Energiekonsum der Volkswirtschaft ist daher deutlich höher als in der schweizerischen Energiestatistik ausgewiesen.

## 2.2 Bestimmungsfaktoren der Stromnachfrage

### 2.2.1 Ökonomische Faktoren

#### 2.2.1.1 Preis

Ökonomisch betrachtet hängt die Nachfrage nach Strom – wie die Nachfrage nach allen Gütern – vom Einkommen der Nachfrager und von den Preisen ab. Ein höheres Einkommen führt – ceteris paribus – zu einer höheren Nachfrage, ein höherer Strompreis zu einer geringeren Nachfrage, während ein höherer Preis anderer Energieträger wie z. B. Heizöl zu einer höheren Nachfrage nach Strom führt. Der Stand der Technik ist dabei insofern entscheidend, als er die Produktionskosten und damit wesentlich die Preise bestimmt.

Wie stark die Nachfrage auf eine Preisänderung reagiert, wird üblicherweise mit der Preiselastizität gemessen: Sie gibt die relative Veränderung der Nachfrage auf eine relative Preisänderung an. Da eine Erhöhung des Strompreises zu einer Reduktion der Stromnachfrage führt, ist die Preiselastizität sicher negativ. Zudem ist sie betragsmässig eher kleiner als 1 («unelastisch»), d.h. die Nachfrage ändert sich in geringerem Mass als der Preis. Dabei dürfte die langfristige Reaktion stärker als die kurzfristige sein. Kurzfristig bleibt zum Stromsparen kaum eine andere Möglichkeit, als die stromverbrauchenden Geräte weniger zu verwenden, während langfristig diese Geräte durch weniger stromverbrauchende ersetzt werden können. Die langfristige Elastizität der privaten Haushalte in der Schweiz, also über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren, wird auf -0,6 geschätzt, d.h. eine 10-prozentige Erhöhung des Strompreises führt zu einer 6-prozentigen Verringerung der Nachfrage (Simmons-Süer 2011). Da die Industrie mehr Möglichkeiten hat als die privaten Haushalte, auf eine Strompreiserhöhung zu reagieren, wird dort die langfristige Preiselastizität sogar auf bis zu -1,0 geschätzt. Allerdings basieren diese Schätzungen für die Schweiz auf relativ wenigen Studien. Zudem ist es schwierig, die verschiedenen Faktoren, welche die Höhe der Preiselastizität kritisch beeinflussen, empirisch zu erfassen.

Soll die Nachfrage nach Strom deutlich zurückgehen (bzw. deutlich weniger ansteigen, als es bei einer Fortschreibung der bisherigen Entwicklung geschehen würde), muss der relative Preis von Strom im Vergleich zum Einkommen oder zu den Preisen der anderen Energieträger deutlich ansteigen. Da nicht davon auszugehen ist, dass letztere in Zukunft deutlich sinken werden, muss für einen Nachfragerückgang der Preis absolut ansteigen. Dies gilt für alle Energieträger: So ist auch eine deutliche Verringerung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses nur zu erwarten, wenn die Preise der fossilen Energieträger erheblich bzw. deutlich stärker als die Einkommen ansteigen.

Der heutige Preis für Strom ist künstlich tief, weil er die externen Kosten der Stromversorgung nicht berücksichtigt. Dazu gehören insbesondere die Kosten aus Beeinträchtigungen der Umwelt und der

menschlichen Gesundheit, aber auch die möglichen Schäden, die bei der Produktion von Strom entstehen können und die gar nicht oder nur ungenügend versichert sind. Dies gilt vor allem für die Schäden eines Dammbrochs bei Speicherkraftwerken sowie für die Schäden eines grossen Störfalls bei Kernkraftwerken, wo die Höchstsumme der Versicherung derzeit lediglich 1,8 Mrd. Fr. beträgt. Die Tatsache, dass es sich dabei um sehr unwahrscheinliche Ereignisse handelt, rechtfertigt den Verzicht auf eine Versicherung in realistischer Höhe nicht, da dies einer Subvention gleichkommt. Gemessen an den gesellschaftlichen Kosten wird Strom also zu billig angeboten und dementsprechend in grösseren Mengen konsumiert, als es (rein ökonomisch betrachtet) sinnvoll wäre.

Gegen einen Anstieg der Strompreise wird häufig eingewendet, dies würde der Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz Schaden zufügen. Das gilt aber höchstens dann, wenn der Anstieg nur in der Schweiz stattfindet und die Strompreise dadurch im Vergleich zum Ausland teurer würden. Das Argument ist ungültig, sobald es sich beim Anstieg um einen allgemeinen internationalen Trend handelt. Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass in der Schweiz die Grundstoffindustrie weitgehend fehlt. Die schweizerische Wirtschaft würde daher durch einen solchen Anstieg sehr viel weniger belastet als die Wirtschaften anderer Staaten. Insofern könnte ein allgemeiner internationaler Anstieg der Strompreise der Schweiz sogar einen komparativen Vorteil verschaffen.

Des Weiteren wird gegen einen Anstieg der Energiepreise häufig eingewendet, ein solcher würde Personen mit niedrigem Einkommen stärker belasten als solche mit hohem Einkommen, da erstere einen relativ höheren Teil ihres Einkommens für Energie ausgeben. Dies ist tatsächlich der Fall: Energie bzw. Strom bilden dabei aber keine Ausnahme, gilt dasselbe doch für die weitaus meisten Güter des täglichen Bedarfs. Will man den unteren Einkommensschichten helfen, ist es sinnvoller (und in aller Regel auch billiger), diese direkt zu unterstützen, anstatt die Preise durch Subventionen für alle künstlich niedrig zu halten. Personen mit nied-

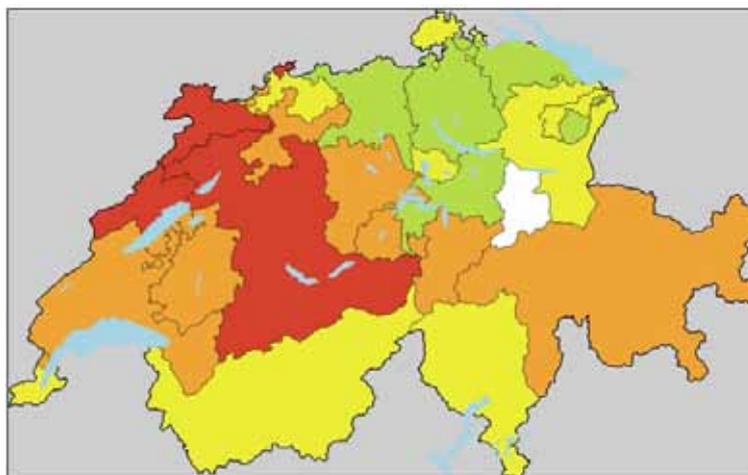


Abbildung 2.2: Elektrizitätstarife für einen Durchschnittshaushalt in einer 5-Zimmerwohnung mit einem Verbrauch von 4,5 MWh pro Jahr (Elcom).

Tarifvergleich in Rp./kWh: Kategorie H4, Totalpreis für das Jahr 2011

■ <16.97 ■ 16.97–18.97 ■ 18.97–20.97 ■ 20.97–22.97 ■ >22.97

□ Von diesem Kanton sind (noch) nicht genügend Tarifdaten vorhanden

rigem Einkommen werden in der Schweiz implizit dadurch unterstützt, dass die Preise der einzelnen Güter in die Berechnung des Existenzminimums eingehen, das für die Berechnung der Sozialhilfesätze massgebend ist. Eine markante Erhöhung des Strompreises schlägt sich deshalb auch in einer Erhöhung der Kosten für das Existenzminimum nieder. Analoges gilt für den Index der Lebenshaltungskosten, der in den Lohnverhandlungen eine wesentliche Rolle spielt. Aus dieser Perspektive erübrigt es sich, die Preise für Strom (und andere Güter) aus verteilungspolitischen Gründen künstlich niedrig zu halten.

Der Preis, den die Endverbraucher für Strom bezahlen (vgl. Abbildung 2.2), setzt sich aus vier Komponenten zusammen (Elcom 2010):

- **Netznutzungstarif:** Preis für den Stromtransport vom Kraftwerk bis ins Haus. Mit den Einnahmen werden die Wartung und der Ausbau des Stromnetzes finanziert, also Leitungen, Masten, Transformatoren etc.
- **Energiepreis:** Preis für die gelieferte elektrische Energie. Diese Energie erzeugt der Netzbetreiber entweder mit eigenen Kraftwerken, oder er kauft sie von Vorlieferanten ein. Er kann auf dem Terminmarkt Verträge von bis zu mehreren

Jahren abschliessen und damit langfristig Produktion und Bedarf absichern oder am Spotmarkt kurzfristige Geschäfte tätigen.

- **Abgaben an das Gemeinwesen:** Kommunale und kantonale Abgaben und Gebühren. Darunter fallen z.B. Konzessionsabgaben oder lokale Energieabgaben.
- **Förderabgaben:** Bundesabgabe zur Förderung der erneuerbaren Energien (kostendeckende Einspeisevergütung KEV). Die Höhe der Abgabe wird jährlich vom Bundesamt für Energie festgelegt. Die Abgabe ist überall gleich hoch und beträgt 2011 0,45 Rp./kWh. Gesetzlich wäre eine Erhöhung auf 0,9 Rp./kWh zulässig.

Der Anteil der Netznutzung am Endverbraucherpreis beträgt etwas mehr als die Hälfte, der Anteil der Energielieferung etwas weniger als die Hälfte. Die verschiedenen Abgaben machen lediglich 5% aus.

Eine Eigenheit des Strommarkts besteht darin, dass der Spotmarktpreis nicht direkt und nur verzögert auf den Konsumentenpreis durchschlägt. Eine Verknappung oder ein Überschuss des Stromangebots wirkt sich daher nicht unmittelbar auf die Nachfrage aus. Dies geschieht erst bei einer Anpassung der Tarife

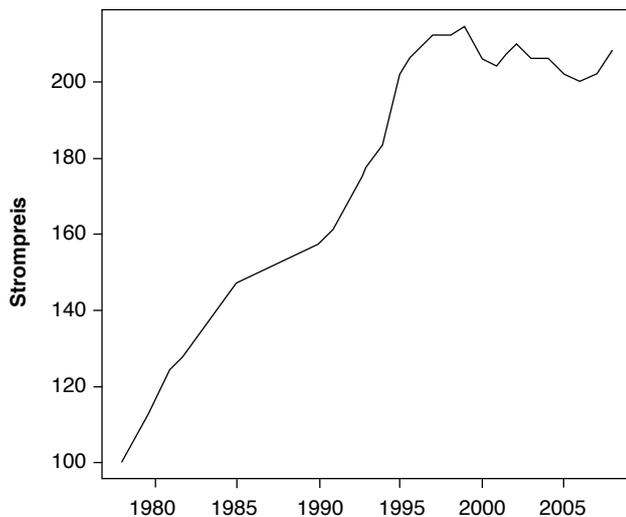


Abbildung 2.3:  
Strompreisindex für Haushalte in der Schweiz  
(1978–2008, 1978 = 100) (IEA 2010).

oder bei einer Neuaushandlung von Stromlieferverträgen. Der Strompreis unterliegt zudem politischen Einflüssen und ist auch deshalb nicht automatisch das Resultat des Ausgleichs zwischen Angebot und Nachfrage. So können beispielsweise nach heutiger Gesetzgebung Grossverbraucher (über 100 MWh pro Jahr) den Strom zu Marktpreisen beziehen oder sie können wählen, ob sie ihn zu Gestehungskosten oder zu Marktpreisen beziehen möchten.

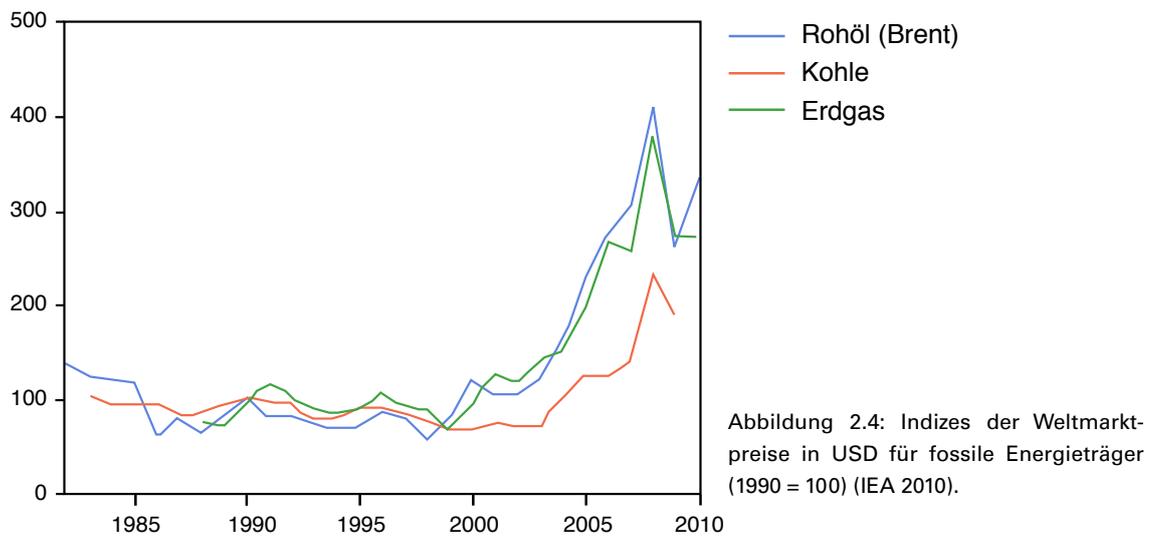
Die Nachfrage nach Strom unterliegt einem ausgeprägten Tagesgang wie auch einem Jahresgang. So ist die Nachfrage im Winter höher als im Sommer und tagsüber höher als nachts. Durch eine Differenzierung der Preise kann die zeitlich unterschiedliche Nachfrage zu einem erheblichen Teil ausgeglichen werden.

Abbildung 2.3 zeigt die indexierte Entwicklung des jährlichen, inflationsbereinigten Strompreises für private Haushalte in der Schweiz zwischen 1978 und 2008. Einhergehend mit einem steigenden Stromverbrauch hat sich der reale Strompreis von 1978 bis etwa 1995 verdoppelt, seither zeigt er eine stationäre Entwicklung. Laut der Internationalen Energieagentur (IEA) ist der Schweizer Strompreis (inflations- und kaufkraftbereinigt) für Haushalte im Jahr 2008 im Vergleich zu 21 ausgewählten OECD-Ländern am zweittiefsten (nach Norwegen).

Die künftige Entwicklung der Strompreise dürfte wesentlich durch die Entwicklung der Preise für

die fossilen Energieträger bestimmt werden. 2008 wurden weltweit zwei Drittel des Stroms mit Hilfe fossiler Energieträger erzeugt: 41 % durch Kohle, 21 % durch Erdgas sowie 5,5 % durch Erdöl. Betrachtet man die neu installierte Leistung, so wurden 2010 gar 82 % des Stroms mit fossilen Energieträgern erzeugt. Die Indizes der Weltmarktpreise für Rohöl, Erdgas und Kohle haben sich in den letzten 30 Jahren weitgehend parallel entwickelt (vgl. Abbildung 2.4). Seit 2000 verzeichnen alle drei einen markanten Anstieg um 170 bis 190 %. Angesichts der zunehmenden internationalen Nachfrage und der steigenden Extraktionskosten als Folge der zunehmenden Erschöpfung der leicht zugänglichen Ressourcen ist in den kommenden Jahrzehnten mit einem weiteren Anstieg der realen Preise zu rechnen, auch wenn er vermutlich weniger dramatisch verlaufen wird als im vergangenen Jahrzehnt.

In der Schweiz spielen heute die fossilen Energieträger bei der Stromproduktion fast keine Rolle. Insofern könnte man vermuten, deren Preisentwicklung sei für den Schweizer Strompreis von untergeordneter Bedeutung. Allerdings wird sich die Schweiz infolge ihres Eingebundenseins in den europäischen Strommarkt dem allgemeinen Trend zum Anstieg der Strompreise kaum verschliessen können. Zudem könnten, da die Schweiz den Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen hat, Gaskraftwerke zu-



mindest für eine geraume Zeit eine erhebliche Rolle spielen. Daher ist davon auszugehen, dass auch in der Schweiz die Strompreise in Zukunft real ansteigen werden.

#### Einfluss des Strompreises auf die Stromnachfrage bis 2050

Die zunehmende Elektrifizierung und der Druck zur Erhöhung der erneuerbaren Stromproduktion lassen einen Anstieg des Strompreises erwarten. Preissteigernd wirken auch der Bedarf für Netzinvestitionen oder die Internalisierung von externen Kosten infolge von CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften. Bei einer realen Steigerung um 10 % bis 2020, 30 % bis 2035 und 50 % bis 2050 und einer Elastizität von -0,6 ergibt sich ein Rückgang der Nachfrage um 6, 18 bzw. 30 %. Im konservativen Fall reagieren die Konsumenten nur mit einem Rückgang der Nachfrage um 3, 9 bzw. 15 %.

#### 2.2.1.2 Einkommen

Die Nachfrage eines Gutes wird neben dem Preis vor allem durch das Einkommen beeinflusst. Steigt das Einkommen eines Haushalts, wird bei gleichbleibendem Preis in der Regel mehr vom jeweiligen Gut konsumiert. Analog zur Preiselastizität spricht man hier von der Einkommenselastizität. Dies gibt das Verhältnis der relativen Änderungen von Einkommen und Nachfrage wieder. Die Einkommens-

elastizität ist in aller Regel positiv: Ändert sich beispielsweise infolge einer 10-prozentigen Einkommenssteigerung die Nachfrage um 2 %, beträgt die Einkommenselastizität 0,2. Empirische Untersuchungen der Stromnachfrage auf Haushaltsebene weisen für die Schweiz eine langfristige Einkommenselastizität von 0,06 bis 0,33 auf.

Im Länderquerschnitt lässt sich jedoch feststellen, dass ein höheres gesamtwirtschaftliches Einkommen längerfristig nicht zu einem höheren Energieverbrauch führen muss. Steigt mit dem Wachstum der Wirtschaft die Nachfrage nach Energie, wird es nicht nur für die privaten Haushalte, sondern insbesondere auch für die Industrie interessant, stärker auf weniger energieintensive Prozesse umzustellen, wodurch nicht notwendigerweise der absolute, aber zumindest der spezifische Energieverbrauch sinkt. Kapital und Energie sind im Wirtschaftsprozess kurzfristig Komplemente, d. h., mit zusätzlich eingesetztem Kapital steigt auch die zur Produktion notwendige Energie. Langfristig sind Kapital und Energie jedoch eher Substitute, d. h., energieintensive Produktionen können durch weniger energieintensive, dafür stärker kapitalintensive Produktionen abgelöst werden. Beispiele dafür sind der Passivhausstandard oder Autos mit geringerem Treibstoffverbrauch.

Dabei ist freilich zu unterscheiden zwischen dem Einkommen pro Kopf (bzw. pro Haushalt) und

der Veränderung des Einkommens als Folge der Bevölkerungsentwicklung. Die geschätzten Werte der Einkommenselastizitäten beziehen sich auf das Einkommen pro Kopf. Wächst hingegen die Bevölkerung, kann der Stromverbrauch erheblich stärker steigen als das Einkommen. Die zukünftige Entwicklung des Stromverbrauchs hängt damit auch entscheidend von der Bevölkerungsentwicklung ab (vgl. Abschnitt 2.2.5).

#### **Einfluss des Einkommens auf die Stromnachfrage bis 2050**

Die Einkommen sind in der Schweiz in den vergangenen Jahrzehnten real um knapp 1 % pro Kopf und Jahr gestiegen. In den Jahren 2020, 2035 und 2050 liegen bei Fortsetzung dieses Trends die Einkommen 10, 28 bzw. 49 % über den heutigen. Nimmt man eine Einkommenselastizität von 0,1 bis 0,2 an, würde die Stromnachfrage allein durch die Veränderung des Pro-Kopf-Einkommens gegenüber heute um 1 bis 2, 2,8 bis 5,6 bzw. 4,9 bis 9,8 % steigen.

#### **2.2.1.3 Strommarktliberalisierung**

In den vergangenen Jahrzehnten wurden die Strommärkte in Europa zwar nicht vollständig, aber doch in erheblichem Ausmass liberalisiert: Öffentliche Energieunternehmen wurden (teil-)privatisiert, und der Staat zog sich in vielen Bereichen auf die Rolle einer Regulators zurück (vgl. Kapitel 4). Von der Liberalisierung versprach man sich mehr Wettbewerb und damit niedrigere Strompreise und nahm als Konsequenz daraus eine höhere Nachfrage nach Strom in Kauf. Der Rückgang der Strompreise bzw. die dadurch ausgelöste Steigerung der Nachfrage bedeutet jedoch nur einen einmaligen Niveaueffekt; die langfristige Wachstumsrate des Stromverbrauchs wird dadurch nicht beeinflusst.

Tatsächlich erfolgte bzw. erfolgt die Strommarktliberalisierung jedoch zusammen mit anderen Entwicklungen, welche die Preise eher erhöhen. Zu diesen Entwicklungen gehört das knapper gewordene Angebot auf dem europäischen Markt, die Einführung einer neuen Tarifstruktur in der Schweiz oder die Einpreisung der CO<sub>2</sub>-Emissionsrechte in

der EU. Aus diesen Gründen brachte die Liberalisierung den Verbrauchern nicht die erhoffte Preissenkung.

#### **2.2.2 Technische Faktoren**

Die technische Entwicklung beeinflusst die Stromnachfrage in gegenläufiger Weise:

- 1. Verminderung des Strombedarfs:** Elektrische Geräte und Antriebe werden effizienter, d.h. eine Stromdienstleistung kann mit geringerem Stromeinsatz bezogen werden. Ein Bedarfsrückgang ergibt sich auch durch eine effizientere Verwendung von Materialien, deren Herstellung viel Strom benötigt.
- 2. Steigerung des Strombedarfs:** In vielen Bereichen der Gesellschaft führen neue Technologien zu neuen Anwendungen und Geräten sowie zu einer stärkeren Automation und Mechanisierung. Dazu kommen Substitutionen bei Prozessen und Antrieben, z.B. durch Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge.

Diese technischen Einflüsse werden indirekt in aller Regel durch ökonomische Faktoren gesteuert, sei es, dass sie insgesamt kostengünstiger sind, sei es, dass höhere Einkommen ein Umsteigen auf teurere und stromintensivere Anwendungen erlauben, sei es, dass durch die Preissenkung von elektrischen Geräten die Bedeutung des Strompreises für den Verbraucher in einem bestimmten Bereich zurückgeht.

#### **2.2.2.1 Strom- und Materialeffizienz**

Die technischen Möglichkeiten, Strom effizienter zu nutzen, sind in den einzelnen Anwendungsbereichen – private Haushalte, Handel und Gewerbe, Dienstleistungssektor, Industrie, Verkehr und Umwandlungssektor – sehr unterschiedlich:

- Elektrische Wandlerysteme wie Pumpen, Lüftungen, Druckluftkompressoren, Kältemaschinen, Klimaanlage haben erhebliche Effizienzpotenziale zwischen 10 und 40 %, je nach Leistung und Zustand der Anlagen.

- Ähnlich grosse Effizienzpotenziale haben die Beleuchtung und manche Fertigungsprozesse in der verarbeitenden Industrie.
- Durch eine verbesserte Wärmedämmung kann der Wärmebedarf um bis zu 80 % gesenkt werden.
- Elektrogeräte in privaten Haushalten und IT-Geräte haben erhebliche Effizienzpotenziale zwischen 30 und 80 %.
- Die Bremsstrom-Rückspeisung ist nicht nur eine Option im Verkehr bei elektrischen Antrieben, sondern zunehmend auch in bewegten Anlagen und Maschinen in Gebäuden (Aufzüge, bedarfsgesteuerte Rolltreppen), in Hochregallagern und in der Fertigungstechnik bei Maschinen und Robotersystemen mit wechselnden Geschwindigkeiten. Ihre bedarfsmindernde Wirkung ist anwendungsabhängig, liegt aber häufig zwischen 20 und 40 % des derzeitigen Strombedarfs.

Diese Potenziale entsprechen dem Stand der heutigen Technik. Hinzu kommen die Potenziale neuer Technologien, die bis 2050 weit verbreitet sein dürften. Beispiele solcher Technologien sind: die Beleuchtung durch LEDs; erheblich verbesserte Ventilatoren, deren Wirkungsgrad heute bei lediglich 10 bis 15 % liegt; verbesserte Mahlprozesse, deren Wirkungsgrad heute bei wenigen Prozentpunkten liegt; Vorerwärmung von Rohmaterialien für Elektroöfen durch Abwärmenutzung.

Hinzu kommen (Teil-)Substitutionen stromintensiver Grundstoffe. Beispiele hier sind: Zementklinker durch Flugasche; PVC durch nicht-chlorhaltige Copolymere mit vergleichbaren Eigenschaften (auch auf biogener Basis); Baukonstruktionen aus Holz anstelle von Elektrostahl. Schliesslich wird man stromintensive Produkte durch verbesserte Eigenschaften und Konstruktionen leichter machen, den Ausschuss bei der Produktion vermindern sowie die Recyclingquote der neuen Werkstoffe weiter erhöhen.

Über alle Sektoren und Anwendungen und unter Einbezug der Re-Investitionszyklen beträgt das Stromeffizienzpotenzial etwa 1,0 bis 1,5 % pro Jahr über viele Dekaden dieses Jahrhunderts. Voraussetzung ist allerdings, dass die bestehenden gesellschaftlichen und psychologischen Hemmnisse beseitigt werden (vgl. Abschnitte 2.2.3 und 2.2.4). Berücksichtigt man zusätzlich, dass sich aus dem effizienten Einsatz von stromintensiven Materialien ein Potenzial von etwa 1 % pro Jahr ergibt, liegt das Stromeffizienzpotenzial in der Industrie gar bei 1,2 bis 1,7 % pro Jahr.

#### **Einfluss der technischen Effizienzpotenziale auf die Stromnachfrage bis 2050**

Werden die beschriebenen Effizienzpotenziale ausgeschöpft, beträgt die Stromnachfrage – bezogen auf die heute erbrachten Stromdienstleistungen – in den Jahren 2020, 2035 und 2050 rein rechnerisch mindestens noch 85, 67 bzw. 53 % und höchstens noch 90, 76 bzw. 65 % des heutigen Niveaus.

#### **2.2.2.2 Stromintensivierung und Substitution**

Strom spielt als vielseitig einsetzbare Energie sowie in der Informationsübertragung eine herausragende Rolle für die Industriegesellschaften. Deshalb wird es auch in Zukunft zu weiteren Stromanwendungen kommen. Dafür sind verschiedene Entwicklungen und Einflussfaktoren verantwortlich:

- In der Industrie, in der Lagerhaltung, im Handel sowie bei öffentlichen und privaten Dienstleistungen kann mit einer weiteren Mechanisierung und Automation gerechnet werden. Dazu kommen höhere Qualitätsansprüche, die eine Produktion in Reinnräumen erforderlich machen (z.B. in der Getriebeherstellung) sowie die Alterung der Gesellschaft und höhere Anforderungen an die Bequemlichkeit (z.B. mehr Aufzüge, Rolltreppen sowie eine vermehrte Klimatisierung von Gebäuden).
- In vielen Fällen führt eine effizientere Energienutzung im Wärmebereich zu einem etwas hö-

heren Verbrauch an Strom. Dieser wird für den Betrieb der Steuerungsanlagen, Ventilatoren oder Pumpen (z.B. beim Wärmetausch, bei der Abwärmenutzung und bei der solarthermischen Nutzung) benötigt oder zur Restfeuchtetrocknung von Textilien und Nahrungsmitteln.

- Auch Prozesssubstitutionen führen zu einem höheren Stromverbrauch: Wärmepumpen statt fossil gefeuerte Heizkessel, Trockenfertigung anstelle von Nassfertigung (und damit eine Verdoppelung des Druckluftbedarfs), Membrantechniken statt thermische Trennprozesse. Schliesslich wird es im Sektor Mobilität zumindest zu einer teilweisen Substitution des Verbrennungsmotors durch den Elektromotor kommen (vgl. Abschnitt 2.2.2.3).

Insgesamt kann man davon ausgehen, dass diese technischen Einflüsse zu einem erhöhten Strombedarf von etwa 0,4 bis 0,6% pro Jahr führen und somit einen Teil der Effizienzgewinne wieder aufheben. Dazu kommt, dass Stromanwendungen eher eingeführt werden als Massnahmen, die zu einer Verbesserung der Strom- und Materialeffizienz führen.

#### **Einfluss der intensiveren Nutzung und Substitution auf die Stromnachfrage bis 2050**

Durch neue oder anders erbrachte Stromdienstleistungen steigt die Stromnachfrage bis 2020, 2035 bzw. 2050 gegenüber heute rein rechnerisch um mindestens 4, 10 bzw. 17 % und höchstens um 6, 16 bzw. 27 %.

#### **2.2.2.3 Elektromobilität**

Verschiedene Studien haben versucht, die Entwicklung des Elektroantriebs im motorisierten Individualverkehr (MIV) zu prognostizieren. Die Bandbreite der vorausgesagten Entwicklung ist sehr gross. Wie schnell und in welchem Ausmass sich der Elektroantrieb beim MIV durchsetzen wird, hängt vor allem davon ab, ob Elektrofahrzeuge dem Vergleich mit herkömmlichen Fahrzeugen standhalten können. Zwei Aspekte sind dabei entscheidend:

- **Batterietechnologie:** Die Energiedichte heutiger Batteriesysteme liegt bei 0,1 kWh/kg, diejenige von Dieselöl bei 11,9 kWh/kg. Die Investitionskosten in Grossserie gefertigter Batteriesysteme liegen bei 1000 Fr. pro kWh Speicherkapazität. Batterien in aktuellen Fahrzeugen haben zwischen 15 und 25 kWh Speicherkapazität. Die Lebensdauer beträgt etwa 1000 Ladezyklen. Eine Reduktion auf 500 Fr. pro kWh ist absehbar; ob weitere Kostenreduktionen möglich sind, ist offen.
- **CO<sub>2</sub>-Ausstoss:** Der «well to wheel»-CO<sub>2</sub>-Ausstoss von Elektrofahrzeugen variiert je nach Stromerzeugung zwischen nahezu 0 und über 250 g/km (wenn der Strom aus konventionellen Kohlekraftwerken stammt). Nur wenn Strom aus CO<sub>2</sub>-armer Produktion getankt wird, findet eine spürbare Entlastung des Klimas statt.

Um eine obere Grenze für die zusätzliche Stromnachfrage durch Elektromobilität zu erhalten, kann man abschätzen, wie gross der Bedarf an elektrischer Energie wäre, wenn der MIV in der Schweiz vollständig elektrisch angetrieben würde. Der dafür benötigte Strombedarf lässt sich einigermaßen genau berechnen:

- **Anzahl Fahrzeuge:** Im Jahr 2010 waren in der Schweiz rund 4 Millionen Automobile immatrikuliert, was einer Fahrzeugdichte von etwa 550 Fahrzeugen auf 1000 Einwohner entspricht. In den kommenden Jahrzehnten wird diese Zahl nur noch gering auf rund 600 Autos pro 1000 Einwohner ansteigen. Zudem wird bei anhaltender Zuwanderung die absolute Zahl der Fahrzeuge nochmals spürbar zunehmen, so dass der Autobestand 5 Millionen Fahrzeuge erreichen dürfte.
- **Fahrleistung:** Die durchschnittliche Fahrleistung eines Automobils liegt heute bei etwa 15 000 km pro Jahr. In Zukunft wird sich dieser Wert vermutlich eher reduzieren, auch wenn keine substantiellen Veränderungen zu erwarten sind.

- **Energieverbrauch:** Der durchschnittliche «battery to wheel»-Energieverbrauch der Fahrzeuge wird auf 15 kWh elektrische Energie pro 100 km Fahrdistanz geschätzt. Dies berücksichtigt einerseits die erwarteten Fortschritte im Elektroantrieb bzw. im Leichtbau, andererseits die unter realen Fahrbedingungen zu erwartenden Verschlechterungseffekte (Abweichungen des realen Fahrverhaltens vom Testzyklus, Verluste im Winterbetrieb etc.).

Mit diesen Annahmen ergibt sich bei einer vollständig auf Elektroantrieb umgestellten Fahrzeugflotte ein zusätzlicher Strombedarf von 11,25 TWh pro Jahr. Berücksichtigt man etwa 5 bis 10 % Verteilungs- und Batterieladungsverluste, ergibt sich ein Wert von rund 12 TWh pro Jahr. Das entspricht 20 % des heutigen Jahresverbrauchs. Diesem Mehrbedarf an Strom steht jedoch eine Einsparung an Benzin und Dieselöl im Umfang von 22 TWh pro Jahr gegenüber, wenn die Elektrofahrzeuge eine Flotte von 3-Liter-Autos ersetzen würden. Die Effizienz des Individualverkehrs würde sich also ungefähr mindestens verdoppeln.

Gemäss einem Szenario, bei dem 2030 die Hälfte aller Neufahrzeuge elektrisch betrieben ist, ergibt sich für die Jahre 2020, 2035 bzw. 2050 ein Anteil von Elektrofahrzeugen an der Gesamtflotte von 2, 40 bzw. 100 % (Zah et al. 2010). Das entspricht einem zusätzlichen Strombedarf von jeweils etwa 0,2, 4,5 bzw. den bereits genannten 12 TWh.

Der Stromverbrauch des öffentlichen Verkehrs (Bahnen, Trolleybusse, Trams) betrug 2009 4,7 TWh. Nimmt man die in den letzten zehn Jahren beobachtete mittlere Zuwachsrate von 1,5 % pro Jahr als Prognosebasis, so erwartet man in den Jahren 2020, 2035 bzw. 2050 einen Verbrauch von 5,5, 6,9 bzw. 8,7 TWh.

Beim Strassengüterfernverkehr werden auch in absehbarer Zukunft Dieselmotoren dominieren. Im Nahverteilungsverkehr ist hingegen eine partielle Elektrifizierung denkbar. Der dafür benötigte Energiebedarf lässt sich nicht einfach abschätzen, er wird aber um eine Grössenordnung kleiner sein als der oben abgeschätzte maximale Bedarf des MIV.

### **Einfluss der Elektromobilität auf die Stromnachfrage bis 2050**

Die Entwicklung der Elektromobilität bis 2050 ist weitgehend offen. In einem Szenario, bei dem der motorisierte Individualverkehr bis 2050 vollständig auf Elektrofahrzeuge umstellt, erhöht sich unter Einschluss des Zuwachses im öffentlichen Verkehr die Stromnachfrage in den Jahren 2020, 2035 bzw. 2050 gegenüber der heutigen Stromnachfrage um etwa 1, 7 bzw. 16 TWh.

#### **2.2.2.4 Elektroheizungen**

In der Schweiz verbrauchen die 230 000 fest installierten Elektrospeicherheizungen in Haushalten rund 3 TWh Strom pro Jahr, hauptsächlich im Winterhalbjahr (BFE 2009a). Hinzu kommen mobile Heizgeräte sowie Elektroheizungen in den anderen Sektoren, deren Jahresverbrauch auf 2,5 TWh geschätzt wird. In einer Gesamtenergiebilanz schneiden Elektroheizungen schlecht ab. Holz- oder Gasheizungen wandeln die Primärenergie mit einem 2 bis 2,5 Mal so hohen Wirkungsgrad in Wärme um, Wärmepumpen benötigen 3 bis 4 Mal weniger Strom zur Bereitstellung einer Wärmeeinheit.

2011 wurde von den eidgenössischen Räten eine Motion (11.3424) überwiesen, die einen Ersatz der bestehenden Elektroheizungen durch andere Heizsysteme bis spätestens 2025 verlangt.

### **Wirkung des Ersatzes von Elektroheizungen auf die Stromnachfrage bis 2050**

Würden bis 2025 die fest installierten Elektroheizungen in Haushalten je hälftig durch Wärmepumpen und andere Heizsysteme ersetzt, ginge die Stromnachfrage für die erste ersetzte Hälfte von 1,5 auf 0,5 TWh, für die zweite von 1,5 auf 0 TWh zurück. Es kann daher mit einem Rückgang der Stromnachfrage von 1,5 TWh in 2020 und von 2,5 TWh in 2035 bzw. 2050 gerechnet werden.

#### **2.2.3 Psychologische Faktoren**

Individuen entscheiden nicht immer im klassisch ökonomischen Sinne rational und konsistent. Die persönliche Einstellung, mögliche Handlungsalternativen, das Umfeld sowie das Verhalten relevan-

ter Akteure der Vergleichsgruppe beeinflussen die Entscheidungsfindung ebenso. Aus diesem Grund können zwei Haushalte, die in Bezug auf ihre Grösse, ihre Altersstruktur, ihr Einkommen und ihren Standort durchaus vergleichbar sind, einen sehr unterschiedlichen Stromverbrauch aufweisen. So ist es von der Einstellung zum Stromverbrauch abhängig, ob Elektrogeräte permanent im Standby-Modus laufen oder ob ungenutzte Geräte konsequent komplett abgeschaltet werden. Ebenso sind Einstellungen ausschlaggebend dafür, ob gezielt energieeffiziente Elektrogeräte gekauft werden oder nicht.

### 2.2.3.1 Umweltbewusstsein

Man würde intuitiv vermuten, dass Personen oder Haushalte umso weniger Strom nachfragen, je höher ihr Umweltbewusstsein ist. Das Umweltbewusstsein ist aber nur eines unter mehreren Kriterien bei individuellen Entscheidungen. Zudem richtet es sich auf ganz unterschiedliche Bereiche wie CO<sub>2</sub>-Emissionen, Ressourcenverbrauch, Müllentsorgung, Landschaft etc. Und schliesslich zeigen Untersuchungen, dass das Umweltbewusstsein in den verschiedenen Milieus und Lebensstiltypen unterschiedlich ausgeprägt ist. Das Umweltbewusstsein als Antriebskraft zur Reduktion des Stromverbrauchs wird deswegen oft überschätzt.

### 2.2.3.2 Individuelle Einflussmöglichkeiten

Individuen werden umso eher bereit sein, ihre Stromnachfrage zu reduzieren, je mehr sie das Gefühl haben, dass ihre eigene Verhaltensänderung tatsächlich zu einer Verringerung der gesamten Stromnachfrage (und damit z. B. zum Klimaschutz) beitragen kann. Die Bereitschaft, weniger Strom zu verbrauchen, wird zum einen dann blockiert, wenn Individuen den Eindruck gewinnen, sie erbrächten Opfer, von denen viele andere – ohne ihrerseits etwas beizutragen – profitieren (Trittbrettfahrerproblematik). Zum anderen kann der Sinn einer individuellen Verringerung in Frage gestellt werden, da der eigene Stromverbrauch schweizweit kaum ins Gewicht fällt (Ohnmachtsgefühl). Individuen handeln, wenn sie sich voll verantwortlich für ihren Stromverbrauch fühlen, über Handlungsmöglich-

keiten verfügen, mit denen sie ihrer Verantwortung nachkommen können sowie ein unterstützendes normatives Umfeld wahrnehmen oder in ein solches eingebunden sind.

Zu den Bereichen, in denen tatsächlich individuelle Handlungsoptionen bestehen, gehören die Vermeidung von Stand-by-Verlusten, die Anschaffung von Energiesparlampen, die Vermeidung von Tagesspitzen beim Waschen, die sparsame Verwendung von Trocknern etc. Viele Mieter, insbesondere in der Deutschschweiz, haben dagegen z. B. wenig Einfluss auf die Anschaffung ihres Kühlschranks oder ihrer Waschmaschine.

### 2.2.3.3 Informationsstand

Je besser die Akteure ihre eigenen Stromverbrauchsparameter kennen, je mehr sie über die relevanten Zusammenhänge und die Möglichkeiten einer effizienten Stromnutzung wissen, desto besser sind die Chancen für eine tiefere Stromnachfrage. Wichtig ist eine möglichst unmittelbare, einfach zugängliche und verständliche Information zum individuellen Stromverbrauch, zu (aktuellen) Preisen und zu weiteren Informationen, wie beispielsweise über einen aktuellen Referenz- oder Normverbrauch.

In der Regel genügt es nicht, Informationsmaterial in schriftlicher oder elektronischer Form zur Verfügung zu stellen. Die Information muss bei den Akteuren auch tatsächlich ankommen, d. h. beachtet und verarbeitet werden. Das erfordert ein differenziertes und auf einzelne Gruppen abgestimmtes Vorgehen. Eine allgemeine Informationskampagne zum Thema Stromsparen kann zwar das Wissen der Akteure verbessern, verändert aber nicht zwingend ihr Verhalten.

Viele Individuen suchen nicht aktiv nach Informationen, wie sie den Stromverbrauch reduzieren können. Ob sie auf entsprechende Informationen angemessen reagieren, hängt stark von ihrem Bildungsniveau und anderen persönlichen Faktoren ab. Dem Bildungsbereich kommt demnach eine wichtige Rolle zu: Je früher und intensiver man mit Informationen über energierelevante Fragestellungen vertraut gemacht wurde, desto eher nimmt man

neue relevante Informationen auf und desto grösser sollte auch deren Wirksamkeit sein.

#### 2.2.3.4 Rebound-Effekte

Eine effizienter erbrachte Energiedienstleistung führt zu einer Einsparung an Energiekosten. Weil der Bezug der Energiedienstleistung damit in der Regel günstiger wird, steigt die entsprechende Nachfrage. Zudem werden Mittel für den Konsum anderer Güter frei, deren Bereitstellung ihrerseits Energie bedingt. Die so induzierte höhere Nachfrage kompensiert teilweise die ursprüngliche Einsparung. Der sogenannte direkte Rebound-Effekt entsteht als Folge der in der Regel tieferen Energiekosten und zeigt sich in drei Varianten (de Haan 2009):

- **Die gleiche Stromdienstleistung wird intensiver genutzt:** Eine klassische Glühlampe wird durch eine Energiesparlampe mit höherer Leuchtleistung ersetzt, also z.B. eine 60-W-Glühlampe durch eine 15-W-Sparlampe, obwohl dies der Leuchtleistung einer 75-W-Glühlampe entspricht.
- **Die gleiche Stromdienstleistung wird umfangreicher genutzt:** Es werden zusätzliche Sparlampen installiert, z.B. für Aussen- und Gartenbeleuchtung.
- **Die gleiche Stromdienstleistung wird dauerhafter genutzt:** Man lässt die Sparlampen länger brennen.

Ein zusätzlicher indirekter Rebound-Effekt entsteht als Folge des grösseren verfügbaren Einkommens und zeigt sich etwa dann, wenn man sich, nachdem infolge des Kaufs eines Autos der Effizienzklasse A die Treibstoffkosten sinken, einen grösseren Fernseher, einen zusätzlichen Computer oder einen Tagesausflug gönnt.

Hinzu kommen weitere Faktoren, die den Energieverbrauch im Sinne eines Rebound-Effekts beeinflussen, auch wenn sie nicht das Resultat einer Energiekostensparnis sind:

- **Zeitgewinn:** Der individuelle Konsum ist oft zeit- statt kostenlimitiert. Dies betrifft namentlich die Mobilität und den Freizeitsektor. Eine erhöhte Energieeffizienz der Bahn wirkt sich kaum auf die Fahrpreise und damit auch nicht auf die Nachfrage aus. Eine erhöhte Zeiteffizienz, d.h. schnellere Züge, kann die Nachfrage aber sofort erhöhen.
- **Mentale Entlastung:** Eine erhöhte Energieeffizienz kann zu einer Entlastung des «mentalen Umweltbelastungskontos» führen. Dies kann zu zusätzlichem Konsum führen, z.B. indem Bewohner von energieeffizienten Häusern mit weniger schlechtem Gewissen weitere Energiedienstleistungen in Anspruch nehmen.

Reboundeffekte sind empirisch umfassend belegt (UK ERC 2007). Sie treten fast immer auf; zumeist ist ihr Ausmass jedoch eher gering (<10% der Einsparung). Zeitintensive Energiedienstleistungen mit niedrigem Reboundeffekt (<20%) erbringen Geschirrspüler, Staubsauger, Fernseher, Werkzeuge wie Bohrmaschinen und Nähmaschinen, Computer und Drucker. Beim Waschen von Kleidern wurde geschätzt, dass 80 bis 90% der Kosten Zeitkosten sind. Entsprechend wurde nach dem Wechsel zu effizienteren Waschmaschinen ein Rebound von 6% festgestellt. Nicht zeitintensive Energiedienstleistungen weisen Reboundeffekte von 10 bis 50% auf (Sorrell et al. 2009). Bei Raumheizungen wurden empirisch Reboundeffekte um 30% festgestellt. Mögliche Ursachen dafür sind erhöhte Raumtemperaturen und der Verzicht auf Temperaturabsenkung bei Ferienabwesenheit.

Da die Substitution fossiler Energieträger durch Strom in der Regel zu einer Effizienzsteigerung führt (z.B. Ersatz von Brennkesseln durch Wärmepumpen, Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs), ist demzufolge auch mit entsprechenden Reboundeffekten zu rechnen. Dafür gibt es regulatorische Treiber (geringere fiskalische Belastung von Elektrizität; Anreize für Wärmepumpen, mittelfristig für Elektrofahrzeuge) wie auch sozio-psychologische Treiber (Wahrnehmung der Elektri-

zität als «sauber» und «post-fossil»). Deshalb dürfte das Ausmass des Reboundeffekts im Strombereich vermutlich eher im oberen Bereich der Bandbreite der bisherigen empirischen Evidenz sein.

#### **Einfluss von Rebound-Effekten auf die Stromnachfrage bis 2050**

Veranschlagt man den Reboundeffekt auf eher optimistisch tiefe 10 %, wird ein Zehntel des in Abschnitt 2.2.2.1 genannten Nachfragerückgangs durch Mehrverbrauch kompensiert.

#### **2.2.3.5 Diskontierung**

Diskontierung umschreibt die Tatsache, dass zukünftigen Kosten und Nutzen geringere Werte beigemessen werden als gegenwärtigen. Den meisten Menschen ist ein Franken morgen weniger wert als ein Franken heute. Das Mass der Abwertung über die Zeit, die Diskontrate, hängt von den Präferenzen der Individuen ab. Bei einer Diskontrate von 5 % bzw. 10 % beträgt der Wert von 100 Franken in einem Jahr aus heutiger Sicht lediglich noch 95.24 bzw. 90.91 Franken.

Die Zusammenfassung unterschiedlich bewerteter gegenwärtiger und künftiger Kosten und Nutzen im sogenannten «Barwert» ist vor allem im Zusammenhang mit Investitionsentscheidungen von Bedeutung. Um entscheiden zu können, ob es sich lohnt, eine Investition in ein energieeffizientes Gerät zu tätigen, müssen die höheren Investitionskosten dem Barwert der geringeren Betriebskosten über den Zeitraum der Nutzungsdauer gegenübergestellt werden. Werden die künftigen Betriebskosten diskontiert, verschlechtert sich in der Bilanz ein energieeffizientes Gerät gegenüber einem in der Anschaffung billigeren «Stromfresser». Die tieferen Investitionskosten sind gegenüber den in der Zukunft erzielbaren Kosteneinsparungen dominant, da diese durch die Diskontierung «abgewertet» werden. Hohe Diskonraten sind somit ein Hemmnis für Investitionen in Stromeffizienz.

Die umfangreiche empirische Literatur zu individuellen Diskonraten hat folgende Ergebnisse erbracht (O'Donoghue und Rabin 2001, Frederick et al. 2002): Die Diskonraten liegen häufig über den

Marktzinssätzen. Sie sind nicht konstant, sondern sinken im Zeitverlauf, d.h. Ereignisse in der nahen Zukunft werden mit einer höheren Rate abgezinst als solche in der fernen Zukunft (man spricht in diesem Zusammenhang von «hyperbolischer Diskontierung»). In der Regel werden grosse Beträge mit einer geringeren Diskontrate abgezinst als kleine. Und die Diskonraten sinken mit höherem Haushaltseinkommen. Befunde zu den Diskonraten bei Energieeffizienzinvestitionen basieren teils auf Befragungen, teils auf realen Kaufentscheidungen (DEFRA 2010). Bei Kühlschrankschaffungen sind die impliziten Diskonraten am höchsten; eine Studie für die USA schätzte die Diskontrate auf 39 % (Revelt und Train 1998).

#### **2.2.4 Gesellschaftliche Faktoren**

Ob der Einzelne bereit ist, seinen Energieverbrauch zu reduzieren, hängt nicht nur von individuellen Präferenzen und Einstellungen ab, sondern auch von den gesellschaftlichen Rahmenbedingungen.

##### **2.2.4.1 Soziale Normen**

Ein bestimmtes Verhalten lässt sich nicht ausschliesslich auf persönliche Beweggründe zurückführen; es kann auch durch einen impliziten oder expliziten sozialen Druck hervorgerufen werden. Konsumenten orientieren sich stark an gesellschaftlichen Normen, insbesondere an den Normen der eigenen relevanten Bezugsgruppe. Relevante Bezugsgruppen sind Gruppen, denen man angehört, sich zurechnet oder angehören möchte; sie sind die eigentlichen «Normsender» für viele Verhaltensentscheide.

Ob Informationen zum Stromsparen auf fruchtbaren Boden fallen, hängt deshalb auch mit den sozialen und kulturellen Normen der Bezugsgruppen zusammen. Wenn Akteure meinen, es entspreche dem «common sense» oder gehöre zum «guten Ton», sparsam mit Energie umzugehen, begünstigt das Bestrebungen, die Stromnachfrage zu reduzieren. Damit solche soziale Normen wirken, braucht es gesellschaftlich anerkannte Vorbilder oder Bezugsgruppen, die sich aktiv für ein stromsparendes Verhalten einsetzen und dieses selbst vorleben.

Überzeugend wirken diese vor allem dann, wenn sie eine tiefe Stromnachfrage mit weiteren Motiven wie z.B. hohe Lebensqualität, Lebensfreude und Gesundheit verbinden («Weniger kann mehr sein»). Um solche Vorbilder und ihre konkreten Beiträge sowie «neue» Normen sichtbar zu machen, leisten neben den etablierten Medien in Zukunft wohl auch vermehrt soziale Netzwerke wie Facebook oder Twitter einen Beitrag. Im Rahmen einer freiheitlich-liberalen Ordnung kann die Verbreitung solcher Normen freilich nicht von aussen erzwungen werden; sie muss sich aus den gesellschaftlichen Prozessen heraus ergeben.

#### 2.2.4.2 Gesellschaftliche Tendenzen und Lernprozesse

Der Anteil der Haushalte, die mit mindestens einem Computer ausgestattet sind, hat sich zwischen 1990 und 2006 mehr als verfünffacht. Wenn die Menge schneller Internetanschlüsse international als Vergleichsmassstab für Innovation und Fortschrittlichkeit gilt oder die Verfügbarkeit von elektronischen Geräten zum Wissens- und Informationsaustausch für den Alltag eines jeden Individuums essentiell wird, dann erhöht dies die Stromnachfrage. Nicht-Beteiligung oder Nicht-Verfügbarkeit kann zum sozialen Ausschluss führen. Hohe Pro-Kopf-Einkommen sowie die gesellschaftliche Ausdifferenzierung begünstigen zudem die Mengenausdehnung. Dies zeigt sich z.B. bei Beschneigungs- und Flutlichtanlagen in Wintersportorten, Wellness-Oasen mit Outdoorpools, die auch im Winter geheizt werden, oder Dienstleistungen, die permanent verfügbar sind (Automaten aller Art oder Läden mit verlängerten Öffnungszeiten).

Daneben darf nicht vergessen werden, dass auch gewachsene Strukturen und Modelle eine konservierende Wirkung haben. Nicht nur Technologien, sondern auch gesellschaftliche Strukturen wie Besitzverhältnisse, Businessmodelle, Anbieterstrukturen schaffen Pfadabhängigkeiten. So tut sich die Schweiz bisher mit der Marktöffnung ausgesprochen schwer. Dies hängt unter anderem mit den Strukturen der hiesigen Elektrizitätswirtschaft zusammen: Die Businessmodelle der grossen Versor-

ger orientieren sich zum einen am internationalen Handel, zum andern an der verkauften Menge, was beispielsweise dazu führte, dass Elektroheizungen gefördert wurden. Strukturertend wirkt nun, dass die öffentliche Hand, in deren Besitz sich die Stromunternehmen mehrheitlich befinden, die Gewinne dieser Unternehmen für sich erhalten möchte, was letztlich – analog zur Landwirtschaft – zu einer engen Verflechtung zwischen der Stromwirtschaft und der Politik führt. Aus diesen Gründen sind strukturelle Innovationen in der Schweiz in den letzten 20 Jahren weitgehend ausgeblieben, auch wenn in den letzten Jahren Versorger in den grossen Agglomerationen (Genf, Zürich, Basel) oder regionale Initiativen wie die EnergieRegion Knonauer Amt neue Wege zu beschreiten versuchen.

Die politikwissenschaftliche Nachhaltigkeitsforschung konnte zeigen, dass gesellschaftliche Transformationen, insbesondere die Förderung von Innovationen, die sich an Nachhaltigkeit orientieren, nicht länger alleine durch staatliche Regulationen gesteuert werden sollten. Der Begriff Governance (im Gegensatz zu Government) steht für ein breites Feld von Steuerungsformen zwischen den beiden Polen staatliche Regulierung (top down) und vollständig autonome Prozesse (bottom up) (z.B. Grassroot-Bewegungen). Demzufolge können gesellschaftliche Lernprozesse zwar durch staatliche Rahmenbedingungen gefördert werden, diese werden aber allein kaum erfolgreich sein.

Eine vielfältig ausdifferenzierte Gesellschaft benötigt auf verschiedenen Ebenen Lernprozesse. Ein typisches Beispiel für erfolgreiche Lernprozesse sind etwa Labels im Lebensmittelbereich wie die Bio-Knospe oder der Marine Stewardship Council (MSC). Ähnliche Initiativen, die ganz unterschiedliche Akteure zu gemeinsamem Handeln zusammenführen, gibt es im Bereich der Zulieferkette, wo die Kontrolle und Transparenz der Vorlieferanten im Hinblick auf Energie- und Ressourcenbilanzen immer wichtiger werden. Damit individuelle Handlungsoptionen geschaffen werden können, müssen demzufolge kollektive Handlungen institutionalisiert werden, da erst diese die

Innovation ermöglichen. So ist der Kauf eines MSC-Fischs (individuelle Handlung) nur möglich, weil der MSC selbst geschaffen wurde (institutionalisierte kollektive Handlung). Im Hinblick auf das Elektrizitätssystem der Schweiz stellt sich daher die Frage, inwieweit derartige institutionalisierte Lernprozesse auf den Weg gebracht werden können, etwa indem neue Businessmodelle der Stromversorger neue individuelle Handlungsoptionen ermöglichen.

#### 2.2.4.3 Suffizienz

Suffizienz zielt auf die Veränderung von Konsummustern bzw. allgemeine Verhaltensänderungen ab. Suffizienz wird oft mit kritischem Unterton als Verzichtshandlung dargestellt. Dies muss aber keineswegs der Fall sein, wie schon die Deutsche Enquête-Kommission zur nachhaltigen Energieversorgung 2002 feststellte: «Das Ausschalten der Heizung in nicht benutzten Räumen bedeutet den Verzicht auf sofortige Verfügbarkeit von Wärme, mehr nicht. Die Wahl eines mit Bahn statt Auto oder Fernflug erreichbaren Urlaubsziels bedeutet keineswegs den Verzicht auf Urlaub.» Suffizienz ist die freiwillige, bewusste Wahl von Alternativen zur Realisierung einer hohen Lebensqualität. Dabei wird Lebensqualität generell stärker über qualitative Güter (z.B. soziale Netzwerke) als quantitativ über die Menge an materiellen Gütern verstanden. Die Nachfrage an Strom verringert sich durch bewusste Wahl von Alternativen.

Soziokulturelle Faktoren wie Werthaltungen oder Status, institutionelle Normen und Anreize sowie individuelle Handlungsoptionen können Lernprozesse in Richtung Suffizienz fördern. Auch hier gilt allerdings, dass derartige Prozesse nicht staatlich verordnet werden können. Zwar haben Politik, Zivilgesellschaft, Medien und auch die Stromversorgungsunternehmen gewisse Einflussmöglichkeiten, doch solche paternalistische Vorgehensweisen sind in einer freiheitlichen Gesellschaft grundsätzlich problematisch. Suffizienz zielt auf die freie Wahl des Individuums ab. Dementsprechend ist die potenzielle Nachfragereduktion durch Suffizienz schwierig einzuschätzen.

#### **Einfluss psychologischer und gesellschaftlicher Faktoren auf die Stromnachfrage bis 2050**

Die teilweise gegenläufigen Tendenzen der psychologischen und gesellschaftlichen Einflussfaktoren sind quantitativ kaum zu fassen. Wie sich die soziale Praxis und die gesellschaftlichen Werte wandeln werden, lässt sich nur schwer voraussagen. Ebenso schwierig einzuschätzen ist, welche institutionalisierten gesellschaftlichen Lernprozesse sich abspielen werden und ob sich tradierte Strukturen innerhalb der Strombranche wandeln werden. Unter der Annahme, dass sich Effizienz, Suffizienz sowie Strukturen und Technologien, die sich an Nachhaltigkeit orientieren, durchsetzen werden, kann der dadurch bedingte Rückgang der Stromnachfrage bis 2020, 2035 bzw. 2050 auf 10, 20 bzw. 30 % veranschlagt werden. Im ungünstigsten Fall finden bis 2050 keinerlei verbrauchsrelevanten Lernprozesse statt.

#### **2.2.5 Soziodemographische Faktoren**

Obwohl die heute in der Schweiz ansässige Bevölkerung schrumpft, steigt die Bevölkerung insgesamt aufgrund der erheblichen Zuwanderung. Gemäss neuen Schätzungen des Bundesamts für Statistik ist zu erwarten, dass die Wohnbevölkerung der Schweiz von heute 7,8 Millionen auf 8,4 Millionen in 2020 und 8,8 Millionen in 2035 wächst und sich ab 2050 bei etwa 9 Millionen stabilisieren wird (BFS 2010). Das Bevölkerungswachstum ist einer der Hauptgründe, warum die Stromnachfrage in den letzten Jahrzehnten angestiegen ist, und wird es vermutlich auch in den kommenden Jahrzehnten sein. Alleine durch das Bevölkerungswachstum ist mit einem Anstieg der Stromnachfrage bis 2050 gegenüber 2010 um 13 % zu rechnen.

Auch die Bevölkerungsstruktur ist von Bedeutung: Mit dem zunehmenden Anteil älterer, oft allein lebender Personen nimmt der Stromkonsum zu, weil damit die Anzahl der Elektrogeräte pro Kopf steigt. Der Anteil der über 64-jährigen wird 2050 voraussichtlich 28 % betragen gegenüber heute 17 %. Dieser Trend wird die bereits zu beobachtenden

de Zunahme der Anzahl Haushalte bei gleichzeitig abnehmender Mitgliederzahl pro Haushalt noch verstärken. Seit 1980 ist der Anteil der Haushalte mit maximal zwei Personen von 35 % auf 44 % gewachsen, die Wohnfläche pro Kopf der Bevölkerung hat allein zwischen 1980 und 2000 um 5 m<sup>2</sup> zugenommen. Daraus resultiert eine höhere Pro-Kopf-Versorgung mit elektrischen Geräten und in der Folge ein Anstieg der Stromnachfrage. Die Entwicklung der Haushaltsgrösse ist ungewiss, wird sich aber wohl etwas langsamer als bisher fortsetzen.

#### **Einfluss der soziodemographischen Entwicklungen auf die Stromnachfrage bis 2050**

Aufgrund des Bevölkerungswachstums und der veränderten Bevölkerungsstruktur ist mit einem Zuwachs der Stromnachfrage von 7,5 %, 14 % bzw. 17 % in 2020, 2035 bzw. 2050 zu rechnen.

#### **2.2.6 Umweltfaktoren**

Ein letzter Bestimmungsfaktor für die Schweizer Stromnachfrage ist die Witterung. Witterungsschwankungen werden sich künftig im Zuge des globalen Klimawandels vermutlich verstärken. Mittel- und langfristig ist damit zu rechnen, dass die Durchschnittstemperaturen ansteigen und extreme Wetterlagen häufiger auftreten werden. Im Winter werden bis 2050 die Niederschläge künftig um durchschnittlich 10 % zu-, im Sommer um 20 % abnehmen (OcCC und ProClim 2007). An derartige Veränderungen wird sich die Bevölkerung anpassen: Im Sommer werden mehr Klimaanlageanlagen und mehr elektrisch betriebene Bewässerungsanlagen eingesetzt, im Winter werden Beschneiungsanlagen intensiver genutzt. Stammt der Strom dabei aus fossilen Quellen, ergibt sich eine Rückkopplung: Der Klimawandel wird weiter verstärkt, wodurch wiederum die Stromnachfrage weiter ansteigt.

### **2.3 Ansätze zur Beeinflussung der Stromnachfrage**

Die oben skizzierte erwartete Entwicklung für die Zeitpunkte 2020, 2035 und 2050 geht jeweils von

einer Fortschreibung der heute beschlossenen Politik und Massnahmen aus. Eine Ausnahme bilden die ausgewiesenen technischen Effizienzpotenziale, die nur ausgeschöpft werden können, wenn verschiedene Arten von Hemmnissen ökonomischer, sozial- und individualpsychologischer Natur aktiv angegangen werden. Hierbei kommt dem Preis eine entscheidende Rolle zu: Je höher der Preis ist, desto stärker ist der Anreiz, Effizienzpotenziale auszuschöpfen. Im Folgenden werden einige Ansatzpunkte zur Überwindung dieser Hemmnisse vorgestellt.

#### **2.3.1 Erhöhung der Energiepreise**

In der Schweiz werden – bei grossen regionalen Unterschieden – im historischen und internationalen Vergleich vielerorts im Verhältnis zum Einkommen tiefe reale Strompreise bezahlt. Die Politik hat die Möglichkeit, den Strompreis und damit die Nachfrage durch Energiesteuern, Abgaben und Subventionen direkt zu beeinflussen. Steuern signalisieren eine dauerhafte Preissteigerung und führen somit zu entsprechenden Anpassungen seitens der wirtschaftlichen Akteure. Es kommt zu einem Nachfragerückgang.

Die Stromnachfrage kann auch durch die Besteuerung anderer Energieträger beeinflusst werden. Je teurer beispielsweise fossile Treibstoffe sind, desto attraktiver ist die Nutzung elektrisch betriebener Fahrzeuge. Da die Stromproduktion in der Schweiz beinahe CO<sub>2</sub>-frei ist, könnte die CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe eine stimulierende Wirkung auf die Stromnachfrage haben. So werden heute beispielsweise Ölheizungen vermehrt durch elektrische Wärmepumpen ersetzt. Um den Stromverbrauch zu mässigen, wäre daher eine Stromlenkungsabgabe ein geeignetes Instrument. Ob eine solche Abgabe in ausreichender Höhe politische Akzeptanz findet, ist allerdings fraglich.

Definierte ökologische Stromprodukte könnten sich positiv auf den Stromverbrauch auswirken. Da die Besteller dieser Produkte freiwillig bereit sind, einen höheren Preis zu bezahlen, schenken sie vermutlich auch dem Thema Stromeffizienz eher Beachtung.

### **Wirkung von Preisinstrumenten auf die Stromnachfrage**

Je stärker der Strompreis ansteigt, desto stärker geht die Nachfrage zurück. Gleichzeitig sinkt aber auch die gesellschaftliche Akzeptanz.

### **2.3.2 Abbau von finanziellen Restriktionen**

Die Umsetzung von Stromeffizienzmassnahmen wird oft durch hohe Rendite- bzw. kurze Payback-Vorgaben, knappe Investitionsbudgets oder Kreditrestriktionen erschwert. Massnahmen, welche den Zeitpunkt liquiditätswirksamer Investitionen hinauschieben, Kreditbeschränkungen abfedern oder eine Versicherung gegen Strompreiserhöhungen bieten, könnten dem entgegenwirken. Ein konkreter Ansatzpunkt in diese Richtung ist das sogenannte Contracting.

Unter Contracting wird das Auslagern der Energiebereitstellung durch den Endverbraucher an einen Dritten (Contractor) verstanden. Im Gegensatz zum klassischen Energieversorger liefert der Contractor nicht Endenergie wie Elektrizität, Erdgas oder Holz an den Endkunden, sondern stellt dem Endverbraucher standort- und objektgerecht Nutzenergie wie Wärme, Kälte, Druckluft oder Licht bereit. Contracting ist interessant, wenn hohe Anfangsinvestitionen die Realisierung einer energieeffizienten Anlage erschweren. Die lange Vertragsdauer sowie die Übertragung von Risiken vom Kunden auf den Contractor sind dabei wichtige Hemmnisse.

Contracting ist für den Kunden aus verschiedenen Gründen attraktiv: Er kann strategisch unwichtige Prozesse auslagern, er profitiert vom professionellen Know-how des Contractors, er kann seine Liquidität durch das Umlegen der Investitionskosten auf den Lieferpreis erhöhen und er kann – je nach Ausgestaltung des Vertrags – Risiken auf den Contractor übertragen. Gegenüber der Erstellung in Eigenregie kann der Kunde mit Kostenvorteilen rechnen, da die angewandte Technik dem neusten Stand entspricht, eine professionelle Planung und ein effizienter Betrieb gewährleistet ist und der Contractor in der Regel bessere Einkaufsbedingungen für die Betriebsenergie aushandeln kann.

Inwieweit Contracting zur Erhöhung der Energieeffizienz beiträgt, wird durch die konkrete Ausgestaltung des Vertrags bestimmt. Vorherrschend ist das Anlagen-Contracting, bei dem der Contractor eine von ihm erstellte Anlage betreibt. Das Energieliefer-Contracting schafft hier die stärksten Anreize für eine effiziente Anlage. Dabei werden bereits nach Abschluss der Planung die Lieferbedingungen und Preise festgelegt – nicht erst nach der Erstellung der Anlagen. Aufgrund der höheren Planungsanforderungen ist diese Form des Contractings allerdings nur für grössere Anlagen sinnvoll.

Rund die Hälfte der Contracting-Projekte wird heute für die Wärmeversorgung von Mehrfamilienhäusern realisiert. Der Anteil der Projekte aus dem Bereich Industrie und Gewerbe beträgt weniger als 10%. Gerade hier wäre das Contracting aber ein interessanter Beitrag zur Erhöhung der Stromeffizienz.

### **2.3.3 Bessere institutionelle Rahmenbedingungen**

Auch das sogenannte Investor-Nutzer-Dilemma ist ein Hemmnis für Investitionen in die Stromeffizienz. Bei Mietwohnungen tragen in der Regel die Investoren zwar die Kosten, die sich aus effizienzbedingten Investitionen ergeben, aber sie profitieren nicht von den Einsparungen; diese kommen den Mietern zugute. Zudem sind die Informationen über effiziente Stromanwendungen zwischen den Architekten oder Planern und den Bauherren häufig asymmetrisch verteilt. Oft kommen erstere zudem den Interessen der Bauherren an energieeffizienten Lösungen nicht nach.

Eine ähnlich gelagerte Problematik existiert in Unternehmen, bei denen die Verantwortlichkeiten für Investitions- und Betriebskosten der Liegenschaften nicht am gleichen Ort angesiedelt sind. Auch bei der Installation von Haustechnikkomponenten führen Risiko- und Aufwandsminimierung – oft zusammen mit Wissenslücken und fehlenden finanziellen Anreizen – zu einem zurückhaltenden Einsatz energieeffizienter Anwendungen, beispielsweise wenn zu gross dimensionierte Heizungspumpen oder Motoren installiert werden.

Da der Einsatz stromeffizienter Anwendungen hohe Informationskosten verursacht, sind kontinuierlich verschärfte energetische Mindestvorgaben bei der Marktzulassung elektrischer Geräte wirkungsvolle Instrumente, um die Stromeffizienz zu fördern. Das Investor-Nutzer-Dilemma kann mit Vereinbarungslösungen zwischen Mieter- und Hauseigentümerversänden für energieeffiziente Haushaltsgeräte entschärft werden. Betriebsorganisatorische Hemmnisse können durch eine Lebenszyklus-Betrachtung, freiwillige betriebliche energetische Mindestvorgaben oder Investitionskostenbeiträge der öffentlichen Hand abgebaut werden.

### **2.3.4 Effizientere Diffusion von Information und Know-how**

Die meisten Haushalte und ein grosser Teil der Wirtschaft – insbesondere kleinere und mittlere Betriebe – sind nicht angemessen über den eigenen Stromverbrauch und das mögliche Effizienzpotenzial informiert. Einfach verständliche Informationen über stromeffiziente Anlagen und Geräte sind oft nicht vorhanden (Bestgeräte-Referenz bei der Energieetikette), beispielsweise in den Bereichen Informations- und Kommunikationstechnologie sowie Unterhaltungselektronik.

Auch bei Installateuren, Architekten, Planern und bei technischen Verantwortlichen in Unternehmen bestehen oft grosse Aus- und Weiterbildungsdefizite. Damit fehlen – abgesehen von Standardanwendungen – ausreichende Kenntnisse über stromeffiziente Anlagen und Geräte sowie über deren direkten und indirekten Nutzen. Es braucht deshalb vermehrt kontinuierliche Aus- und Weiterbildungsangebote.

Um die Konsumenten über das Thema Energieeffizienz besser zu informieren und ihnen einen direkten Vergleich zwischen verschiedenen Produkten zu ermöglichen, werden heute Labels eingesetzt. Das wohl bekannteste Label ist die Energieetikette. Sie wird in den Bereichen Haushaltsgeräte, Beleuchtung und Personenwagen verwendet. Die Energieetikette verfügt über einen hohen Bekanntheitsgrad und hat als Kaufkriterium eine grosse Bedeutung. Für ein Gerät, dessen Label eine hohe Energieeffizienz

ausweist, sind die Konsumenten bereit, mehr zu bezahlen. Für Hersteller und Vertreiber ergibt sich daraus wiederum ein Anreiz, energieeffiziente Produkte anzubieten. Dieser Effekt ist sehr erwünscht, da Produzenten und Händler der Stromeffizienz teilweise zu wenig Beachtung schenken.

Die Motivation des Konsumenten, sich mit den zur Verfügung gestellten Informationen auseinanderzusetzen und die entsprechenden Massnahmen zu ergreifen, bildet die Grundvoraussetzung für die Wirksamkeit. Finanzielle Beweggründe sind hier ein wichtiger Antriebsfaktor. Entsprechend sind die langfristigen finanziellen Vorteile einer Investition in Energieeffizienz klar hervorzuheben. Hier besteht bei der Energieetikette noch Verbesserungspotenzial. Die jeweiligen Stromverbrauchsangaben finden wenig Beachtung, weil die Konsumenten, die weder den Strompreis noch die durchschnittliche Lebensdauer des Geräts kennen, diese Angaben kaum in Bezug zu den Betriebskosten setzen. Einfacher zu verarbeiten sind Angaben zu den ungefähren Stromkosten über die durchschnittliche Lebensdauer, wie dies z.B. auf der Webseite [www.topten.ch](http://www.topten.ch) gemacht wird. Daraus können die Konsumenten die langfristigen finanziellen Vorteile eines energieeffizienten Produkts direkt ableiten.

Da die Effizienzfortschritte bei verschiedenen Gerätetypen sehr unterschiedlich sind, sollte die Energieetikette zudem dynamisiert werden, was die Informationsbeschaffung über energieeffiziente Geräte stark vereinfachen würde. Das heisst: Die Kategorie A sollte periodisch immer die aktuellen besten Geräte bezeichnen. Dadurch könnte das Problem entschärft werden, dass bei Produkten, die sich technisch rasch weiterentwickeln und dementsprechend eine geringere effektive Lebensdauer aufweisen, dem Aspekt Effizienz häufig zuwenig Beachtung geschenkt wird.

Ein wesentlicher Punkt ist schliesslich, dass die Konsumenten einem Label vertrauen können. Wenn zahlreiche Anbieter eigene Labels einführen, führt dies zu Misstrauen und Verwirrung bei den Konsumenten. Labels sollten daher von unabhängigen Dritten (z.B. vom Staat) vergeben und / oder kontrolliert werden.

Eine weitere Möglichkeit, den Energiekonsum zeitlich zu optimieren und die Wirksamkeit allfälliger Nutzungsänderungen direkt zu beobachten, sind sogenannte Smart Meter (siehe auch Kapitel 4). Diese Stromzähler geben den Konsumenten eine zeitlich aufgelöste Rückmeldung zum Stromverbrauch in ihrem Haushalt. Smart Meter allein führen vermutlich nur zu einer Nachfragereduktion von wenigen Prozent (BFE 2009b). Sie könnten jedoch für die Stabilisierung des Stromnetzes von Bedeutung sein, weil sie eine intelligente Verbrauchsüberwachung und gegebenenfalls auch Verbrauchssteuerung ermöglichen. Zudem könnten sie als Feedback-Instrument bei kombinierten Strategien (s. nachfolgend) unterstützend bzw. verstärkend wirken. Allerdings ist zu bedenken, dass Menschen der Preisgabe von Informationen über ihr Energienachfrageverhalten kritisch gegenüberstehen könnten, was die Akzeptanz von Smart Metering einschränken würde.

**Wirkung von Instrumenten zur besseren Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen auf die Stromnachfrage**

Instrumente wie Contracting, Labels und energetische Mindestanforderungen tragen dazu bei, die bestehenden Effizienzpotenziale besser auszuschöpfen, indem sie spezifische Hemmnisse überwinden helfen. Je nach Ausgestaltung lassen sich mit diesen Instrumenten die Effizienzpotenziale sogar vollständig ausschöpfen.

**2.3.5 Kombinierte Strategien: Interventionen, Kampagnen, Entwicklung**

Mit welchen Strategien das Stromsparen bzw. die Energieeffizienz gefördert werden kann, wurde in den letzten zehn Jahren in verschiedenen Studien erforscht (z.B. Abrahamse et al. 2005, Abrahamse und Vlek 2009). Erfahrungen aus grossflächig angelegten und erfolgreichen Interventionen, die sich einfach generalisieren lassen, fehlen allerdings mehrheitlich noch. Unklar ist auch, welche langfristigen Effekte solche Interventionen haben.

Die untersuchten Interventionen lassen sich grob in antezedente Strategien (Gebote, Verbote, marktwirtschaftliche Instrumente, verschiedene Arten der Selbstverpflichtung, Vereinbarungen, Information und Modelllernen) und konsequente Strategien (Feedback, Belohnung/Strafe) unterteilen. Als effektiv hat sich vor allem eine Kombination von verschiedenen Strategien erwiesen. Bei Geboten, Verboten oder marktwirtschaftlichen Eingriffen verstreicht in der Regel sehr viel Zeit, bis sie in Kraft gesetzt sind und Wirkung entfalten. Weniger langwierig ist die Umsetzung von «Social Marketing»-Kampagnen. Zielgruppen solcher Kampagnen sind Individuen, Haushalte, KMUs im Dienstleistungs- oder Produktionssektor, usw. Die Kampagnen sprechen das Investitionsverhalten, die alltägliche Inanspruchnahme von Energiedienstleistungen sowie den technischen Unterhalt und die Grundsteuerung von Stromverbrauchern an.

Damit Interventionen erfolgreich sind, braucht es empirisch gesichertes Wissen über die vorrangigen Motive der unterschiedlichen Zielgruppen. Verhaltensänderungen können nur erreicht werden, wenn sie mit den vorherrschenden Motiven der Zielgruppe kompatibel sind. Es ist eine Illusion zu glauben, dass mit einer einzigen Kampagne Wahrnehmungen, Einstellungen, Normen und Verhaltensabsichten massiv verschoben werden können. Studien zeigen, dass die unmittelbar erzielbaren Einsparungen vom niedrigen einstelligen Prozentbereich bis maximal 20 % reichen (Abrahamse et al. 2005). Ziel ist die stetige Annäherung an einen Schwellwert, ab dem Normen und Erwartungen grossflächig und dauerhaft verschoben werden und sich neue Verhaltensmuster und Lebensstile etablieren.

Es ist entscheidend zu erkennen, dass energierelevanten Verhalten nicht nur die Folge von individuellen Konsumentenscheidungen ist. Ob Energiedienstleistungen in Anspruch genommen werden, hängt auch von kulturell tief verankerten Werten und Normen in Bezug auf Sicherheit, Sauberkeit, Annehmlichkeit und Komfort ab. Aus diesem Grund braucht es für das Erreichen einer kritischen Schwelle eine genügend lange, einigermaßen gleichgerichtete Massierung von sehr vielen einzelnen Informa-

tionselementen, Denkanstössen und Appellen über alle möglichen Medienkanäle und von unterschiedlichen Absendern.

#### **Wirkung kombinierter Strategien zum Anstossen gesellschaftlicher Lernprozesse auf die Stromnachfrage**

Über die Wirksamkeit kombinierter Strategien ist noch wenig bekannt. Zumindest ein Teil des erheblichen Potenzials zur Reduktion der Stromnachfrage durch gesellschaftliche Lernprozesse sollte sich aber gezielt ausschöpfen lassen.

### **2.4 Szenarien zur Entwicklung der Stromnachfrage**

Für die Schweiz wurden in den letzten Jahren verschiedene Szenarien zur Entwicklung der Stromnachfrage entwickelt. Diese Szenarien beruhen auf einer Einschätzung der Entwicklung der bislang beschriebenen Bestimmungsfaktoren für die nächsten Jahrzehnte.

Bei den hier berücksichtigten Szenarien lassen sich zwei Kategorien unterscheiden: massnahmen- und zielorientierte Szenarien. Bei ersteren wird geprüft, welche Veränderungen im Energiesektor mit einem vorgegebenen Satz von Politikinstrumenten erreicht werden, während letztere von quantitativen Zielen ausgehen und klären, welche Instrumente zur Zielerreichung nötig sind.

Da die Zielsetzungen dieser Szenarien verschieden sind, wurde bei ihnen die künftige Stromnachfrage auch unterschiedlich aufwendig modelliert. Die in den letzten Jahren erfolgte starke Zunahme der Kopplung der Klima- und Energiediskussion hat dazu geführt, dass die zielorientierten Szenarien an Bedeutung gewonnen haben. Das vom IPCC entworfene +2 °C-Szenario bildet unterdessen für zahlreiche Institutionen eine wichtige Grundlage, um die Energieszenarien und die Energieziele zukunftsorientiert zu betrachten.

#### **2.4.1 Bundesamt für Energie**

Die Energieperspektiven des Bundes (BFE 2007) basieren auf dem (inzwischen überholten) Demografieszenario «Trend» des Bundesamts für Sta-

tistik aus dem Jahr 2001, das eine leichte Zunahme der Bevölkerung bis 2025, danach eine leichte Abnahme voraussagte. Darauf aufbauend hatte das Staatssekretariat für Wirtschaft (Seco) mit einer Schätzung des Produktivitätswachstums BIP-Szenarien erarbeitet, wobei unterstellt wurde, dass sich die Entwicklung der Demografie und der Produktivität langfristig nicht beeinflussen. Das Seco rechnete im Trendszenario zwischen 2000 und 2030 mit einem jährlichen Wirtschaftswachstum von 1 %.

Für die Energieperspektiven des Bundes wurden vier Szenarien mit dem Zeithorizont 2035 berechnet. Szenario I und II sind massnahmenorientiert. Szenario I stellt die Referenz dar und untersucht die Wirkung bestehender und beschlossener Instrumente. Szenario II zeichnet sich durch eine «verstärkte Zusammenarbeit» zwischen Staat und Wirtschaft aus. Bei den beiden zielorientierten Szenarien III «Neue Prioritäten» und IV «Weg zur 2000-Watt-Gesellschaft» wird ein Rückgang des Pro-Kopf-Energieverbrauchs von 20 bzw. 35 % als Ziel gesetzt. Sie untersuchen die Möglichkeiten einer deutlichen CO<sub>2</sub>-Reduktion und einer wesentlichen Steigerung der Energieeffizienz durch konsequente Anwendung bester vorhandener Technologien. Voraussetzung für die Realisierbarkeit der Szenarien III und IV ist die internationale Harmonisierung der energiepolitischen Ziele und Instrumente. Zentrales Instrument ist die Verteuerung der nicht-erneuerbaren Energien und der Elektrizität mit einer Lenkungsabgabe ab 2011, die vollumfänglich an Wirtschaft und Haushalte rückverteilt wird.

Die Szenarien I bis III weisen alle einen deutlichen Zuwachs der Stromnachfrage aus. Obschon angenommen wird, dass neue Stromanwendungen eine höhere Effizienz aufweisen, steigt in Szenario I die Stromnachfrage bis 2035 um rund ein Viertel an. Die zusätzlichen Politikinstrumente in Szenario II vermögen den Zuwachs der Stromnachfrage leicht zu dämpfen. Auch in Szenario III steigt der Stromverbrauch bis 2020 noch deutlich an, sinkt danach aber leicht ab. 2035 liegt er aber immer noch über dem Verbrauch von 2000. Im Szenario IV geht die Elektrizitätsnachfrage schon ab 2012 zurück und liegt 2035 leicht unter dem Niveau des Jahres 2000.

Im Hinblick auf die Bundesratssitzung vom 25. Mai 2011, an welcher der Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen wurde, wurden die Energieperspektiven aktualisiert (BFE 2011b). Im Referenzszenario «Weiter wie bisher» wurden gegenüber dem Szenario I Anpassungen an der Bevölkerungs-, Wirtschafts- und Energiepreisentwicklung vorgenommen sowie neu eingeführte Energieeffizienzstandards und die Elektromobilität berücksichtigt. Die Stromnachfrage beträgt in diesem Szenario 72 TWh in 2035 bzw. 79 TWh in 2050. Im Szenario «Neue Energiepolitik», das sich an Szenario IV orientiert und die Einführung massiver Energielenkungsabgaben (oder gleichwertiger, nicht näher spezifizierter Massnahmen) unterstellt, würde sich die Stromnachfrage nach einem vorübergehenden Anstieg bis 2035 auf dem heutigen Niveau bei 59 TWh stabilisieren und bis 2050 leicht auf 56 TWh zurückgehen.

#### 2.4.2 Axpo und VSE

Der Stromkonzern Axpo hat aufgrund des zwischen 1970 und 2004 beobachteten Zusammenhangs, dass der Stromverbrauch um 1,8 % zunimmt, wenn das BIP real um 1 % wächst, zwei Nachfrageszenarien definiert (Axpo 2005). Auch der Verband der schweizerischen Elektrizitätsunternehmen (VSE) hat für die Nachfrageentwicklung zwei Szenarien erarbeitet (VSE 2006). Das tiefe Szenario des VSE prognostiziert einen Verbrauchsanstieg um 1 % pro Jahr bis 2010, danach um 0,5 % bis 2030, anschliessend Stagnation bis 2050. Das hohe Szenario der Axpo prognostiziert einen Verbrauchsanstieg um 2 % pro Jahr bis 2010, dann um 1,5 % bis 2030, danach um 1 % bis 2050. Die beiden anderen Szenarien liegen dazwischen. Die beiden Axpo-Szenarien gehen für das Jahr 2050 von einem Stromverbrauch zwischen 78 und 110 TWh aus, was einer Zunahme zwischen 30 und 83 % gegenüber der heutigen Nachfrage von ca. 60 TWh entspricht.

#### 2.4.3 Umweltorganisationen

Die Umweltorganisationen haben eine Zielperspektive mit Zeithorizont 2050 definiert, die sich an der Vision einer 2000-Watt-Gesellschaft orientiert (Sturm et al. 2006). Dabei wurde in erster

Linie die Frage beantwortet, welche Einsparung möglich wäre, wenn die heute im Markt verfügbare beste Technologie konsequent eingesetzt würde. Es handelt sich um ein statisches Modell mit konstantem Konsumniveau und Konsummuster. Einzig die Technologie zur Energienutzung und Energiebereitstellung variiert. Als Hauptinstrument wird eine Lenkungsabgabe im Bereich der Brenn- und Treibstoffe eingeführt. 2050 wird zwar das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft verfehlt, aber der Stromverbrauch könnte bis 2035 auf 45 TWh und bis 2050 auf 42 TWh gesenkt werden.

Eine Zusammenstellung der verschiedenen vorhandenen Szenarien wurde im Rahmen der Arbeit des Energie Dialog Schweiz (ETS 2009) vorgenommen (vgl. Abbildung 2.5).

### 2.5 Entwicklung der Stromnachfrage bis 2050

Die Nachfrage nach Elektrizität wird wie dargestellt durch zahlreiche ineinandergreifende wirtschaftliche, technische, psychologische und gesellschaftliche Faktoren beeinflusst, die ihrerseits mehr oder weniger gezielt politisch gesteuert werden können. Tabelle 2.1 stellt die in Abschnitt 2.2 gewonnenen Erkenntnisse über die zukünftige unbeeinflusste Entwicklung dieser Faktoren und ihre voraussichtliche Wirkung auf die Stromnachfrage in den Jahren 2020, 2035 und 2050 zusammen. Dabei wurden zusätzlich die folgenden Annahmen getroffen:

- **Technik – Effizienz:** Es wird davon ausgegangen, dass aufgrund der bestehenden Hemmnisse nur die Hälfte des vorhandenen Effizienzpotenzials ausgeschöpft wird.
- **Technik – Mehrverbrauch:** Es wird nur der untere Schätzwert aus Abschnitt 2.2.2.2 verwendet, da ein Teil des Mehrverbrauchs von den Elektrofahrzeugen stammt, die separat aufgeführt sind.
- **Elektromobilität:** Als untere Grenze wird ein Viertel des in Abschnitt 2.2.2.3 genannten Werts für Elektrofahrzeuge eingesetzt.

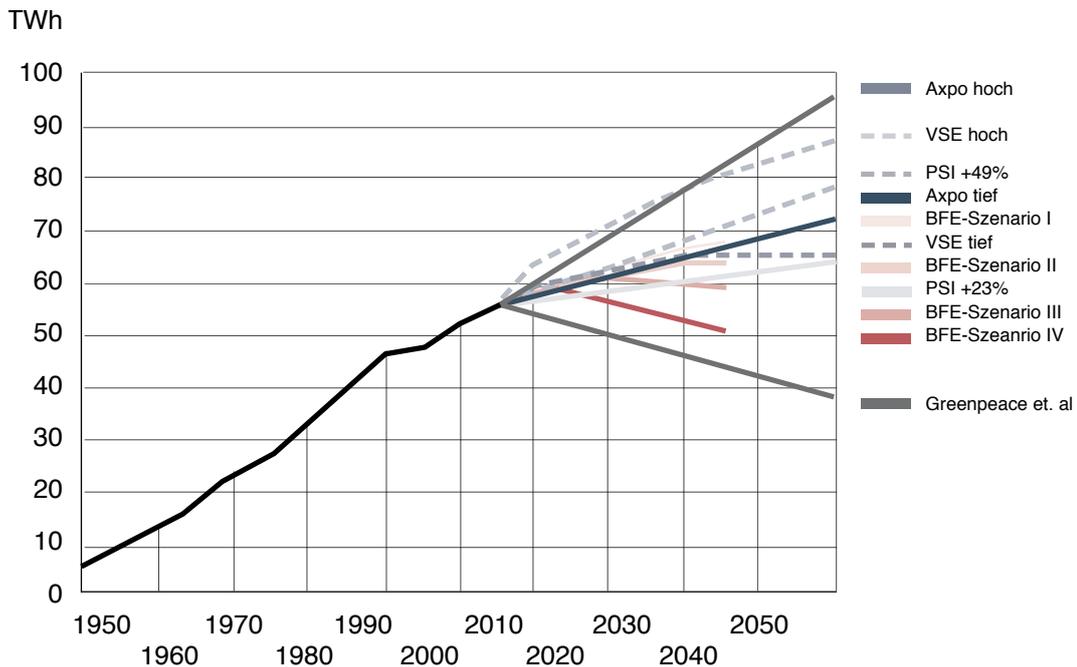


Abbildung 2.5: Entwicklung des Stromverbrauchs der Schweiz bis 2050 (Quelle: BFE 2007c, PSI 2007, Axpo 2005, VSE 2006, Greenpeace et. al. 2006; Darstellung: Energie Dialog Schweiz 2009)

Tabelle 2.2 gibt die prozentualen Veränderungen gegenüber dem Endverbrauch an Strom in 2010 wieder, wenn die in Abschnitt 2.3 beschriebenen Ansätze zur Beeinflussung der Stromnachfrage verfolgt werden. Dabei wurden Doppelzählungen vermieden. Preisinstrumente wirken nachfragemindernd, weil die Konsumenten bei Investitionen vorhandene Effizienzpotenziale besser ausschöpfen oder ihren Konsum anpassen. Technische, psychologische und gesellschaftliche Potenziale zur Nachfrageminderung können aber nur einmal ausgeschöpft werden. Daher ist in Tabelle 2.2 die Wirkung von Preisinstrumenten bei den Faktoren Technik – Effizienz und Psychologie / Gesellschaft eingerechnet. In beiden Fällen wird angenommen, dass dank aktiver Beeinflussung die in Abschnitt 2.2 genannten Potenziale voll ausgeschöpft werden können. Zudem könnte bei gezielter Förderung der Anteil von Elektrofahrzeugen in 2050 statt 25 % auch 50 % oder im Extremfall gar 100 % betragen. Nicht jede Kombination von Instrumenten ist sinnvoll bzw. wahrscheinlich. Bei einer maximalen Wirkung aller Instrumente (inkl. Förderung Elektro-

fahrzeuge) ergibt sich eine Reduktion der Nachfrage gegenüber 2010 von 12, 17 bzw. 12 % in 2020, 2035 und 2050. Wahrscheinlicher ist jedoch eine Kombination von Instrumenten, bei der nur die Hälfte des verbleibenden Effizienz- und Reduktionspotenzials bei Individuen und Gesellschaft ausgeschöpft wird und der Anteil von Elektrofahrzeugen in 2050 50 % beträgt (entspricht dem tieferen der in Tabelle 2.2 angegebenen Werte). Damit ergibt sich eine Reduktion der Nachfrage gegenüber 2010 von 5, 7 bzw. 3 % in 2020, 2035 und 2050.

Tabelle 2.3 übersetzt die prozentualen Veränderungen gegenüber dem Endverbrauch an Strom in 2010 in absolute Werte und vergleicht diese mit den in Abschnitt 2.4 beschriebenen Szenarien zur Entwicklung der Stromnachfrage. Die Szenarien werden gegliedert nach solchen, die eine Referenzentwicklung darstellen, und solchen, bei denen spezifische Instrumente ergriffen werden, um die Stromnachfrage zu reduzieren. In beiden Fällen sind die aufgeführten Werte nur bedingt miteinander vergleichbar, weil sie von teils unterschiedlichen Rahmenbedingungen bzw. von po-

litischen Instrumenten unterschiedlicher Art und Intensität ausgehen. Der Vergleich dient lediglich der Illustration und Plausibilisierung der eigenen Ergebnisse.

Die eigene beste Schätzung für die Referenzentwicklung liegt deutlich unter dem entsprechenden Szenario des Bundes. Grund dafür ist primär die Erwartung, dass die Strompreise auch in der Referenz deutlich steigen werden sowie dass ein gesellschaftlicher Wandel stattfinden wird. Die Szenarien des VSE sind mechanistisch, indem sie keine Annahmen zu Potenzialen und Rahmenbedingungen machen, sondern einfach vergangene Trends fortschreiben; die Übereinstimmung mit dem tiefen Szenario des VSE ist daher eher als Zufall zu werten.

Hingegen liegt die beste eigene Schätzung für ein Politikscenario nahe beim Szenario «Neue Energiepolitik» des Bundes. Dieses geht ebenfalls davon

aus, dass eine Stabilisierung bzw. leichte Reduktion der Nachfrage möglich ist. Allerdings ist der politische Reduktionsbedarf in dieser Beurteilung geringer als vom BFE veranschlagt. Dort müssen bzw. können bis 2050 24 TWh gegenüber der unbeeinflussten Entwicklung eingespart werden, wohingegen die vorliegende Studie mit möglichen Einsparungen von 10 TWh rechnet. Nur bei einem massiven Ausbau der Elektromobilität dürfte die Stromnachfrage bis 2050 gegenüber heute leicht wachsen. Allerdings würde sich dadurch die Gesamtenergienachfrage verringern, weil Elektrofahrzeuge mindestens doppelt so effizient sind wie fossil betriebene. Die Umweltorganisationen kommen zum Schluss, die Nachfrage könne alleine mit den besten Technologien des Jahres 2004 nochmals um 16 TWh reduziert werden. Dies soll hauptsächlich durch eine Lenkungsabgabe erreicht werden.

Tabelle 2.1: Prozentuale Änderung der Stromnachfrage gegenüber 2010 in den Jahren 2020, 2035 und 2050 aufgrund der erwarteten Referenzentwicklung verschiedener Einflussfaktoren (eigene Angaben).

Die untere und obere Grenze der Schätzungen in Tabelle 2.1 stellen die Extremwerte dessen dar, was als plausible Referenzentwicklung angenommen werden kann. Um den wahrscheinlichsten Pfad der zukünftigen Entwicklung der Stromnachfrage zu ermitteln, wurden folgende Annahmen getroffen: Die Preiselastizität beträgt -0,3 aufgrund der langen Reaktionszeit auf Preisänderungen; die Einkommenselastizität beträgt 0,15; das Effizienzpotenzial und das Reduktionspotenzial bei Individuen und Gesellschaft liegen in der Mitte der angegebenen Bandbreite. Geht man von diesen Annahmen aus, ergibt sich eine Zunahme der Stromnachfrage gegenüber 2010 von 3,7 bzw. 13 % in den Jahren 2020, 2035 und 2050.

<b>Einflussfaktor</b>	<b>2020</b>	<b>2035</b>	<b>2050</b>
Preis	-6,0 bis -3,0 %	-18 bis -9 %	-30 bis -15 %
Einkommen pro Kopf	+1,0 bis +2,0 %	+2,8 % bis +5,6 %	+4,9 bis +9,8 %
Technik – Effizienz	-7,5 bis -5 %	-16 bis -12 %	-23 bis -17 %
Technik – Mehrverbrauch	+4 %	+10 %	+17 %
Elektromobilität	+1,4 %	+5,5 %	+12 %
Rebound-Effekte	+0,8 bis +0,5 %	+1,6 bis +1,2 %	+2,3 bis +1,7 %
Psychologie / Gesellschaft	-5 bis 0 %	-10 bis 0 %	-15 bis 0 %
Bevölkerungsentwicklung	+7,5 %	+14 %	+17 %
<b>Total</b>	<b>-4 bis +7 %</b>	<b>-10 bis +15 %</b>	<b>-14 bis +26 %</b>

Tabelle 2.2: Prozentuale Änderung der Stromnachfrage gegenüber 2010 in den Jahren 2020, 2035 und 2050, wenn politische Instrumente zur Nachfragesenkung ergriffen werden (eigene Angaben).

<b>Einflussfaktor</b>	<b>2020</b>	<b>2035</b>	<b>2050</b>
<b>Mittlere Referenzentwicklung</b>	<b>+3%</b>	<b>+7%</b>	<b>+13%</b>
Technik – Effizienz	-7,5 bis -5 %	-16 bis -12 %	-23 bis -17 %
Elektromobilität	+0,1 bis +0,3 %	+1,9 bis +5,7 %	+5 bis +15 %
Rebound-Effekte	+0,8 bis +0,5 %	+1,6 bis +1,2 %	+2,3 bis +1,7 %
Psychologie / Gesellschaft	-5 %	-10 %	-15 %
Verbot Elektroheizungen	-2,5 %	-4,2 %	-4,2 %
<b>Total</b>	<b>-11 bis -9%</b>	<b>-20 bis -12%</b>	<b>-22 bis -6%</b>

Tabelle 2.3: Endverbrauch von Strom in den Jahren 2020, 2035 und 2050 in TWh (Vergleichswert 2010: 60 TWh).

	<b>2020</b>	<b>2035</b>	<b>2050</b>
<b>Referenzentwicklungen</b>			
Eigenes Szenario tief	58	54	52
Eigenes Szenario hoch	64	69	76
<b>Eigene beste Schätzung</b>	<b>62</b>	<b>64</b>	<b>68</b>
BFE-Szenario «Weiter wie bisher»	–	72	79
VSE	63 bis 70	67 bis 81	67 bis 87
<b>Beeinflusste Entwicklungen</b>			
Eigenes Szenario tief	55	50	50
Eigenes Szenario hoch	62	65	75
<b>Eigene beste Schätzung</b>	<b>57</b>	<b>56</b>	<b>58</b>
BFE-Szenario «Neue Energiepolitik»	–	59	56
Umweltorganisationen	–	45	42

## 2.6 Literatur

- Abrahamse, W., Steg, L., Vlek, C., Rothengatter, T. (2005). A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *Journal of Environmental Psychology*, 25, 273–291
- Abrahamse, W., Steg, L. (2009). How do socio-demographic factors relate to households' direct and indirect energy use and savings? *Journal of Economic Psychology* 30, 711–720
- Axpo (2005). Strom für heute und morgen; Studie Stromperspektiven 2020, Zürich.  
[www.proclim.ch/news?2438](http://www.proclim.ch/news?2438)
- Bamberg S. (2003). How does environmental concern influence specific environmentally related behaviours? A new answer to an old question. *Journal of Environmental Psychology* 23, 21–32  
[www.proclim.ch/news?2439](http://www.proclim.ch/news?2439)
- Beuret V. (2009). Die Klimaszenarien des Weltklimarates und der IEA. In: Die Volkswirtschaft 12/2009. Bern  
[www.proclim.ch/news?2440](http://www.proclim.ch/news?2440)
- BFE (2007). Energieperspektiven Band 1 – 5. Bern [www.proclim.ch/news?2415](http://www.proclim.ch/news?2415)
- BFE (2009a). Ersatz der Elektroheizungen durch Wärmepumpen-, Holz-, Solarheizungen. Faktenblatt, 11. Februar 2009, Bern [www.proclim.ch/news?2441](http://www.proclim.ch/news?2441)
- BFE (2009b): Smart Metering für die Schweiz – Potenziale, Erfolgsfaktoren und Massnahmen für die Steigerung der Energieeffizienz. Bern [www.proclim.ch/news?2442](http://www.proclim.ch/news?2442)
- BFE (2011a). Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010. Bern [www.proclim.ch/news?2361](http://www.proclim.ch/news?2361)
- BFE (2011b). Grundlagen für die Energiestrategie des Bundesrates – Aktualisierung der Energieperspektiven 2035. Bern [www.proclim.ch/news?2364](http://www.proclim.ch/news?2364)
- BFS (2010), Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz, 2010–2060, Neuchâtel  
[www.proclim.ch/news?2443](http://www.proclim.ch/news?2443)
- Branch, E.R. (1993). Short Run Income Elasticity of Demand for Residential Electricity Using Consumer Expenditure Survey Data. *Energy Journal*, 14 (4), 111–121 [www.proclim.ch/news?2444](http://www.proclim.ch/news?2444)
- de Haan, P. (2009). Energie-Effizienz und Reboundeffekte: Entstehung, Ausmass, Eindämmung. Bundesamt für Energie, Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen. ETH Zürich, IED-NSSI  
[www.proclim.ch/news?2445](http://www.proclim.ch/news?2445)
- DEFRA (2010). Behavioural Economics & Energy Using Products: Scoping Research on Discounting Behaviour and Consumer Reference Points. Final Report. Department for Environment, Food and Rural Affairs, London  
[www.proclim.ch/news?2446](http://www.proclim.ch/news?2446)
- Elcom (2010). Strompreise 2011, Medienmitteilung vom 7. September 2010, Bern  
[www.proclim.ch/news?2447](http://www.proclim.ch/news?2447)
- Energie-Trialog Schweiz (2009). Energie-Strategie 2050. Impulse für die schweizerische Energiepolitik. Grundlagenbericht. Zürich [www.proclim.ch/news?877](http://www.proclim.ch/news?877)
- Enquete-Kommission (2002). Schlussbericht der Enquete-Kommission «Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung» des Deutschen Bundestages. Berlin  
[www.proclim.ch/news?2448](http://www.proclim.ch/news?2448)
- Espey, J.A., Espey, M. (2004). Turning on the Lights: A Meta-Analysis of Residential Electricity Demand Elasticities. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 36 (1), 65–81  
[www.proclim.ch/news?2449](http://www.proclim.ch/news?2449)
- Frederick, S., Loewenstein, G., O'Donoghue, T. (2002). Time Discounting and Time Preference: A Critical Review. *Journal of Economic Literature* 40, 351–401 [www.proclim.ch/news?2450](http://www.proclim.ch/news?2450)
- Gergey M., Birri N. (2005). Marktübersicht 2005, Energie-Contracting in der Schweiz. Swiss Contracting, Zürich
- Girod, B., de Haan, P., Scholz, R.W. (2010). Consumption-as-usual instead of ceteris paribus assumption for demand. Integration of potential rebound effects into LCA. *Int J LCA*, DOI 10.1007/s11367-010-0240-z  
[www.proclim.ch/news?2451](http://www.proclim.ch/news?2451)

- Ham, J., Midden, C., & Tak, S. (2008). The persuasive effects of positive and negative social feedback from an embodied agent on energy conservation behavior. Poster proceedings of Persuasive 2008, Oulu, Finland, June 4–6, 2008. University of Oulu, Oulu [www.proclim.ch/news?2452](http://www.proclim.ch/news?2452)
- Hsiao, C., Mountain, D. (1985). Estimating the Short-Run Income Elasticity of Demand for Electricity by Using Cross-Sectional Categorized Data. *Journal of the American Statistical Association*, 80, 259–265 [www.proclim.ch/news?2453](http://www.proclim.ch/news?2453)
- IEA (2010). *Energy Prices and Taxes*. Paris
- Kranz, J., Gallenkamp, J., Picot, A. (2010). Exploring the role of control – Smart meter acceptance of residential consumers. Proceedings of the 16th American Conference on Information Systems (AMCIS), Lima (Peru), August 12–15, 2010 [www.proclim.ch/news?2454](http://www.proclim.ch/news?2454)
- Kratena, K., Meyer, I., Wüger, M. (2009). Ökonomische, technologische und soziodemographische Einflussfaktoren der Energienachfrage. WIFO Working Papers 339 [www.proclim.ch/news?2455](http://www.proclim.ch/news?2455)
- Lamster, J. (2008). Contracting im Hochbau, Einführung in das «zyklische Systemmodell», Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP), Luzern [www.proclim.ch/news?2456](http://www.proclim.ch/news?2456)
- Leiserowitz, A.A., Kates, R.W., Parris, T.M. (2006). Sustainability Values, Attitudes, and Behavior: A Review of Multinational and Global Trends. *Annual Review of Environment and Resources* 31, 413–444 [www.proclim.ch/news?2457](http://www.proclim.ch/news?2457)
- Lutzenhiser, L. (1993). Social and behavioral aspects of energy use. *Annual Review of Energy and the Environment*, 18, 247–289 [www.proclim.ch/news?2458](http://www.proclim.ch/news?2458)
- Mankoff, J., Fussell, S. R., Dillahunt, T. et al. (2010). StepGreen.org: Increasing Energy Saving Behaviors via Social Networks. Proceedings of the Fourth Conference of AAAI (Association for the Advancement of Artificial Intelligence) on Weblogs and Social Models, 106–113 [www.proclim.ch/news?2459](http://www.proclim.ch/news?2459)
- Meinefeld M. (2004). Strategische Erfolgsfaktoren für Contracting-Angebote von Energieversorgungsunternehmen, Dissertation, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Paderborn [www.proclim.ch/news?2460](http://www.proclim.ch/news?2460)
- Mosler, H.-J., Tobias, R. (2007). Umweltpsychologische Interventionsformen neu gedacht. *Umweltpsychologie*, 11(1), 35–54 [www.proclim.ch/news?2461](http://www.proclim.ch/news?2461)
- Nolan, J. M., Schultz P.W., Cialdini, R. B., Goldstein, N. J., Griskevicius V. (2008). Normative social influence is underdetected. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 34, 913–923 [www.proclim.ch/news?2462](http://www.proclim.ch/news?2462)
- OcCC, ProClim (2007). *Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. Bern [www.proclim.ch/news?33488](http://www.proclim.ch/news?33488)
- O'Donoghue, T., Rabin, M. (2001). Choice and Procrastination. *Quarterly Journal of Economics* 116(1), 121–160 [www.proclim.ch/news?2463](http://www.proclim.ch/news?2463)
- Sammer, K., Wüstenhagen, R. (2006). The influence of eco-labelling on consumer behaviour – results of a discrete choice analysis for washing machines. *Business Strategy and the Environment*, 15, 185–199 [www.proclim.ch/news?2464](http://www.proclim.ch/news?2464)
- Simmons-Süer, B., Atukeren, E., Busch, C. (2011). Elastizitäten und Substitutionsmöglichkeiten der Elektrizitätsnachfrage. KOF-Studien Nr. 26, ETH Zürich, Zürich [www.proclim.ch/news?2477](http://www.proclim.ch/news?2477)
- Sorrell, S., Dimitriopolous, J., Sommerville M. (2009). Empirical estimates of direct rebound effects: a review, *Energy Policy* 37, 1356–1371
- Sturm, A., Egli, N., Frischknecht, R., Steiner, R. (2006). *Energieperspektive 2050 der Umweltorganisationen: Studie im Auftrag von Greenpeace Schweiz, Schweizerische Energiestiftung, Verkehrs-Club der Schweiz und WWF Schweiz*, Basel [www.proclim.ch/news?2478](http://www.proclim.ch/news?2478)
- Teisl, M. F., Rubin, J., Noblet, C. L. (2008). Non-dirty dancing? Interactions between eco-labels and consumers. *Journal of Economic Psychology*, 29, 140–159 [www.proclim.ch/news?2479](http://www.proclim.ch/news?2479)
- Thøgersen, J. (2000). Psychological determinants of paying attention to eco-labels in purchase decisions: model development and multinational validation. *Journal of Consumer Policy*, 23, 285–313 [www.proclim.ch/news?2480](http://www.proclim.ch/news?2480)

- UK Energy Research Centre (2007). The rebound effect: An assessment of the evidence for economy-wide energy savings from improved energy efficiency. ISBN 1-903144-0-35. [www.proclim.ch/news?2481](http://www.proclim.ch/news?2481)
- Van Dam, S.S., Bakker, C.A., van Hal, J.D.M. (2010). Home energy monitors: Impact over the medium-term. *Building Research and Information*, 38 (5), 458–469 [www.proclim.ch/news?2482](http://www.proclim.ch/news?2482)
- Van den Bergh, J.C. (2008). Environmental Regulation of Households: An Empirical View of Economic and Psychological Factors. *Ecological Economics* 66, 559–574 [www.proclim.ch/news?2483](http://www.proclim.ch/news?2483)
- VSE (2006). Vorschau 2006 auf die Elektrizitätsversorgung der Schweiz im Zeitraum bis 2035/2050. Aarau [www.proclim.ch/news?2484](http://www.proclim.ch/news?2484)
- Wilson, Ch., Dowlatabadi H. (2007). Models of Decision Making and Residential Energy Use. *Annual Review of Environment and Resources* 32, S. 169–203 [www.proclim.ch/news?2485](http://www.proclim.ch/news?2485)
- World Value Survey (2009). 1981–2008 Official Aggregate. World Values Survey Association. Aggregate File Producer: ASEP/JDS
- Zah, R., Binder, C., Bringezu, S., Reinhard, J., Schmid, A., Schütz, H. (2010). Future Perspectives of 2nd Generation Biofuels. vdf, Zürich [www.proclim.ch/news?2486](http://www.proclim.ch/news?2486)