

ge und deutlich zu stärkende Komponente der notwendigen politischen Strategien sind, kommt auch staatlichen Planungsprozessen eine wachsende Rolle zu. Die gezielte Förderung von Innovationsprozessen, die Identifikation und beschleunigte Entwicklung von besonders wichtigen Technologien und Marktmodellen oder Marktdesigns sowie die umfassende und vorausschauende Entwicklung von Infrastrukturen bilden neben der Definition von Zielen und Rahmenbedingungen zukünftig staatliche Aufgaben, die umfassend und mit hoher Intensität ausgefüllt werden müssen.

Jenseits von den technisch-wirtschaftlich erschließbaren Potentialen zur Emissionsminderung und den zu ihrer Umsetzung notwendigen politischen Instrumentierung wird es nicht zuletzt darauf ankommen, eine unterstützende **Akzeptanz** des erforderlichen Umstrukturierungsprozesses in der Bevölkerung zu finden. Hierzu ist ein breiter gesellschaftlicher Diskussionsprozess unabdingbar. Diesen mit anderen gesellschaftlichen Gruppen zu initiieren und zu begleiten, ist eine langfristige und strategische Aufgabe.

Bei der Entwicklung, Ausgestaltung und Bewertung konkreter klima- und energiepolitischer Instrumente wird es schließlich im Rahmen einer an ambitionierten Zielen orientierten Klimaschutz- und Energiepolitik unabdingbar sein, alle Ziele, Instrumentenansätze und Wirkungsabschätzungen auf ihre Konsistenz zum 95 %-Minderungsziel zu überprüfen. Die systematische Analyse von politischen Instrumenten auf ihre strategische langfristige Zielkonsistenz muss integraler Bestandteil der einschlägigen Impact Assessments werden.

9 Eckpunkte eines Integrierten Klimaschutz- und Energieprogramms 2030

9.1 Vorbemerkungen

Die langfristigen strategischen Ansätze zur Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele bilden den konzeptionellen Rahmen und das Anforderungsniveau für konkrete politische Maßnahmen. Die Auswahl und die Ausgestaltung von konkreten politischen Maßnahmen werden dabei durch sehr unterschiedliche Aspekte bestimmt:

- das wirtschaftliche und politische Umfeld, das auch zu bestimmten instrumentellen Präferenzen führt;
- die Einbindung in die übergeordneten politischen Rahmensetzungen, z.B. in der Europäischen Union;
- die erreichten Fortschritte bei der Treibhausgasminderung in den verschiedenen Sektoren, die im Zeitverlauf Schwerpunktverschiebungen erfordern können;
- die erzielten technischen, wirtschaftlichen und strukturellen Innovationen;
- die Veränderungen auf Märkten und im Bereich der Schlüsselakteure;
- das Zusammenwirken verschiedener Instrumente, die sich gegenseitig ergänzen und verstärken, aber sich auch gegenseitig blockieren können.

Da gerade die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Instrumenten erheblich an Bedeutung gewonnen haben und die Notwendigkeit umfassender Politikansätze in der Energie- und Klimaschutzpolitik offensichtlich geworden ist, hat sich sowohl in Deutschland als auch in der Europäischen Union der Ansatz Integrierter Politikpakete durchgesetzt. In Deutschland wurde das durch die „Meseberger Beschlüsse“ im Jahr 2007 initiierte „Integrierte Energie- und Klimaprogramm“ (IEKP) der Bundesregierung aufgelegt, in der Europäischen Union bildet das im Januar 2008 von der Europäischen Kommission vorgeschlagene und im Dezember 2008 beschlossene „Grüne Paket“ der EU einen umfassenden politischen Rahmen für die Klimapolitik. Bisher sind diese Politikpakete und die entsprechenden Ziele auf den Zeithorizont 2020 ausgerichtet und ausgestaltet worden.

In den folgenden Abschnitten wird der Versuch unternommen, die Eckpunkte eines Integrierten Klimaschutz- und Energieprogramms für den Zeithorizont 2030 (IEKP 2030) zu skizzieren.

Die Basis für dieses auf den Zeithorizont 2030, also eine Zwischenetappe der Langfriststrategie, ausgerichtete Programm bilden einerseits die mit dem Innovationsszenario und den zusätzlichen Maßnahmen beschriebene Ziel- und Umsetzungsvision einer Minderung der Treibhausgasemissionen um 95 % gegenüber 1990 („Modell Deutschland“) und andererseits die daraus abgeleiteten Unterziele und Strategien. Ausgerichtet ist das Programm an dem Ziel, bis zum Jahr 2030 die Gesamtheit der Treibhausgasemissionen in Deutschland (also inklusive des internationalen Flugverkehrs sowie der Emissionsquellen bzw. -

senken aus Landnutzung und Forstwirtschaft) im Vergleich zum Emissionsniveau von 1990 um 60 % zu senken.

Die Eckpunkte des IKEP 2030 bilden dabei kein vollständiges und vollumfängliches Maßnahmenbündel, sondern beschreiben die zentralen Maßnahmen eines solchen politischen Programms. Diese werden an einer Vielzahl von Stellen zusätzlicher und flankierender Politiken und Maßnahmen bedürfen, um Wirkungen in der erforderlichen Breite und Intensität entfalten zu können. In diesen Bereich fallen die gesamte Bandbreite an Bildungs-, Informations- und Motivationsprogrammen oder andere Maßnahmen zur Aktivierung von Akteuren und Märkten. Schließlich soll das IKEP 2030 die bisher ergriffenen politischen Instrumente keineswegs vollumfänglich ersetzen. Mit den hier beschriebenen Schlüsselinstrumenten sollen Lücken der bisherigen Instrumentierung geschlossen sowie bestehende Instrumente angepasst oder erweitert werden. Bestehende politische Instrumente, die in den folgenden Eckpunkten nicht weiter diskutiert werden, werden als fortbestehend vorausgesetzt. Ohne die im Folgenden beschriebenen Schlüsselinstrumente ist es jedoch sehr schwer vorstellbar, dass die notwendige Dynamik bei der Emissionsminderung erreicht wird.

Die zunehmende Integration von Klimaschutz- und Energiepolitik im Europäischen Rahmen erfordert weiterhin an vielen Stellen die Berücksichtigung oder die Integration auf europäischer Ebene aufgesetzter Politiken und Maßnahmen. Auch hierauf wird im Folgenden nur cursorisch und so weit wie nötig eingegangen, ohne dass die Bedeutung dieser Politikenebene ausgeblendet oder unterbewertet werden soll.

Weiterhin ist darauf hinzuweisen, dass die Schaffung von politischen Instrumenten zur Emissionsminderung bei gleichzeitiger Existenz eines Emissionshandelssystems auch in den vom Emissionshandel erfassten Bereichen sinnvoll sein kann, aber einer expliziten Legitimation bedarf.

Die Beschreibung dieser Auswahl von politischen Schlüsselinstrumenten beschränkt sich auf die wesentlichen Ansatzpunkte, Funktionalitäten und Ausgestaltungsmerkmale. Die detaillierte Ausgestaltung der Instrumente muss dann – ähnlich wie bei den derzeit existierenden Politikpaketen im Bereich Energie und Klimaschutz – notwendigerweise in einer Detaillierungsphase erfolgen, die jedoch nicht mehr in den Untersuchungsrahmen der hier vorgelegten Studie fällt.

Die Auswahl, Ausgestaltung und die Parametrisierung der im Folgenden beschriebenen Instrumente erfolgt konsistent zu den Entwicklungen und Mengengerüsten des Innovations Szenarios bzw. der Zusatzrechnungen für die zusätzlichen Potenziale und Maßnahmen. Vor diesem Hintergrund muss aber auch darauf hingewiesen werden, dass einige Instrumente mit nicht unerheblichen Wirkungsbeiträgen (Ausgestaltung des EU-Emissionshandelssystems für die Luftverkehrsemissionen, Besteuerung von Flugkraftstoffen etc.) hier nicht weiter diskutiert werden. Sie bleiben aber dennoch – wie auch eine ganze Reihe weiterer, z.T. wichtiger bzw. flankierender politischer Maßnahmen – keineswegs vernachlässigbare (wenn auch vielleicht nicht zentrale) Bestandteile breit angelegter Maßnahmenbündel für ambitionierte Klimaschutzstrategien (vgl. Öko-Institut et al. 2007, 2009).

9.2 Rechtlicher Rahmen für die mittel- und langfristige Klimaschutzpolitik

Die Einbettung eines bis 2030, also mittelfristig angelegten Programms in die langfristigen Klimaschutzziele erfordert eine Reihe von begleitenden Maßnahmen, die am besten in einem Nationalen Klimaschutzgesetz zusammengeführt werden können.

Mit dem Nationalen Klimaschutzgesetz soll das Integrierte Klimaschutz- und Energieprogramm 2030 auf eine rechtlich verbindliche Basis gestellt und gleichzeitig ein permanenter Überprüfungs- und Verbesserungsprozess auf verpflichtender Basis geschaffen werden. Dieses Nationale Klimaschutzgesetz für Deutschland sollte insbesondere die folgenden Regelungstatbestände umfassen:

- rechtlich verbindliche Festlegung der mittel- und langfristigen Emissionsminderungsziele für Deutschland, d.h. mindestens 40 % bis 2020, 60 % bis 2030 und 95 % bis 2050 sowie eines verbindlichen Gesamt-Emissionsbudgets für den Zeitraum 2000 bis 2050, jeweils auf Basis der Emissionen von 1990 und inklusive der gesamten Treibhausgasemissionen aus dem internationalen Flugverkehr sowie der Landnutzung und den Wäldern;
- verbindliche Einführung eines umfassenden Monitoringsystems zur Erfolgskontrolle der verschiedenen Maßnahmen, basierend auf den Schlüsselzielen und –indikatoren für die verschiedenen Sektoren und einer jährlichen Bewertung der erreichten Fortschritte;
- gesetzliche Schaffung eines nicht weisungsgebundenen Gremiums („Rat von Sachverständigen für Klimapolitik“) zur mittel- und langfristigen Bewertung aktueller und absehbarer Trends bei den Treibhausgasemissionen sowie der aktuellen und absehbaren energie-, land-, abfall- und forstwirtschaftlichen Entwicklungen, mit besonderer Beachtung der europäischen Einbindung sowie derjenigen Entwicklungen, die die Erreichung der langfristigen Emissionsminderungsziele signifikant behindern könnten;
- verpflichtende Weiterentwicklung des Integrierten Klimaschutz- und Energieprogramms auf Grundlage der real eingetretenen und absehbaren Entwicklungen mit festgelegten Überprüfungs- und Revisionszeitpunkten in Fünfjahresabständen und klaren Ressortverpflichtungen.

In Ergänzung zum Nationalen Klimaschutzgesetz sollte die Bundesregierung mit den Bundesländern Zielvereinbarungen für die Verantwortungs- und Handlungsbereiche abschließen, für die die Kompetenzen ganz oder überwiegend bei den Ländern liegen.

9.3 Übergreifende Instrumente

Mittelfristig bleiben die mit dem **EU-Emissionshandelssystem** geschaffenen Preissignale für den Ausstoß von Treibhausgasen eine zentrale Grundlage für die Klimaschutzpolitik.

Gleichzeitig bildet es das wichtigste Instrument für die Umsetzung der marktnahen Emissionsminderungspotenziale bei den großen Punktquellen. Die Rahmenbedingungen und die wesentlichen Mechanismen des EU-Emissionshandelssystems sind durch europäische Rechtssetzungen für den Zeitraum bis 2020 verbindlich gemacht worden. Für die Weiterentwicklung des Systems, auch im Kontext der Revision des Systems nach Abschluss eines umfassenden internationalen Klimaschutzabkommens sind die folgenden Punkte von besonderer Bedeutung:

- frühzeitige Einführung von Caps für die längerfristige Perspektive, neben der Verschärfung des Caps für den Zeitraum bis 2020 auf einen Wert von 35 % unter dem Niveau des Jahres 2005 (im Fall des Abschlusses einer internationalen Vereinbarung) betrifft dies vor allem das Emissionsziel für 2030, das auf 60 % unter dem Niveau von 2005 festgelegt werden sollte.
- weitgehende Abschaffung der kostenlosen Zuteilung zur Absicherung eines durchgehend unverzerrten Preissignals für alle Handlungsbereiche (einschließlich der Materialsubstitution etc.) und Einführung von Kompensationsmaßnahmen für die von CO₂-Leakage nachweisbar betroffenen Industrien auf Basis von Investitionszuschüssen;
- wesentliche Beschränkung der Nutzung von Emissionsgutschriften aus internationalen Projekten und massive Erhöhung der Qualitätskriterien für die Anerkennung solcher Projekte;
- Beseitigung der Regelungslücken im System, zum Beispiel für die Abscheidung und Speicherung von CO₂ aus biogenen Quellen. Für die Speicherung von biogenem CO₂ sollten im Rahmen von nationalen Ausgleichsprojekten Emissionsgutschriften ausgegeben werden.

Die Effekte des Emissionshandelssystems, auch mit Blick auf Innovationen und die Notwendigkeit ergänzender Instrumente sollten regelmäßig bewertet werden. Gleichzeitig müssen die komplementär ergriffenen Instrumente bei der jeweiligen Cap-Festsetzung zwingend berücksichtigt werden.

Für die nicht vom Emissionshandel erfassten Sektoren und Anlagen sollte eine umfassende **Treibhausgas-Emissionssteuer für stationäre Anlagen** eingeführt werden. Der Steuersatz sollte sich an der Größenordnung von 30 €/t CO₂ orientieren, auf den Endabsatz erhoben und im Zeitverlauf stetig angepasst werden.

9.4 Übergreifende Instrumente zur Erhöhung der Energieeffizienz

9.4.1 Mengensteuerung für Energieeinsparungen

Eine massive Erhöhung der Energieeffizienz – als zentrale Säule jeder ambitionierten Klimaschutzpolitik – erfordert neue Ansätze in der Energieeffizienzpolitik. Die Erfahrungen aus den letzten Jahren und Jahrzehnten zeigen, dass die Ziele im Bereich der Energieeffizienz regelmäßig – und aus einer Vielzahl von Gründen – verfehlt worden sind. Gerade vor diesem Hintergrund erscheint es als sinnvoll und geboten, für das spezifische Hand-

lungsfeld Energieeffizienz ein Mengensteuerungssystem einzuführen. Mit einem solchen (neuen) Instrument sollen zwei strategische Ziele verfolgt werden. Erstens kann der Beitrag von Energieeffizienzerhöhungen zur Emissionsminderung quantitativ gesichert werden und zweitens kann ein wesentlicher Beitrag zur Entwicklung eines Energiedienstleistungsmarktes geleistet werden.

Grundansatz dieses Instrumentariums ist die Verpflichtung der Lieferanten von Energie für den Einsatz in stationären Anlagen von Letztverbrauchern (und zwar sowohl für Strom, Fern- und Nahwärme sowie fossile Brennstoffe als auch für Brennstoffe aus erneuerbaren Energien) einen Energieeffizienzbeitrag nachzuweisen, der sich aus dem auf geeignete Weise standardisiert ermittelten Absatz des jeweils letzten Jahres ermittelt. Dieser Nachweis erfolgt mit Energieeffizienz-Zertifikaten („Weiße Zertifikate“), die frei gehandelt werden können. Die Verknüpfung der Effizienzverpflichtungen mit dem (physischen) Absatz von Energieträgern ermöglicht es, die Effizienzerhöhung mengenmäßig zu steuern. Als Ausgangswert sollte die Verpflichtung zur Effizienzerhöhung auf einen Wert von 1 % der Energielieferungen festgelegt werden, und anschließend jährlich um einen Prozentpunkt erhöht werden. In regelmäßigen Abschnitten, zum ersten Mal nach 5 Jahren, werden die Effizienzverpflichtungen im Lichte der absolut erreichten Energieeinsparung und im Abgleich mit den strategischen Zielen zur Erhöhung der Energieeffizienz angepasst. Mit dem System handelbarer Weißer Zertifikate können andere politische Instrumente ergänzt bzw. deren Beiträge gesichert werden.

Die Effizienzverpflichtungen können über Energieeffizienzprojekte nachgewiesen werden, mit denen Weiße Zertifikate generiert werden. Für diese Effizienzprojekte wird eine Positivliste geschaffen, in der einerseits zulässige Projekttypen und andererseits die für die jeweiligen Projekttypen verbindlich anzuwendenden Baseline-Methoden und deren Parameter niedergelegt werden. Die Projektliste enthält sowohl Projekttypen für hoch typisierbare Effizienzmaßnahmen (Gebäude, Geräte) als auch Maßnahmen in eher heterogenen Bereichen (Industrie, Gewerbe). Diese Positivliste für anererkennungsfähige Effizienzmaßnahmen kann mit einem zunächst engen Portfolio relativ schnell geschaffen werden und wird im Zeitverlauf systematisch erweitert und angepasst. Über die Positivlisten können auch Schwerpunkte im Bereich der Energieeffizienz systematisch adressiert werden.

Die Verpflichteten des Systems können entscheiden, ob sie Energieeffizienzmaßnahmen in eigener Regie durchführen, spezialisierte Dienstleister beauftragen oder sich über Instrumente wie Energieeffizienzfonds an breiter angelegten Effizienzkampagnen beteiligen. Die Existenz verschiedener Anbieter für Effizienzmaßnahmen und die mittelfristig planbare Nachfrage nach entsprechenden Maßnahmen führt zu Wettbewerb und damit tendenziell zu Kostensenkungen sowie zu einer Verstärkung von energieeffizienzorientierten Marktakteuren, deren Geschäftsfelder sich auch in andere Bereiche ausweiten können.

9.4.2 Wiedereinführung der erhöhten steuerlichen Absetzbarkeit von Energieeffizienzinvestitionen sowie Verbesserung der Investitionszulagenregelungen

Die praktischen Erfahrungen mit der steuerlichen Absetzbarkeit von haushaltsnahen Dienstleistungen, aber auch die Erfahrungen aus der Abwrackprämie für PKW haben gezeigt, dass direkte Zuschüsse und direkte Steuererleichterungen ein geeignetes Instru-

ment sind, um eine Vielzahl von komplexen Hemmnissen für die jeweils angestrebten Aktivitäten zu überwinden.

In den 1980er Jahren hat sich die erhöhte steuerliche Absetzbarkeit als ein wirksames Mittel zur Förderung von Energieeffizienzinvestitionen gezeigt. Nach § 82a Einkommensteuer-Durchführungsverordnung (EStDV) konnte der Steuerpflichtige in der Vergangenheit für Abnutzung im Jahr der Herstellung und in den folgenden neun Jahren jeweils bis zu 10 % absetzen von den Herstellungskosten für den Anschluss an eine Fernwärmeversorgung, sofern diese überwiegend aus Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, zur Verbrennung von Müll oder zur Verwertung von Abwärme gespeist wird, für den Einbau von Wärmepumpenanlagen, Solaranlagen und Anlagen zur Wärmerückgewinnung, für die Errichtung von Windkraftanlagen sowie für die Errichtung von Anlagen zur Gewinnung von Gas, das aus pflanzlichen oder tierischen Abfallstoffen entsteht. Entsprechende steuerliche Regelungen sind auf sämtliche Energieeffizienzinvestitionen auszudehnen, also auch auf Investitionen in den besseren Wärmeschutz zur Verringerung des Energiebedarfs. Ein zusätzlicher Anreiz könnte durch eine Verkürzung der Periode für die Absetzung der Herstellkosten erreicht werden. Ggf. könnte auch eine Kumulierung mit anderen Fördermaßnahmen berücksichtigt werden (z.B. mit den KfW-Förderprogrammen).

In den Sektoren, in denen die Investitionen ohnehin als Betriebskosten absetzbar sind, kann eine darüber hinaus gehende steuerliche Absetzbarkeit zusätzliche Effizienzinvestitionen stimulieren. Ein ähnlicher Effekt wäre mit der Einführung einer auf Effizienzinvestitionen konzentrierte Investitionszulage erzielbar, wie dies früher nach § 4a des Investitionszulagengesetzes (InvZulG) der Fall war.

9.4.3 Verbindliche Einführung von Energie-Management-Systemen in der Industrie

Energieeffizienzmaßnahmen gehören in der Industrie zu den zentralen Möglichkeiten, Emissionsminderungspotenziale in diesem Bereich zu erschließen.

Gerade in der Industrie ergeben sich wesentliche Möglichkeiten zur Energieeinsparung und Emissionsvermeidung, wenn nicht einzelne Technologien oder Verfahren verbessert, sondern Gesamtprozesse optimiert werden, z.B. durch die systematische Abwärmenutzung oder die Nutzung von Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung.

Die Erschließung dieser – oft wirtschaftlich gut darstellbaren – Potenziale wird gerade in der Industrie durch eine Vielzahl von Hemmnissen behindert. Vor diesem Hintergrund sollte für alle Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes die Einführung von zertifizierten Energie-Management-Systemen verbindlich vorgeschrieben werden.

9.5 Instrumente zur Erhöhung der Energieeffizienz von Gebäuden

9.5.1 Fortsetzung und Forcierung der Förderprogramme für die Gebäudesanierung

Entscheidend für eine Effizienzstrategie im Gebäudebereich ist der Gebäudebestand. Raumwärme ist derjenige Verwendungszweck, bei dem durch Effizienzmaßnahmen absolut und relativ der mit Abstand größte Anteil Endenergie eingespart werden kann. Dazu sind im Vergleich mit einer Referenzentwicklung eine erhebliche Steigerung der energetischen Sanierungsraten auf mehr als 2 % pro Jahr sowie eine Sanierungseffizienz von langfristig mindestens 90 % zu gewährleisten. Hierfür sollten entsprechende Grenzwerte bei derartigen Sanierungsvorhaben festgesetzt werden. Für Gebäudesanierungen ab 2020 sollten diese mit 60 kWh/m² und ab 2030 mit 40 kWh/m² vorgegeben. Das langfristige Ziel für 2050 ist ein Wert von 10 kWh/m².

Zur Erhöhung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit sollte diese ordnungsrechtliche Regelung durch eine Fortsetzung und eine deutliche Aufstockung der Förderprogramme zur Gebäudesanierung flankiert werden. Mit der Förderung von Sanierungen auf Niedrigstenergiehausstandard können zugleich die sukzessiven Verschärfungen der Energieverbrauchsgrenzwerte systematisch vorbereitet werden.

Wie für den Neubaubereich sind für den Gebäudebestand eine konsequente Vollzugskontrolle und eine spürbare Sanktionierung bei Nichteinhaltung der vorgegebenen Standards unabdingbar. Dabei kommt es nicht auf eine flächendeckende Kontrolle an, vielmehr dürfte eine wirksame Stichprobenkontrolle ausreichend sein.

Weiterhin sollten steuerliche Anreize für die energetische Sanierung von selbst genutztem Wohnraum zu schaffen: Zur Erhöhung der energetischen Sanierungsrate insbesondere der 14 Mio. Ein- und Zweifamilienhäuser (von 17 Mio. Wohngebäuden) sind steuerliche Anreize erfahrungsgemäß ein wirksames Mittel (vgl. die Sonderabschreibungen nach § 82 a EStDV in den 1980er Jahren).

Auch für die energetische Sanierung von als Kapitalanlage erworbenem (Wohn-) Gebäudebestand sind steuerliche Anreize wichtig. Durch Sofortabzug von Kosten für die energetische Sanierung der Gebäude als Werbungskosten auch innerhalb der ersten drei Jahre nach Erwerb der Immobilie sollte dies gewährleistet werden.

Für den Mietwohnungsbereich können Contracting-Projekte helfen, die dort existierenden Energieeinsparpotenziale zu erschließen. Die mit Contracting-Projekten in Form von Energieliefer-Verträgen verbundene, effizienzsteigernde Wirkung beruht im Grundsatz auf dem betriebswirtschaftlichen Eigeninteresse des Contractors, seine Energieversorgungs- und Dienstleistungsverpflichtungen mit Hilfe einer möglichst effizienten Energietechnik zu erbringen. Die Effizienzsteigerungen durch Contracting führen zu optimierten Jahresnutzungsgraden bei der Umwandlung von Primärenergie in Wärme.

Die aktuelle Rechtslage lässt jedoch eine flächendeckende Umsetzung von Contracting-Projekten im vermieteten Wohngebäudebestand nicht zu. Eine Anpassung der entsprechenden Regelungen des Bürgerlichen Gesetzbuchs (BGB) zur zustimmungsfreien Umstellung auf Contracting unter Einhaltung ökologischer und sozialer Zielvorgaben ist daher

zwingend. Dazu sollte eine einheitliche Regelung für alle Mietverhältnisse geschaffen werden.

Um die effizienzsteigernden Wirkungen des sich bisher vor allem auf Wärmelieferungen konzentrierenden Contracting-Geschäfts zu verstärken bzw. breit zu erschließen, sollten entsprechende Aktivitäten für eine Ausweitung auf Verteilsysteme und die Gebäudehülle zunächst modellhaft umgesetzt, die zentralen Bedingungen für eine Breitenumsetzung analysiert und geprüft sowie die entsprechenden rechtlichen Rahmensetzungen entwickelt werden.

Eine Roadmap „Klimaschutzmarkt Gebäude“ könnte den Prozess strukturieren, das (notwendige) Vertrauen in die Entwicklung dieses Segments der Energiedienstleistungswirtschaft verstärken und somit die Dynamik bei der zielgerichteten Erschließung der Effizienzpotenziale im Gebäudebestand erheblich vergrößern.

9.5.2 Verschärfung der Neubaustandards

Zur Sicherstellung einer dem Innovationsszenario folgenden Entwicklung von Energieverbrauch und CO₂-Emissionen sind für den Neubaubereich ordnungsrechtliche Vorgaben, wie sie bereits heute mit der Energieeinsparverordnung (EnEV) bestehen, das adäquate Instrument. Schon mit der beschlossenen Novelle der EnEV 2007, die am 01. Oktober 2009 in Kraft getreten ist, werden zur Erhöhung der Energieeffizienz die Anforderungen an den maximal zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf und an die maximal zulässigen U-Werte für Alt- und Neubauten um 30 % verschärft. Im Altbaubereich wurde zudem festgelegt, dass bereits bei einer Sanierung, die mehr als 10 % der Bauteilfläche umfasst, die Bauteilanforderungen erfüllt werden müssen. Für 2012 ist eine erneute Verschärfung der Grenzwerte um 30 % vorgesehen. Das bedeutet für Neubauten größenordnungsmäßig einen jährlichen Primärenergiebedarf von höchstens 50 kWh/m².

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass im Neubaubereich Passivhäuser schon heute vielfach wirtschaftlich sind. Bei steigenden Energiepreisen dürften sich die Mehrkosten längerfristig zunehmend auch für Gebäude mit Nullenergiestandard oder sogar Plusenergiestandard in vertretbaren Grenzen halten lassen, wobei hier eine Deckung oder sogar Überdeckung des verbleibenden (niedrigen) Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien vorauszusetzen ist. Ziel muss es sein, die Standards für neue Gebäude auf einen maximalen Endenergieverbrauchswert für Raumwärme von 20 kWh/m² ab 2015, auf 10 kWh/m² ab 2020 und ab 2025 auf den Nullenergie- bzw. Plusenergiestandard zu verschärfen. Die Einhaltung der Grenzwerte soll unabhängig von der nach § 5 EnEV 2009 zulässigen Anrechenbarkeit der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien gewährleistet werden; Ausnahmen sollten nur zulässig sein, wenn ein Plusenergiestandard erreicht wird.

Grundsätzlich sollte von 2020 an die Wärmeversorgung von Neubauten unabhängig von fossilen Energieträgern sein. Dies kann durch die schrittweise Erhöhung des Mindestanteils erneuerbarer Energien im am 01.01.2009 in Kraft getretenen Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) vorangetrieben werden, wobei eine Verrechnung erhöhter Anteile erneuerbarer Energien mit geringeren Wärmedämmstandards nicht sinnvoll ist.

Ein wichtiges Element für die Novellierung der Neubaustandards sowohl für den Wohn- als auch den Nicht-Wohngebäudebereich bildet die Einführung hoher Standards für die

Deckung des Kühlungsbedarfs. Dies ist auch eine wesentliche Voraussetzung für die Reduktion des für diese Anwendung zukünftig sonst erheblich steigenden Stromverbrauchs.

Wesentlich bei dieser Maßnahme sind zugleich eine konsequente Vollzugskontrolle und eine spürbare Sanktionierung bei Nichteinhaltung der vorgegebenen Standards. Auch hier kommt es nicht auf eine flächendeckende Kontrolle an, sondern auf eine wirksame Stichprobenkontrolle.

9.6 Energieeffizienzprogramme für Stromanwendungen

9.6.1 Durchgängige Verschärfung der Verbrauchsgrenzwerte für alle elektrischen Geräteklassen nach dem Toprunner-Prinzip

Trotz positiver Effizienzentwicklung bei Elektrogeräten in der Vergangenheit existieren noch immer enorme Effizienzsteigerungspotentiale, wie sich bereits bei einem Vergleich spezifischer Verbrauchswerte bei anwendungsbezogen identischen Geräten zeigt.

Im Grundsatz sind bei homogenen Massenprodukten, um die es sich zumindest bei den Haushalts-Elektrogeräten zumeist handelt, ordnungsrechtliche Vorgaben hinsichtlich des maximal zulässigen gerätespezifischen Stromverbrauchs die wirkungsvollste Maßnahme, zumal Bestgeräte vielfach über die gesamte Lebensdauer auch ökonomisch günstiger sind als weniger effiziente Vergleichsgeräte.

Mindesteffizienzstandards sind allerdings auf nationaler Ebene nicht durchsetzbar, vielmehr bedarf es hier einer EU-weiten Einführung. Mit der EU-Ökodesign-Richtlinie sind im Grundsatz die rechtlichen Voraussetzungen dazu geschaffen worden. Zur vollständigen Umsetzung sollten alle relevanten Geräte erfasst und ambitionierte sowie zu dynamisierende Grenzwerte festgelegt werden.

Instrumentell wäre dies im Rahmen der sog. Top-Runner-Programme umzusetzen, wonach die Verbrauchswerte der jeweiligen Bestgeräte als Mindeststandards in einem Zeitraum von fünf Jahren verbindlich für alle anderen vergleichbaren Geräte als maximal zulässig vorgegeben werden.

Flankierend wäre die bestehende Energieverbrauchskennzeichnung zu verbessern (indem z.B. die Lebenszykluskosten ausgewiesen werden) und ebenfalls auf alle relevanten Elektrogeräte auszuweiten. Erforderlich ist ebenfalls eine Intensivierung der Verbraucherinformation auch durch den Handel.

Je nach tatsächlicher Effizienzentwicklung sollten zusätzliche Anreize zur schnelleren Marktdurchdringung extrem effizienter Geräte durch eine finanzielle Förderung beispielsweise aus einem Energieeffizienzfonds geschaffen werden.

9.6.2 Verbot von Nachtstromspeicherheizungen

Elektrische Raumheizungsanlagen gehören zu den größten Verbrauchssegmenten bei der Stromnachfrage im Wohngebäudebereich in Deutschland (Schätzungen belaufen sich auf immerhin 30 TWh Stromverbrauch für die Raumheizung). Der Ersatz der im Bezug auf den Stromverbrauch wie auch die ökologischen und sozialen Aspekte (gerade Nachtstromspeicherheizungen betreffen oft den Bereich der Niedrigeinkommen) hoch problematischen Nachtstromspeicherheizungen ist damit sowohl energiepolitisch als auch ökologisch und sozial eine vordringliche Aufgabe.

Mit der beschlossenen EnEV 2009 dürfen elektrisch betriebene Speicherheizsysteme in Wohngebäuden mit mehr als 5 Wohneinheiten nicht mehr betrieben werden, wenn durch sie ausschließlich die Raumwärme erzeugt wird. Ist das Heizsystem vor 1990 eingebaut worden, ist es bis Ende 2019 außer Betrieb zu nehmen. Bei Einbauten ab 1990 darf das Speicherheizsystem nach Ablauf von 30 Jahren nicht weiter betrieben werden. Angesichts der Tatsache, dass etwa 85 % aller mit elektrischer Raumheizung ausgestatteten Wohneinheiten bereits vor 1979 errichtet worden sind, dürften im Jahr 2030 nur noch wenige Nachtstromspeicherheizungen existieren.

Zu berücksichtigen ist, dass ein Austausch von Nachtstromspeicherheizungen durch ein anderes Heizungssystem in der Regel mit teilweise deutlichen Mehrkosten bei der Investition verbunden ist. Deshalb werden finanziell flankierende Fördermaßnahmen notwendig sein, die sich auf Investitionszuschüsse in Höhe von etwa 40 % der Ersatzinvestitionskosten belaufen sollten. Entsprechend sollten die laufenden Förderprogramme der KfW über Zuschüsse sowie Zuschüsse in Kombination mit zinsverbilligten Krediten aufgestockt werden. Alternativ dazu könnte der Ersatz von Nachtstromspeicherheizungen explizit in den Katalog der absetzbaren Effizienzmaßnahmen im Rahmen der o.g. steuerlichen Maßnahmen aufgenommen werden.

9.7 Maßnahmen im Verkehrssektor

9.7.1 Investitionsprogramm zur Kapazitätserhöhung des deutschen Schienennetzes

Die verstärkte Nutzung der Bahn kann einen wesentlichen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Aktuell wird nur knapp ein Fünftel der Güter auf der Schiene transportiert und weniger als jeder Zehnte Personenkilometer mit der Bahn zurückgelegt. In der Vergangenheit wurde das Schienennetz durch Stilllegungen von Nebenstrecken verkleinert. Für eine Verlagerung von Personen- und Güterverkehr auf die Schiene sind Erhalt und Ausbau der Kapazität zentral, hierfür sollte ein Investitionsprogramm aufgelegt werden. Weitere Maßnahmen zur Unterstützung der Verlagerung umfassen beispielsweise die Erhöhung der Mineralölsteuer (siehe Kapitel 9.7.6) sowie Straßennutzungsgebühren für LKW (siehe Kapitel 9.7.5).

Die Bundesregierung sollte ein Infrastruktur-Ausbau- und Investitionsprogramm mit dem Ziel initiieren, bis zum Jahr 2020 die zentralen Engpässe des Systems zu beseitigen und bis zum Jahr 2030 die Kapazität des deutschen Schienennetzes zu verdoppeln. Das Programm sollte nicht nur den Bau neuer Schienenwege beinhalten, sondern ebenfalls die bessere Nutzung der vorhandenen Infrastruktur.

Zur Ertüchtigung des bestehenden Netzes sollten prioritär Engpässe durch die Reaktivierung von Regionalstrecken insbesondere in Ballungsräumen sowie in Industrie- und Warenumschlagszentren überwunden werden. Zudem können durch die Beseitigung von Langsamfahrstellen mit relativ geringem Aufwand wesentliche Verbesserungen für den Verkehrsfluss erreicht werden.

Durch verbessertes Management und technische Systeme kann die bestehende Infrastruktur besser ausgelastet werden. Das Investitionsprogramm sollte beispielsweise die Verbreitung von satellitengestützter Sicherheitstechnik unterstützen, die eine Verringerung der Abstände zwischen den Zügen ohne gesteigertes Sicherheitsrisiko ermöglicht. Im Güterverkehr sollten weitere Maßnahmen zur Steigerung des Transportvolumens auf vorhandenen Strecken beispielsweise durch längere Züge und geringere Blockabstände erprobt und umgesetzt werden.

Der langfristige Ausbau der Schieneninfrastruktur sollte in einer Weise erfolgen, dass schnell und langsam fahrende Züge das Netz nutzen können ohne sich gegenseitig zu behindern. Um den Transport von Gütern auch am Tag zu ermöglichen ist eine Trennung der Güter- und Personenverkehrsnetze insbesondere an Engpässen und Knotenpunkten zu prüfen. Die Verlagerung von Gütertransporten auf die Schiene setzt auch Investitionen in Gleisanschlüsse für Unternehmen und den Aus- und Neubau von Umschlaganlagen für den intermodalen Verkehr voraus, hier kann durch das Investitionsprogramm finanzielle Unterstützung geleistet werden.

Das Investitionsprogramm sollte durch Maßnahmen zur Verbesserung des Angebotes flankiert werden. Dazu gehören der Abbau von Netzzugangsbeschränkungen, die Lärmsanierung des rollenden Materials und eine stärkere Orientierung des Angebots an Kundenbedürfnissen wie die Schaffung dichter Netze mit hohen Bedienfrequenzen, kürzere Reisezeiten, ein einheitliches Fahrplaninformationssystem und attraktive Preise.

9.7.2 Programm zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des öffentlichen Nahverkehrs um 25 % bis 2030 sowie seiner Attraktivität

In Städten wird rund die Hälfte der Wege mit dem Auto zurückgelegt, in ländlichen Gebieten ist der Anteil noch höher. Durch eine Verlagerung von Kurzstreckenfahrten mit dem Auto auf Bus und Bahn können deutliche Emissionsminderungen erreicht werden. Voraussetzung für die Verlagerung ist ein attraktives und leistungsfähiges Nahverkehrsangebot als Alternative zum innerstädtischen Autoverkehr. Eine besondere Herausforderung stellt der öffentliche Nahverkehr auf dem Land dar, insbesondere in dünn besiedelten Gebieten. Bei geringer Nachfrage ist der Unterhalt eines attraktiven Nahverkehrssystems in seiner klassischen Form nicht nur kostenintensiv, bei spärlicher Auslastung ist auch seine ökologische Vorteilhaftigkeit in Gefahr.

Das Ziel für ein Nahverkehrsentwicklungsprogramm des Bundes und der Länder sollte die Erhöhung der Kapazität des öffentlichen Nahverkehrs in Städten und Ballungsgebieten um 25 % bis 2030 sein. Für den öffentlichen Nahverkehr in dünn besiedelten Gebieten sollten innovative Konzepte erprobt und umgesetzt werden.

Zusätzlich sollte die Vergabe von öffentlichen Mitteln im Nahverkehr in der Zukunft bundesweit anhand von überprüfbaren Qualitätskriterien erfolgen. Entsprechende Kriterien sollten in den diesbezüglichen Ausschreibungen verbindlich verankert und durch Sankti-

onsmaßnahmen flankiert werden. Der Maßstab soll ein attraktives Nahverkehrsangebot mit hoher Kundenzufriedenheit sein. Wesentliche Faktoren für die Attraktivität des öffentlichen Nahverkehrs in Städten und Ballungsräumen und damit für eine höhere Nachfrage sind ein gut ausgebautes Streckennetz mit hoher Taktfrequenz und kurzen Entfernungen zur nächsten Haltestelle, Sicherheit und Sauberkeit in Fahrzeugen und an Haltestellen sowie ein moderner und effizienter Fuhrpark. Zu einem kundenorientierten Angebot gehören zudem ein übersichtliches Tarifsysteem und eine zuverlässige Information der Fahrgäste sowie optimierte Umsteigezeiten sowohl innerstädtisch als auch zum öffentlichen Regional- und Fernverkehr. Eine Verzahnung mit ergänzenden Mobilitätsangeboten wie Car-Sharing und Fahrradverleih runden das Angebot ab.

Gleichzeitig sollte die Attraktivität des öffentlichen Nahverkehrs im Vergleich zum motorisierten Individualverkehr durch eine Umgestaltung der Innenstädte gesteigert werden. Durch den Vorrang des öffentlichen Nahverkehrs vor dem motorisierten Individualverkehr durch eigene Spuren und Vorrangzeiten können die Reisezeiten verkürzt und der Umstieg auf Bus und Bahn insbesondere zu den Stoßzeiten attraktiv gemacht werden. Ergänzend sollten Restriktionen für den Autoverkehr wie City-Maut, Parkraummanagement und Verknappung von Parkraum umgesetzt werden. Die entstehenden Freiräume beispielsweise durch wegfallende Parkflächen können für eine Steigerung der Attraktivität der Innenstädte genutzt werden.

Spezifisch für die Versorgung von ländlichen Regionen mit öffentlichen Verkehrsmitteln sollte bis zum Jahr 2020 ein Sonderprogramm aufgelegt werden, mit dem alternative Mobilitätskonzepte erprobt werden und Umsetzungskonzepte entwickelt werden, mit denen die sich als erfolgreich erweisenden Ansätze bis 2030 in die Breite umgesetzt werden können. Ansatzpunkte zur Flexibilisierung des Angebots und zur Anpassung an die geringe Kundenzahl sind z.B. der Einsatz von kleineren Fahrzeugen, Bürgerbussen und Anrufsammeltaxis, die on-demand betrieben und die mit Angeboten wie Car Pooling ergänzt werden.

9.7.3 Verschärfung der CO₂-Flottengrenzwerte für Personenkraftwagen

Im Personenverkehr dominiert das Auto: Rund drei Viertel aller Personenkilometer werden in Deutschland mit dem PKW zurückgelegt. Der motorisierte Individualverkehr in Deutschland verursacht aktuell 10 % der gesamten Emissionen (basierend auf der Inventarabgrenzung, d.h. in Deutschland getankter Treibstoff).

Neben der Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf umweltfreundliche Verkehrsträger ist daher eine Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs unerlässlich für eine erfolgreiche Reduktion der Emissionen. Die in Deutschland im Jahr 2008 neu zugelassenen PKW verbrauchen im Durchschnitt 6,9 l Benzin (pro 100 km) bzw. 6,3 l Diesel. Diese Verbrauchswerte entsprechen einem Gesamtdurchschnitt an CO₂-Emissionen von knapp 165 g CO₂/km, der deutlich über dem EU-Durchschnitt von 153 g CO₂/km liegt.

Die EU hat im April 2009 eine Verordnung zur Festsetzung von Emissionsstandards für neue PKW (EG Nr. 443/2009) erlassen. Die Verordnung sieht eine verbindliche Reduktion des durchschnittlichen CO₂-Ausstoßes aller neu zugelassenen PKW auf 130 g/km in 2015 vor, der Standard soll bis 2020 auf 95 g/km fortgeschrieben werden.

Da die Effizienzverbesserung von neuen PKW eine wesentliche Maßnahme zur Minderung der Treibhausgasemissionen im Personenverkehr darstellt und hier noch große technische Potenziale liegen, sollte die Verordnung nachgebessert und verschärft werden. Insbesondere sollte der Typprüfzyklus überarbeitet und die Flottengrenzwerte gesenkt werden.

Der derzeitige Typprüfzyklus, der Neue Europäische Fahrzyklus, unterschätzt den Praxisverbrauch der Fahrzeuge, u.a. da der Verbrauch von Nebenaggregaten wie beispielsweise Klimaanlage nicht mit erfasst wird. Deswegen sollte ein neuer Fahrzyklus entwickelt und umgesetzt werden, der realitätsnah ausgelegt ist und zusätzlich auch neue Antriebstechnologien adäquat abbildet. Auch ist darauf zu achten, dass Elektroautos nicht mit Null-Emissionen angerechnet werden.

Zur Reduktion der Emissionen konventioneller PKW sollten die CO₂-Flottengrenzwerte für Personenkraftwagen im überarbeiteten Prüfzyklus auf 80 g CO₂/km in 2020 und 70 g CO₂/km in 2030 festgelegt werden. Die Doppelzählungen von Maßnahmen sowie die Nullanrechnung von Elektrofahrzeugen sollten zukünftig ausgeschlossen werden.

Schließlich sollte eine verbindliche Regelung geschaffen werden, die eine Freigabe seitens der Fahrzeughersteller für hohe Anteile von Biokraftstoffen ab 2020 vorschreibt.

9.7.4 Schaffung von LKW-Flottengrenzwerten

Rund zwei Drittel der Güter werden aktuell auf der Straße transportiert. Neben der Verlagerung auf andere Verkehrsmittel ist die Erhöhung der Energieeffizienz von LKW unabdingbar, auch da im Güterstraßenverkehr eine weitgehende Elektrifizierung derzeit nicht aussichtsreich scheint.

Ähnlich wie bei den PKW gibt es bei den LKW technische Verbrauchsminderungspotenziale. Diese sind zwar im Vergleich geringer, weil sie in der Vergangenheit bereits stärker ausgeschöpft wurden, dürften jedoch mit der Perspektive 2030 im Vergleich zu heute mindestens 30 % betragen. Diese Verbrauchssenkungen können durch die Verbesserung des Systemwirkungsgrades von Motor, elektrischen Verbrauchern und Antriebstrang sowie durch die Minderung der Fahrwiderstände erreicht werden. Der Einsatz von Leichtlaufreifen und Leichtlaufölen kann für alle Kraftfahrzeuge durch eine Anpassung der Typzulassungsanforderungen verbindlich geregelt werden.

Voraussetzung für die Einführung eines CO₂-Grenzwertes bei schweren Nutzfahrzeugen und weiteren lenkungswirkenden Maßnahmen wie einer CO₂-bezogenen Kfz-Steuer ist ein EU-weit gültiger, das ganze Fahrzeug erfassender Typprüfzyklus zur Kraftstoffverbrauchsbestimmung. Bislang gibt es keine genormten Verbrauchsangaben für neu zugelassene LKW und Sattelschlepper. Eine solche Normung sollte unverzüglich initiiert und umgesetzt werden.

Für Nutzfahrzeuge sollte auf diesen Typprüfzyklus basierend ein verbindlicher CO₂-Grenzwert eingeführt werden, der eine kontinuierliche Verbesserung der Effizienz vorsieht. Bis zum Jahr 2030 sollte der Verbrauch der neu zugelassenen LKW und Sattelschlepper um 30 % gegenüber den aktuellen Werten gesenkt werden.

Schließlich sollte eine verbindliche Regelung geschaffen werden, die eine Freigabe seitens der Fahrzeughersteller für hohe Anteile von Biokraftstoffen ab 2020 vorschreibt.

9.7.5 Erhöhung und effizienzbasierte Differenzierung der LKW-Maut und Ausweitung auf alle LKW und Straßen

Zur Erhöhung der Energieeffizienz im Verkehr tragen insbesondere drei Faktoren bei: Eine Verlagerung hin zu energieeffizienteren Verkehrsträgern, fahrzeugtechnische Verbesserungen und eine Steigerung der Fahrzeugauslastung. Eine für alle LKW auf allen Fernverkehrsstraßen gültige Maut, die besonders effizienten Fahrzeugen einen Bonus gewährt, kann Anreize für alle drei Minderungsoptionen setzen.

Der Kraftstoffverbrauch und damit die Treibhausgasemissionen pro transportierter Tonne Güter hängen wesentlich von der Auslastung der LKW ab. Im gewerblichen Transport sind im Schnitt nur zwei Drittel der Kapazitäten ausgelastet. Eine bessere Auslastung und eine Reduktion der Leerfahrten kommt der Umwelt zu Gute und spart den Unternehmen Kosten. Eine höhere Maut setzt Anreize für eine bessere Organisation der Verkehre beispielsweise durch Telematik, Bündelung von Bestellungen, paarige Transportleistung und Verkauf von Kapazitäten bei Leerfahrten an andere Unternehmen durch Börsen im Internet.

Die Wegekostenrichtlinie (2006/38/EG) der EU ermöglicht es, den Mitgliedstaaten nach dem Polluter-Pays-Principle den Verursachern die Kosten für Ausbau und Erhalt des Straßennetzes sowie die verursachten externen Kosten durch Lärm, Verschmutzung, Stau und Unfälle anzulasten. In einem ersten Schritt sollte daher der Mautsatz für Nutzfahrzeuge bis 2020 die externen Kosten internalisieren und im Durchschnitt auf 37 Cent pro gefahrenem Kilometer steigen. Vor dem Hintergrund der in den Variantenrechnungen zum „Modell Deutschland“ zusätzlich in Ansatz gebrachten Vermeidung bzw. Verlagerung von 20 % der Verkehrsleistung im Straßen-Güterverkehr sollte der Mautsatz bis 2030 mit konstanten Steigerungsraten weiter auf 50 ct/km angehoben werden, um die notwendigen Anreize zu setzen.

Zudem sollte die Mautpflicht auf alle Fahrzeuge ab 3,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht ausgeweitet werden und alle Fernstraßen und Autobahnen erfassen. Bislang wird in Deutschland eine Maut nur für LKW ab 12 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht auf Bundesautobahnen und bestimmten Bundesstraßen erhoben. Beide Begrenzungen wurden in der Vergangenheit dazu genutzt, die Mautpflicht zu umgehen. So wurden seit der Maut-Einführung im Jahr 2005 verstärkt LKW mit 10 bis 11,99 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht angemeldet, und der Schwerverkehr wurde teilweise auf nachgeordnete Straßen verlagert. Dabei sind die ökologische Sensitivität und damit die spezifischen Wegekosten an Bundesstraßen höher. Eine Erfassung aller LKW und auch der nachgeordneten Straßen ist essentiell für die Wirksamkeit des Instruments.

Mit einem Effizienzbonus auf die Maut von 20 % sollen zusätzliche Anreize zum Einsatz von verbrauchsärmeren LKW geschaffen werden. Der Gewährung des Maut-Bonus soll sich am Standard der jeweils 10 % effizientesten Fahrzeuge orientieren (Top Runner-Ansatz).

9.7.6 Erhöhung der Mineralölsteuer

Trotz aller Strukturspezifika des Verkehrssektors, die gerade in diesem Sektor starke ordnungsrechtliche Interventionen notwendig machen, bildet das Preissignal für den Energieverbrauch auch im Verkehrssektor einen unverzichtbaren Bestandteil des sektorspezifischen Policy-Mix. Ein starkes Preissignal kann sowohl Anreize zum Kauf sparsamer Fahrzeuge schaffen, als auch zur Vermeidung und Verlagerung von Verkehren beitragen. Es wirkt aber auch in Bezug auf energieeffiziente Fahrweisen. Gerade die beiden letztgenannten Punkte können sich zukünftig als besonders wichtig erweisen, wenn sich im Rahmen der im Innovationsszenario unterstellten Entwicklungen das Verhältnis von Anschaffungs- und Betriebskosten deutlich in Richtung der Anschaffungskosten verschiebt, dadurch die Anreize zur Verkehrsvermeidung abnehmen und sich möglicherweise Rebound-Effekte einstellen.

Vor dem Hintergrund des notwendigerweise breiten Instrumentenansatzes (Fahrzeugeffizienz, gezielte Einführung emissionsfreier Energien etc.) und des begrenzten Energieträgerspektrums ergibt sich für den Verkehrssektor die Sondersituation, dass ein CO₂-basierter Steuersatz im Vergleich zu reinen Energiesteuern keine signifikanten Vorteile bietet und sich insofern eine Weiterentwicklung (und Veränderung) des existierenden Instrumentariums der Kraftstoffbesteuerung anbietet. Alternativ könnte jedoch auch eine Umstellung auf den CO₂-Gehalt verfolgt werden, beide Varianten bilden für die folgenden Ausführungen jeweils gleichberechtigte Alternativen und unterscheiden sich in ihren Effekten nur wenig.

Die letzte Erhöhung der Mineralölsteuer wurde in Deutschland im Jahr 1999 beschlossen, sie wurde in fünf Schritten von 1999 bis 2003 erhöht. Seitdem hat sich das Niveau der Mineralölsteuer nicht verändert, inflationsbereinigt ist damit die Mineralölsteuer in den vergangenen sechs Jahren dementsprechend gesunken, bei Ansatz des Deflators für das Bruttoinlandsprodukt um etwa 8 %.

Weiterhin ist auch darauf hinzuweisen, dass die derzeitige Minderbesteuerung von Diesel (auf Volumenbasis) klimapolitisch kontraproduktiv und energiepolitisch problematisch wirkt, da Dieselmotoren durch ihren höheren Kohlenstoffgehalt bei der Verbrennung pro Liter etwa 13 % höhere CO₂-Emissionen als Ottomotoren verursacht. Momentan entspricht die Differenz zwischen dem Steuersatz für Dieselmotoren und unverbleitem Superbenzin (jeweils auf Volumenbasis) einer letztlich nicht zu rechtfertigenden CO₂-bezogenen Kostendifferenz von etwa 104 € je t CO₂. Energiepolitisch haben die erheblichen Unterschiede bei den Steuersätzen zu erheblichen Asymmetrien zwischen der Produktnachfrage und dem Raffinerieausstoß geführt, erhebliche Handelsströme mit Mineralölprodukten auf globaler Ebene sind als Ergebnis entstanden. Knappheitsbedingt sind die Preisunterschiede zwischen Benzin und Diesel in den letzten Jahren zunehmend nivelliert worden.

In einem ersten Anpassungsschritt sollte daher für die Mineralölsteuer eine automatische Anpassung an die Inflation eingeführt werden, die zunächst den Steuersatz in realen Preisen sichert.

In einem zweiten Anpassungsschritt sollte die Höhe des Mineralölsteuersatzes für Dieselmotoren (auf Basis des jeweiligen Energieinhalts) an die Höhe des Steuersatzes für Ottomotoren angepasst werden, so dass die Verzerrungen in Bezug auf die CO₂-Emissionen abgebaut werden (die energiebezogenen CO₂-Emissionsunterschiede zwischen Diesel- und Ottomotoren sind mit maximal 3 % nicht signifikant).

In einem dritten Anpassungsschritt sollte die Mineralölsteuer so erhöht werden, dass im Jahr 2020 für konventionellen Ottokraftstoff ein realer Preis von 2,00 €/l und im Jahr 2030 ein Preis von 2,50 €/l entsteht. Die entsprechenden Dieselsteuersätze würden sich dann auf Basis des Energieinhalts ergeben. Im Vergleich zum für die Szenarienentwicklung unterstellten Preisniveau (vgl. Kapitel 3.2) entspricht dies einer Preissteigerung von 25 % im Jahr 2020 bzw. 39 % in 2030. Mit solchen Preisniveaus könnten die aus massiven Effizienzsteigerungen auf der Fahrzeugseite entstehenden Rebound-Effekte vermieden und leichte zusätzliche Verkehrsvermeidungen bzw. –verlagerungen abgesichert werden (Öko-Institut 2009).

9.7.7 Erhöhung des Biokraftstoffanteils bei gleichzeitiger Einführung von hohen und verlässlich überprüfbaren Nachhaltigkeitsstandards

Die Szenarien- und Variantenanalysen haben gezeigt, dass für alle Einsatzbereiche im Rahmen eines 95 %-Minderungsziels neben allen Anstrengungen zur massiven Verbesserung der Energieeffizienz (weitgehend) emissionsfreie Energieträger eingeführt werden müssen, die für den Zeithorizont 2050 den ganz überwiegenden Teil des verbleibenden Energiebedarfs decken müssen.

Im Verkehrssektor ergeben sich diesbezüglich zwei unterschiedliche Entwicklungspfade. Einerseits kann die Elektrifizierung des Verkehrssektors in einigen Bereichen massiv vorangetrieben werden (Verlagerung auf den Schienenverkehr mit elektrischer Traktion, Elektrofahrzeuge im motorisierten Individualverkehr etc.), andererseits verbleiben Bereiche, in denen es absehbar keine flächendeckende Alternative zu flüssigen Kraftstoffen gibt (Teile des motorisierten Individualverkehrs für Langstrecken, Straßen-Güterverkehr, Luftverkehr, Binnenschifffahrt). Hier sind bis auf Weiteres Biokraftstoffe auf Grundlage strenger Nachhaltigkeitsanforderungen erzeugter Biomasse sowie mit hoch effizienten Umwandlungstechnologien und ggf. in Kombination mit CCS (vgl. Kapitel 7.3.3) der einzige erkennbare Entwicklungspfad.

Die politische Instrumentierung des Einführungspfades für nachhaltige Biokraftstoffe bedarf eines komplexen Ansatzes, d.h.

- der Einbettung in eine umfassende Biomassestrategie;
- der Einbettung in eine konsistente Effizienz-, Vermeidungs- und Verlagerungsstrategie für den Verkehrssektor;
- der Einbettung in eine zielgenaue Innovationsstrategie zur Entwicklung hocheffizienter Biokraftstoffe (in den nächsten Jahren v.a. über den BtL-Pfad);
- der Schaffung wirksamer Rahmenbedingungen und Regelungen zur Sicherung der Nachhaltigkeit der Biokraftstoffversorgung im umfassenden Sinne;
- aber auch eines Instrumentariums zur Einführung der entsprechenden Biokraftstoffe in den Markt.

Bisher werden Biokraftstoffe über die im Biokraftstoffquotengesetz festgelegten Mindestquoten in den Markt gebracht (wobei dieses Gesetz auch zur Umsetzung des in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU (2009/28/EG) festgelegten Ziels für den Einsatz

erneuerbarer Energien Verkehrssektor dient). Der gesamte Biokraftstoffanteil (einschließlich Biomethan als Ersatz für Erdgas beim Einsatz als Kraftstoff) ist bis 2014 für einen Anteil von 6,25 % sicherzustellen. Ab dem Jahr 2015 wird das System von Mengenquoten auf Treibhausgasminderung umgestellt, fortan soll die Netto-Treibhausgasminderung (Biokraftstoffe inklusive Vorketten im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen) 3 % betragen, ab 2017 dann 4,5 % sowie ab 2020 schließlich 7 %.

Grundsätzlich bildet der Treibhausgas-bezogene Ansatz – neben den o.g. Nachhaltigkeitsanforderungen und strategischen Einbettungen – einen geeigneten Ansatz für die Weiterentwicklung des zukünftigen Instrumentariums zur Anteilssicherung nachhaltiger Biokraftstoffe.

Vor dem Hintergrund der komplexen Einbettung dieses politischen Instrumentes ist eine weitere Spezifikation an dieser Stelle nicht möglich. Bei Betrachtung der Modellanalysen für das Innovationsszenario und die zusätzlichen Variantenanalysen im „Modell Deutschland“ ergibt sich jedoch eindeutig die Zielgröße, dass für den Zeithorizont 2030 mit dem Einsatz nachhaltiger Biokraftstoffe spezifische Treibhausgasminderungen in der Größenordnung von 40 % erreicht werden sollten. Dies gilt sowohl für die Biokraftstoffe, die Diesel und Ottokraftstoffe ersetzen wie auch diejenigen Biokraftstoffe, die v.a. Jet-Fuel auf Mineralölbasis ersetzen sollten.

Als eine entscheidende Komplementärmaßnahme müssen die Zulassungsbedingungen für PKW und Lastkraftwagen so angepasst werden, dass ab spätestens 2020 alle Hersteller die jeweiligen Fahrzeuge die Freigabe für eine Reinbetankung mit Biokraftstoffen garantieren. In der Perspektive bis 2030 gilt dies auch für die Hersteller von Motoren und Turbinen für den Einsatz in Fluggeräten.

9.7.8 Einführung eines Tempolimits von 120 km/h auf Autobahnen

Mit zunehmender Geschwindigkeit eines Fahrzeugs steigt der Kraftstoffverbrauch überproportional. Dies ist neben dem linear zunehmenden Rollwiderstand vor allem dem exponentiell ansteigenden Luftwiderstand geschuldet. Ein Tempolimit reduziert dementsprechend insbesondere bei hohen Geschwindigkeiten den Kraftstoffverbrauch und damit die Emissionen erheblich.

Eine langfristige und durchgängige Geschwindigkeitsbegrenzung kann sich zudem positiv auf die Modellpalette der Hersteller von PKW auswirken. Eine international relativ einheitliche Höchstgeschwindigkeit ermöglicht die Optimierung der Modelle hin zu leistungsfähigeren Modellen mit hoher Effizienz. Zudem gehen niedrigere Geschwindigkeiten mit geringeren Festigkeits- und Sicherheitsanforderungen für die Fahrzeuge einher, die erlauben das Gewicht und damit den Verbrauch der PKW weiter zu reduzieren.

Es sollte ein durchgängiges Tempolimit von 120 km/h auf Bundesautobahnen eingeführt werden. Zusätzlich könnte die Geschwindigkeitsbegrenzung durch technische Maßnahmen wie den Einbau von „Speed limiters“ oder die Begrenzung der Leistung von neuen Fahrzeugen unterstützt werden.

Weitere positive Nebeneffekte dieser Maßnahme sind eine höhere Verkehrssicherheit, geringere Lärmbelastung und verminderter Schadstoffausstoß sowie eine effektivere Nutzung der Infrastruktur durch bessere Auslastung der Autobahnen.

9.8 Spezifische Maßnahmen für den Stromsektor

9.8.1 Moratorium für Kohlekraftwerke

Die Stromerzeugung ist der Sektor mit den höchsten absoluten Emissionen in Deutschland und deshalb von besonderer strategischer Bedeutung für die Emissionsminderung. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der Tatsache, dass der Stromsektor durch einen sehr langlebigen Kapitalstock geprägt ist. Deshalb sind frühzeitige und zeitlich sorgsam eingetaktete Maßnahmen hier besonders wichtig.

Die unter den Bedingungen des Gebietsmonopols und der staatlichen Sanktionierung sowie zielgerichteter energiepolitischer Eingriffe (z.B. die Verstromungsgesetze zur massiven Förderung der Kohlverstromung) entstandenen Strukturen können dazu führen, dass zumindest ein Teil der z.B. mit dem Emissionshandel eingeführten Anreizsysteme konterkariert wird.⁴

Angesichts der gravierenden Konsequenzen, die sich aus einem emissions- und kapitalintensiven und vor allem sehr langfristig fixierten Kapitalstock in der Perspektive ergeben und die mit einiger Wahrscheinlichkeit zukünftig einen erheblichen Druck zur Veränderung des Emissionsminderungspfad bzw. Mengenziele im Emissionshandelssystem nach sich ziehen werden, sollte ein Moratorium für den Neubau von Kohlenkraftwerken durchgesetzt werden.

Die Optionen zur Kodifizierung eines solchen Kohle-Moratoriums sind unterschiedlich. Sie reichen von einer freiwilligen Vereinbarung bis hin zu Mindeststandards für Wirkungsgrade oder CO₂-Emissionen. Die Neuerrichtung von Kohlenkraftwerken sollte erst wieder ermöglicht werden, wenn erstens die CCS-Technologie für die Ausrüstung von Neubaukraftwerken kommerziell verfügbar ist, langfristig genügend sichere CO₂-Speicher und die entsprechenden CO₂-Infrastrukturen vorhanden sind (siehe Kapitel 9.9). Der Neubau von Kohlekraftwerken allein mit der Perspektive auf spätere Nachrüstung mit CCS sollte ausgeschlossen werden.

9.8.2 Weiterentwicklung des EEG und der Rahmenbedingungen für Erneuerbare Energien

Bis zum Jahr 2050 wird zur Erreichung des 95 %-Minderungsziels ein Großteil der Stromproduktion durch erneuerbare Energien abgedeckt werden müssen. Ohne eine massive Ausweitung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (auch für den Fall, dass gewisse Anteile der Stromerzeugung noch durch CCS-Kraftwerke abgedeckt werden sollen oder müssen) ist das Emissionsminderungsziel von 95 % nicht zu erreichen.

⁴ So lange beispielsweise die Großhandelspreise im deutschen Strommarkt – aus den genannten historischen – Gründen von älteren Kohlekraftwerken (als Preis setzende Grenzkraftwerke) bestimmt werden, ist das Risiko aus steigenden oder volatilen Preise für CO₂-Zertifikate für neue Kohlenkraftwerke gering. Eine durch höhere Emissionen oder andere Rahmendaten verursachte Erhöhung der CO₂-Preise oder das Risiko volatiler CO₂-Preise führt in einer solchen Marktsituation für neue Kraftwerke bei isolierter Betrachtung zwar auch zu höheren Kostenrisiken. Die scheinbar höheren Kostenrisiken werden jedoch über die Einpreisung der CO₂-Zertifikate bei den Marktpreis setzenden Kraftwerken (mit niedrigerer Effizienz und damit höheren CO₂-Kosten) und die damit entstehenden Strompreiseffekte über zusätzlichen Stromerlöse mehr als kompensiert.

Die massive Ausweitung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erfordert eine Reihe von flankierenden Maßnahmen, die heute vor allem durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) umgesetzt werden. Zu den zentralen Funktionalitäten des EEG gehören erstens die vorrangige Abnahme regenerativ erzeugten Stroms, zweitens die Gewährleistung einer hohen Investitionssicherheit durch Garantiepreise sowie drittens die Schaffung von Innovationsanreizen durch eine entsprechende Degression der Vergütungen.

Neben diesen drei Basisfunktionen sollte mit diesem Instrument zumindest auf mittlere Frist ein weiteres Ziel verfolgt werden: die effizientere Nutzung der Ressource Biomasse. Zumindest so lange die Biomasse in der Stromerzeugung noch eine Rolle spielen soll (was angesichts der o.g. Priorisierung nur noch für begrenzte Zeit angestrebt werden kann) sollte die Biomasseverstromung über das EEG nur noch für die Stromerzeugung in Anlagen der **Kraft-Wärme-Kopplung** mit hohen elektrischen Wirkungsgraden gefördert werden, wobei sowohl die direkte Nutzung von Biomasse als auch die (bilanzielle) Nutzung von in die Gasnetze eingespeisten Bio-Methan förderfähig wäre.

In einem Stromsystem mit einem sehr hohen Anteil von fluktuierenden, erneuerbaren Energien (Wind, Fotovoltaik) werden weiterhin bei der Flankierung erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung zusätzliche Funktionalitäten an Bedeutung gewinnen:

- Stromerzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien müssen ein höheres Potenzial an **Regelfähigkeit** erreichen. Vor diesem Hintergrund sollte das EEG so weiterentwickelt werden, dass Innovationen im Bezug auf Regelfähigkeit und höhere Volllaststunden für Wind und Sonne frühzeitig angereizt werden (Windkraftanlagen können z.B. durch größere Turmhöhen und ein besseres Verhältnis von Rotorfläche zu installierter Leistung höhere Volllaststunden erreichen). Für Technologien, die keinen innovativen Beitrag für die Steuerbarkeit eines Stromsystems mit einem hohen Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien liefern (z.B. für Windkraftanlagen mit geringen Volllaststunden in Norddeutschland), sollte die Degression der Einspeisevergütungen stärker ausgestaltet werden.
- Die **Speicherkapazitäten** des Gesamtsystems werden erheblich an Bedeutung gewinnen. Speicherfunktionen können dabei als indirekte Speicher über einen deutlich verstärkten und großräumigen Netzverbund oder aber über direkte Speichertechnologien bereitgestellt werden.

Für die zukünftige Marktintegration der erneuerbaren Energien ist das Marktdesign des Strommarktes von zentraler Bedeutung. Bisher bildet sich der Marktpreis für Strom an einer Strombörse je nach Angebot und Nachfrage für jede Stunde eines Tages. Derzeit gibt es in jedem europäischen Land eine eigene Strombörse. Viele erneuerbare Stromerzeugungstechnologien zeichnen sich durch sehr niedrige variable Kosten aus (z.B. Windkraft und Photovoltaik). Dies wird in Zukunft tendenziell dazu führen, dass die Preise immer dann niedrig sind, wenn das Angebot von z.B. Windstrom groß ist und die Preise dann hoch sind, wenn kein oder wenig Windstrom eingespeist wird.

Um die fluktuierende Einspeisung abzdämpfen und hohe Volatilitäten an der Strombörse zu vermeiden wird es notwendig sein, die Übertragungskapazitäten an den Grenzkuppelstellen massiv auszubauen und ein einheitliches Preissignal in einem möglichst großen Marktgebiet (idealerweise für Europa insgesamt) zu gewährleisten. Dies ermöglicht eine kostengünstige Einbindung der großen Wasserspeicher in Skandinavien und in den Alpen, um die Stromnachfrage zu jeder Stunde zu decken. Um den Bedarf an Regelernergie

für erneuerbare Energien bereitzustellen, ist die Schaffung einer deutschen Regelzone dringend erforderlich. Mittelfristig ist der Zusammenschluss der deutschen Regelzone mit Nachbarländern mit einem komplementären Erzeugungsprofil wie Österreich und Schweiz zu prüfen.

In einem perfekten Markt entstehen in dieser Situation für die Betreiber von Speichern erhebliche Anreize, bei niedrigen Strompreisen den Speicher zu laden und bei hohen Preisen die Speicher zu entladen und die entsprechenden Strommengen zu vermarkten. Die Nachfrage der Speicher würde dann wieder die Strompreise erhöhen und den Betreibern von Windkraftanlagen die Erzielung von Deckungsbeiträgen zur Finanzierung der Kapitalkosten ermöglichen. Voraussetzung für diesen marktbasierten Mechanismus ist jedoch ein funktionierender und sehr liquider Speichermarkt. Hier können – komplementär zur langfristigen Überführung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den Wettbewerbsmarkt – ggf. flankierende Maßnahmen im Rahmen der Infrastrukturentwicklung notwendig werden.

Zusätzlich müssen aber auch auf der Nachfrageseite Flexibilitätspotenziale erschlossen werden. Gerade Großverbraucher von Strom werden hier eine wesentliche Rolle spielen können. Um die stromintensive Industrie auf diese neue Aufgabe vorzubereiten, sollten die Ausnahmen für diese Industriezweige im EEG, im KWK-G, bei der Ökosteur und in Zukunft auch im Emissionshandel daran gekoppelt werden, dass sie mit flexiblem Lastmanagement einen Beitrag zur Integration der erneuerbaren Energien leisten.

Für die mittlere Perspektive sollte ein umfassendes Monitoring-Programm initiiert werden, mit dem die realen Marktfunktionalitäten und die möglicherweise durch andere Rahmenbedingungen (Planungsrecht etc.) z.B. mit Blick auf den Ausbau der (notwendigen) Speicherkapazitäten sowie der möglichen Refinanzierung von Investitionen über die Strombörsen systematisch ausgewertet werden können. Alternativen, wie z.B. die Schaffung von über staatliche Regulierung initiierten Märkten für Kraftwerks- oder Speicherkapazitäten sollten analytisch vorbereitet und entwickelt werden, um sie im Bedarfsfall auch kurzfristig umsetzen zu können.

9.9 Innovations- und infrastrukturspezifische Maßnahmen

9.9.1 Überarbeitung und Erweiterung der deutschen Biomassestrategie

Die Nutzung von Biomasse bildet einen wichtigen und unverzichtbaren Pfeiler für die Erreichung der ambitionierten Klimaschutzziele. Gleichzeitig ist Biomasse für die energetische Nutzung eine begrenzte Ressource und mit Blick auf eine ganze Bandbreite ökologischer Fragen (von Treibhausgaseffekten bis hin zur Biodiversität) hoch sensibel.

Vor diesem Hintergrund ist eine integrierte Entwicklung der Biomassenutzung eine zentrale Aufgabe zukünftiger Energie- und Klimaschutzpolitik. Der Rahmen hierfür ist in einer neu strukturierten Biomassestrategie für Deutschland abzustecken, die sich im Kontext des 95 %-Minderungsziels teilweise neuen Herausforderungen stellen muss:

- In welchen Bereichen ist der Biomasseeinsatz in der längeren Perspektive alternativlos, wo müssen deshalb die Entwicklungsschwerpunkte (Biokraftstoffe für Güter- und Luftverkehr, Einspeisung von Bio-Methan für industrielle Anwendun-

gen) gesetzt werden, wie verhalten sich die langfristigen Einsatznotwendigkeiten zu den kurzfristig effizienteren Einsatzgebieten (Stromsektor, dezentrale KWK) und wie können kurz- und mittelfristig kontraproduktive Effekte der Langfristnotwendigkeiten vermieden werden?

- Wie können ggf. Vorrangregelungen (z.B. in Bezug auf den Vorrang von Abfall- und Reststoffnutzung vor dem Energiepflanzenanbau) im Lichte des erreichten technologischen Standes operationalisiert werden?
- Welche Meilensteine müssen für zentrale technologische Innovationen im Bereich der Biomasse gesetzt werden?
- Welche technischen Spezifikationen für Biomasseprodukte müssen für welche Zeithorizonte entwickelt und durchgesetzt werden?
- Welches Verhältnis von einheimischem Biomasseaufkommen, dem Aufkommen aus dem europäischen Raum (Mittel- und Osteuropa) oder den globalen Biomassemärkten kann und soll – auch im Lichte der Nachhaltigkeitsanforderungen für Biomasse – angestrebt werden?
- Wie können hochwertige Nachhaltigkeitsstandards für das Biomasseaufkommen entwickelt und durchgesetzt werden?
- Wie können zentrale Kriterien für die biomassespezifischen Instrumente (z.B. Treibhausgasminderung als Leitgröße für die Einführung von Biokraftstoffen im Verkehr) operationalisiert werden?
- Bei der Erarbeitung der Biomassestrategie sind schließlich auch die Wechselwirkungen zu anderen technisch-strukturellen Entwicklungen (z.B. Mini-KWK) explizit zu berücksichtigen.

Neben den auf die nationale Analyse bzw. Situation orientierten Elementen der Biomassestrategie sollte diese auch um internationale Aspekte erweitert werden. Zentrale Ansatzpunkte sind hier

- verbindliche Schaffung und Durchsetzung von Nachhaltigkeits- und Sozialstandards in multilateralen oder bilateralen Regelungen;
- intensive Prüfung der Möglichkeit, auf dem Weg von Investorenvereinbarungen zu frühzeitigen Spezifikationen und Praxiserfahrungen in Bezug auf Nachhaltigkeitsanforderungen und -Leitplanken zu kommen;
- Wechselwirkungen zwischen Biomasseexporten und einheimischer Versorgung mit Energie und Nahrungsmitteln;
- Auswirkungen auf die Landnutzung und die Konversion von Flächen.

Eine so neu ausgerichtete Biomassestrategie bietet auch die Möglichkeit, auf den verschiedenen und komplexen Handlungsfeldern der Biomassepolitik die notwendige Innovation und Dynamik zu entfalten.

9.9.2 Innovationsprogramm für Biokraftstoffe der zweiten Generation

In Teilbereichen des Verkehrssektors (Güterverkehr, Luftverkehr) ist der Einsatz von Biokraftstoffen für die Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele unverzichtbar.

Gleichzeitig sind die Bilanzen der heute überwiegend eingesetzten Biokraftstoffe in Bezug auf Treibhausgasemissionen und andere ökologische Parameter in keiner Weise ausreichend, um ein signifikantes Segment der Kraftstoffversorgung hinreichend nachhaltig abzudecken.

In diesem Kontext kommt der schnellstmöglichen Bereitstellung großer Mengen von Biokraftstoffen der zweiten Generation eine hohe Bedeutung zu, die auf eine breitere Biomasse-Rohstoffbasis zurückgreifen können.

Hier sind die konsequente Technologieförderung und das frühzeitige Skalieren der Prozesse auf industrielle Maßstäbe unabdingbar. Ein Innovationsprogramm für die Biokraftstoffe der zweiten Generation sollte so ausgerichtet werden, dass im Jahr 2020 die gesamte Biokraftstoffnachfrage durch Biokraftstoffe der zweiten Generation gedeckt werden kann.

9.9.3 Innovations- und Markteinführungsprogramm für Elektrofahrzeuge

Die drastische Ausweitung der Elektromobilität ist in der langfristigen Perspektive eine wesentliche Voraussetzung zu massiven Emissionsminderungen im Personenverkehr, ohne dass erhebliche Mengen an Biomasse eingesetzt werden.

Die Elektromobilität wird aber nur einen Ziel führenden Beitrag zur Emissionsreduktion insgesamt leisten können, wenn erstens die technologische Entwicklung der einzelnen Komponenten und des technischen Systems hinreichend schnell fortschreitet, zweitens die Einführung der Elektromobilität aber gleichzeitig auch zu einem Downscaling der Motorisierung führt.

Hierzu sollte ein Innovations- und Markteinführungsprogramm für Elektrofahrzeuge geschaffen werden, in dem z. B. Anreizprämien in ihrer Höhe auch von der Effizienz der Fahrzeuge abhängig gemacht werden.

9.9.4 Innovationsprogramm zur Entwicklung und Verbreitung intelligenter Verteilungsnetze mit intelligenten Laststeuerungsoptionen

Die Einbindung dezentraler Energieerzeugungsoptionen, wie auch großräumige Verbrauchs- und Lastoptimierungen erfordern eine neue Qualität der Netzoptimierung im Bereich der Übertragungs- und der Verteilernetze. Insbesondere mit dem Aufkommen nennenswerter Anteile von Elektromobilität wird ein intelligentes Lastmanagement alternativlos. Durch kostengünstige Informations- und Kommunikationstechnik wird es zunehmend einfacher, das Preissignal der Strombörse als Anreizsignal an die Kunden weiterzugeben und damit neue Geschäftsmodelle und Systemdienstleistungen zu entwickeln.

Bis zum Jahr 2020 sollten alle Verteilernetze so ausgerüstet sein, dass eine lückenlose Verknüpfung mit Informationsverarbeitungssystemen realisiert werden kann. Einen wichtigen Zwischenschritt bilden die Ausrüstung aller Verbrauchsstellen mit intelligenten Stromverbrauchsählern und die Etablierung standardisierter Informationsschnittstellen bis zum Jahr 2012. Die Kosten dieser Aufrüstung der Netze sollten als Investitionen im Rahmen der Netzregulierung anerkennungsfähig sein.

9.9.5 Schnellstmögliche Umsetzung der CCS-Pilot- und Demonstrationsvorhaben

Die weitgehende Dekarbonisierung von Industriestaaten wie Deutschland erfordert Emissionsvermeidung und –reduktion in allen Sektoren. Die Abscheidung und Einlagerung von CO₂ (Carbon Capture and Storage – CCS) ist ein notwendiger Baustein für eine solch ambitionierte Klimaschutzpolitik.

Bislang konzentriert sich die Diskussion um CCS auf die Stromerzeugung, insbesondere auf Kohlekraftwerke. Die Umsetzung von CCS in der Industrie ist jedoch sinnvoller, da der Energiebedarf hier zumeist niedriger ist und in der Energiewirtschaft andere Vermeidungs- und Effizienzoptionen zur Verfügung stehen. Zudem kann CCS in Kombination mit Biomasseverbrennung als Netto-Senke fungieren. Schließlich kann sich zukünftig auch die Ausrüstung von Kraftwerken auf Erdgasbasis mit CCS-Technologie als notwendig erweisen.

Der klare Fokus der staatlich geförderten CCS-Pilot- und Demonstrationsvorhaben im Bereich der CO₂-Abscheidung sollte deshalb neu auf Industrieprozesse ausgerichtet werden. Bis 2020 sollte jeweils eine Pilotanlage für die Zementherstellung, die Kalkherstellung, die Roheisenerzeugung, die Wasserstofferzeugung, die Erzeugung von Biotreibstoffen, die Biomethanherzeugung und die Stromerzeugung gebaut werden. Dafür stehen auf europäischer Ebene durch eine Regelung im EU-Emissionshandel und aus dem Europäischen Konjunkturpaket ausreichend Mittel zur Verfügung.

Ebenfalls zeitnah muss die Erprobung von CO₂-Speichern begonnen werden. Um die Dichtigkeit unterschiedlicher Speicherformationen einem Praxistest zu unterziehen, sollen mehrere Pilotspeicher mit jeweils einigen 100.000 t CO₂ pro Jahr befüllt werden. Hier sollte bereits jetzt leicht verfügbares CO₂ beispielsweise aus der Bioethanolherstellung verwendet werden.

Um diese Ziele zu erreichen, sollten die für CCS vorgesehenen Förderprogramme auf europäischer Ebene so ausgestaltet und genutzt werden, dass eine Förderung pro eingelagerte Tonne CO₂ erfolgt. Für jede Abscheidungstechnologie sollten Mittel bereit gestellt werden. Um Anreize für eine schnelle Speichererprobung zu setzen sollte die Förderung – wie im EEG – degressiv ausgestaltet werden.

9.9.6 Erarbeitung eines „Deutschen CCS-Entwicklungsplans“ und eines Rechtsrahmens für CCS

Um die sinnvolle Bewirtschaftung der begrenzten Speicherkapazitäten für CO₂ sicherstellen zu können, wird der zukünftig erwartete Klimaschutzbeitrag von CCS für die ganze Breite der für CCS in Frage kommenden CO₂-Quellen (Stromwirtschaft, Industrieprozesse, Biomassewirtschaft) spezifiziert werden müssen.

Neben einer Bestandsaufnahme der für die CO₂-Speicherung geeigneten geologischen Formationen ist die Eingrenzung dieses Lösungsbeitrages eine zentrale Aufgabe eines „Deutschen CCS-Entwicklungsplans“.

Die dafür notwendigen Arbeiten sollten mit einem breit angelegten Aufklärungsprozess für den CCS-Technologieverbund gekoppelt werden. Information, höchste Sicherheitsstandards, faire Adressierung von (ober- und unterirdischen) Nutzungskonkurrenzen im weitesten Sinne (z.B. mit der geothermischen Nutzung oder dem Bau von Gas- oder Druckluftspeichern) und ein regionaler Interessenausgleich sind hier die zentralen Punkte. Die Systematisierung und Bewertung der CO₂-Speicherpotenziale ist dafür ein notwendiger erster Schritt.

Die Entwicklung einer konkreten Vision für den erforderlichen Infrastrukturausbau – letztlich analog zu den entsprechenden Arbeiten im Bereich der Hochspannungsnetze für Elektrizität – ist notwendig, um die genannten Prozesse zu integrieren und voranzutreiben.

Die ersten Infrastrukturprojekte für den CO₂-Transport sollten dementsprechend so ausgelegt werden, dass sie für mehr als die in den ersten Demonstrationsprojekten anfallenden CO₂-Mengen ausreichen. Das Risiko hinsichtlich der CO₂-Mengen und des Zeitpunkts der Inanspruchnahme von Transportdienstleistungen könnte durch eine (teil-) öffentliche Trägerschaft, ein Refinanzierungsmodell auf Basis von Netznutzungsentgelten und flankierende Ausfallbürgschaften hinreichend kompensiert werden.

Für CCS muss ein regulatorischer Rahmen geschaffen werden, der die als nächster Schritt erforderliche Umsetzung von Demonstrationsprojekten für den gesamten Technologieverbund ermöglicht und befördert. Im Kontext der Demonstrationsprojekte und des bestehenden Konsolidierungsbedarfs in Bezug auf das notwendige Wissen sowie der bestehenden Lücken mit Blick auf Institutionen und Instrumente darf dieser regulatorische Rahmen nicht prohibitiv angelegt werden. Er muss aber der in der Demonstrationsphase besonders hohen Dynamik des Wissens- und Erfahrungszuwachses Rechnung tragen.

Der regulatorische Rahmen muss angesichts der Komplexität des Technologieverbundes so angelegt werden, dass in der Demonstrationsphase belastbare Erfahrungen mit Blick auf den regulatorischen Rahmen, die Institutionen und Prozeduren gewonnen und entsprechende (Markt-)Entwicklungen (Versicherungsprodukte, Begutachtung/Zertifizierung etc.) angestoßen werden können. Nur so können im Fall einer breiteren kommerziellen Nutzung der CCS-Technologie der Schutz von Umwelt und Gesundheit langfristig garantiert und entstehende wirtschaftliche Belastungen fair zugeordnet werden, ohne dass es zu – klimapolitisch unakzeptablen – Verzögerungen kommt.

Der regulatorische Rahmen muss sowohl kurzfristig (Phase der Demonstrationsprojekte) als auch längerfristig (für die Phase der kommerziellen Nutzung) die entstehenden Nutzungskonflikte lösen. Für die begrenzte Zahl der Demonstrationsprojekte sind einzelfall-

bezogene Lösungsansätze tragfähig, in der längerfristigen Perspektive wird es hier umfassender Regelungen bedürfen.

In der weiteren Perspektive sollte das Regulierungssystem für die zu schaffenden CO₂-Netze ökonomische Anreize dafür bieten, das abgeschiedene CO₂ über möglichst kurze Entfernungen zu transportieren.

9.9.7 Erarbeitung eines „Deutschen Energie-Infrastruktur-Umbauprogramms“

Alle Strategien zur Erreichung der langfristigen Minderungsziele bedingen einen massiven Umbau der verschiedenen Infrastrukturbereiche.

Die Integration dieses Umbaus und die Schaffung des notwendigen regulatorischen Rahmens sollten in einem „Deutschen Energie-Infrastruktur-Umbauprogramm“ gebündelt werden. Zentrale Elemente dieses Programms sind:

- Erarbeitung von Varianten für die notwendigen Um- und Ausbaumaßnahmen der Transport- und Verteilungsnetze für Strom, Gas, CO₂ (im Kontext der CCS-Technologie) und den Schienenverkehr, Identifikation der Interaktionen und Unsicherheiten und robuster Entwicklungsvarianten, einschließlich von Sonderaspekten wie Bio-Methan-Einspeisung, langfristige Erweiterung von Verbundnetzen mit Blick auf den langfristigen Speicherbedarf;
- Erarbeitung von Infrastruktur-Roadmaps zur Einordnung der Wechselwirkungen der einzelnen Elemente der Klimaschutz- und Energiestrategie mit den verschiedenen Komponenten der Infrastruktur;
- Identifikation der Infrastrukturbereiche, die als öffentliches Gut oder im Bereich der Daseinsvorsorge einer besonderen Rolle der öffentlichen Hand bedürfen.

Parallel und auf Basis des Infrastruktur-Programms sollten im Bereich der Regulierung die Voraussetzungen geschaffen werden, dass erstens die notwendigen Investitionen in die Infrastrukturen – auch wenn sie unter Unsicherheit und mit langen Vorlaufzeiten vorangetrieben werden müssen – durch die Infrastruktur-Regulierung kostenseitig anerkannt werden. Zweitens müssen die Regulierungsbehörden den Auftrag und die Kompetenzen erhalten, dass im Rahmen der Umstrukturierungsplanung als unverzichtbar identifizierte Projekte mit hoher Verbindlichkeit fristgerecht umgesetzt und ggf. entsprechende Interventionen ermöglicht werden.

Vor diesem Hintergrund sollte das Aufgaben- und Kompetenzspektrum der Infrastruktur-Regulierungsbehörden – im deutschen wie auch im europäischen Rahmen – dahin gehend erweitert werden, dass sie sich der Planung und Umsetzung des klimapolitisch gebotenen, mit langem Vorlauf und ggf. mit nicht unerheblichen Unsicherheiten verbundenen Infrastrukturumbaus widmen müssen.

9.10 Maßnahmen im Bereich der Industrieprozesse

9.10.1 Verbindliche Einführung von CCS für die prozessbedingten Emissionen in der Stahl-, Zement- und Kalkindustrie

Prozessbedingte CO₂-Emissionen entstehen im Unterschied zu energiebedingten Emissionen nicht durch Verbrennung von fossilen Energieträgern, sondern durch chemisch-physikalische Eigenschaften der eingesetzten Stoffe. Prozessbedingte Emissionen wurden (zu) lange als nicht vermeidbar eingestuft.

Gleichwohl existiert eine Reihe von Optionen, mit denen die prozessbedingten CO₂-Emissionen zurückgeführt werden können:

- Eine fundamentale Option zur Reduktion von Prozessemissionen ist die Substitution von verwendeten Materialien mit hohen Prozessemissionen (z.B. die Beimischung von Flugaschen oder Hüttensand bei der Zementproduktion um den Klinkeranteil zu reduzieren; im Stahlsektor senkt eine Erhöhung des Recyclinganteils die Emissionen).
- Die sehr emissionsintensive Produktion von Wasserstoff als Ausgangsstoff für viele chemische Produkte kann auf die Basis erneuerbarer Energiequellen umgestellt werden.
- Die verbleibenden CO₂-Emissionen können mit CCS-Technologie in geologische Formationen verbracht werden.

Für die prozessbedingten CO₂-Emissionen der Zement-, Kalk- sowie der Eisen- und Stahlindustrie sollte deshalb spätestens ab 2030 der Einsatz von CCS verbindlich vorgeschrieben werden, wenn das Emissionshandelssystem bis dahin keine flächendeckende Durchsetzung dieser Technologie bewirkt.

9.10.2 Maßnahmenpaket für fluoridierte Treibhausgase

Die fluoridierten Treibhausgase gehörten in der Vergangenheit zu einer der wenigen Quellgruppen mit steigenden Emissionen. Sie werden als Treibgas, Kühl- oder Feuerlöschmittel verwendet. Fluoridierte Gase zeichnen sich durch ihr besonders hohes Treibhauspotenzial aus. Es ist für die einzelnen Gase sehr unterschiedlich und liegt um den Faktor 100 bis 15.000 über der Treibhauswirkung von CO₂. Bisher sind die Maßnahmen in dieser sehr heterogenen Quellgruppe durch Selbstverpflichtungen und ein moderates Ordnungsrecht geprägt. Die europäische F-Gas Verordnung (EG 842/2006) zielt auf eine Reduzierung der Leckagen aus Kälteanlagen durch höhere Anforderungen an die Ausführung und Wartung dieser Anlagen ab.

Das Maßnahmenpaket zur Minderung der fluoridierten THG beinhaltet ordnungsrechtliche Vorgaben wie ein Verbot des Einsatzes von F-Gasen als Kältemittel ab 2015 sowie eine Besteuerung des Einsatzes von F-Gasen, wobei sich die Höhe der Steuer am Treibhausgaspotenzial der einzelnen Gase bemisst.

Die Leckagen von teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (H-FKW) aus Klimaanlage in allen Fahrzeugtypen sind bauartbedingt besonders hoch, zugleich ist eine Substitution mit natürlichen Kältemitteln möglich. Der Einsatz von H-FKW in mobilen Kälteanlagen sowie bei PU-Schaumprodukten (Bauschaum), bei XPS-Hartschäumen und bei Aerosolen (Dosier- und technische Aerosole) sollte verboten werden.

Die ordnungsrechtlichen Verbote müssen durch eine Bepreisung in Anwendungen von F-Gasen unterstützt werden. Das Preissignal sollte entweder durch die Einführung einer Steuer für den Einsatz dieser sehr schädlichen Treibhausgase oder über eine Einbeziehung in das EU-Emissionshandelssystem gewährleistet werden, wobei eine Einbeziehung auf der Ebene der Produzenten, Importeure oder der Emittenten stattfinden könnte. Durch das hohe Treibhausgaspotenzial wirkt ein Preissignal besonders stark und wird technische Innovationen hervorrufen. Dadurch wird es wirtschaftlich, Substitute für diese F-Gase zu entwickeln und einzusetzen.

9.11 Abfallwirtschaftliche Maßnahmen

9.11.1 Förderung der Abfallvermeidung

Die Förderung von Abfallvermeidung und –verwertung sowie des sparsamen Materialeinsatzes für energieintensive Produkte sollte im Rahmen der existierenden Regelungen deutlich ausgeweitet und intensiviert werden.

9.11.2 Spezielle Maßnahmen zur Förderung der energetischen Verwertung

Die energetische Verwertung von organischen Abfallbestandteilen hat im Kontext einer langfristigen Emissionsminderungsstrategie eine besonders hohe Priorität. Insbesondere die Vergärung von Biomasse muss vor dem Hintergrund der knappen Biomasseressourcen sowie des zukünftig deutlich steigenden Bedarfs an Bio-Methan in den Vordergrund gerückt werden.

Die Behandlung und Verwertung von organischen Abfällen mit anderen Verfahren als der Vergärung sollte daher ordnungsrechtlich nur noch zugelassen werden, wenn eine Nutzung des Abfalls zur Produktion von Bio-Methan technisch nicht möglich ist.

9.12 Landwirtschaftliche Maßnahmen

9.12.1 Initiierung des Maßnahmenpaketes Klimaschutz und Gesundheit zur Reduktion des Viehbestandes in Deutschland

Die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft resultieren knapp zur Hälfte aus der Tierhaltung, wobei Rinder zur Milch- und Rindfleischproduktion die bedeutendste Emittentengruppe sind. Weitere signifikante CH₄- und N₂O-Emissionen stammen aus der Schweine- und Geflügelhaltung zur Fleisch- und Eierproduktion.

Die deutsche Bevölkerung ist mit Energie- und Proteinzufuhr aus tierischen Lebensmitteln überversorgt (und dadurch auch hohen gesundheitlichen Risiken ausgesetzt). Der Fleischverzehr liegt gegenwärtig bei ca. 60 kg pro Person und Jahr; die aus gesundheitlicher Sicht optimale Menge wird dagegen bei etwa 20 kg pro Person und Jahr veranschlagt. Der Konsum tierischer Produkte könnte ohne Einschränkungen und ggf. sogar mit dem Nebeneffekt verminderter gesundheitlicher Risiken bis zum Jahr 2050 sukzessive auf einen Wert von etwa 20 kg sinken.

Die geringeren Verzehrsmengen an tierischen Produkten können zu einer deutlichen Reduktion der Tierbestände in Deutschland führen, wobei der volle Selbstversorgungsgrad der einheimischen Bevölkerung gewährleistet bleiben kann. Daraus resultiert eine starke Verringerung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen. Dies kann erreicht werden durch das Maßnahmenpaket „Klimaschutz und Gesundheit“, bestehend aus

- Informationskampagnen, in denen die Bevölkerung sowie die Gastronomie auf die Klimaeffekte der Überversorgung mit tierischem Fett und Eiweiß hingewiesen, der Kontext zu gesundheitlichen Risiken hergestellt und zugleich Perspektiven für ein gesundes Ernährungsprogramm aufgezeigt werden;
- Motivationskampagnen, die öffentliche Kantinen in Kindergärten und Kindertagesstätten, Schulen und Hochschulen, Behörden und Ministerien anregen sollen, überwiegend Gerichte anzubieten, die nicht aus tierischen Produkten bestehen;
- mengen- und/oder preisbezogenen Instrumenten, die über Preissignale zu reduziertem Fleischkonsum führen;
- ordnungsrechtlichen Beschränkungen des Viehbestandes je Fläche und/oder steuerlichen Anreizmaßnahmen, die den Viehbestandsabbau für die Landwirtschaft attraktiv machen.

Neben den genannten Maßnahmen können jedoch auch Innovationsanstrengungen zur Erzeugung von hochwertigen Nahrungsmitteln aus pflanzlichen Rohstoffen (die dem Eiweiß tierischer Herkunft nahe kommen bzw. entsprechen) ein zusätzliches Element für ein integriertes Paket zur Minderung der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen aus der Nachfrageperspektive bilden.

9.12.2 Integration der Umwandlungsprozesse für die frei werdenden landwirtschaftlichen Nutzflächen in das Maßnahmenpaket Flächentransformation

Der Viehbestandsabbau führt dazu, dass Teile der bisher zur Futtergetreideproduktion genutzten landwirtschaftlichen Flächen anders genutzt werden. Während dieser Umwandlungsprozesse sollte die Landwirtschaft durch finanzielle Anreizmaßnahmen animiert werden zur Förderung der

- Ausweitung des ökologischen Landbaus;
- Ausweitung der nachhaltigen Energiepflanzenproduktion (Biomasse);
- Ausweitung einer nachhaltigen, heimischen Eiweißfuttermittelproduktion;

- Flächennutzung als Überschwemmungsgebiete für den Hochwasserschutz;
- Integration von ökologischen Vorrangflächen in Ackerbaugebieten (Naturschutz).

Durch die Ausweitung des ökologischen Landbaus und der Energiepflanzenproduktion können die landwirtschaftlichen Treibhausgase weiter verringert werden.

In ökologischen Betrieben werden Tiere nahezu ausschließlich mit betriebseigenen Futtermitteln versorgt, wodurch der Energieverbrauch sinkt. Außerdem ist ökologischer Landbau besonders umweltfreundlich, schützt Boden und Trinkwasser und vermeidet Rückstände von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln in Lebensmitteln.

Durch den Ausbau einer nachhaltigen Energiepflanzenproduktion auf einem Teil der frei werdenden Flächen kann das Potenzial an Biomasse zur energetischen Nutzung als fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoff erheblich gesteigert werden. Dadurch können verstärkt fossile Energieträger im Verkehr sowie in der Strom- und/oder Wärmeproduktion ersetzt werden.

Die Umnutzung landwirtschaftlicher Flächen als Überschwemmungsgebiet für den Hochwasserschutz und Naturschutzgebiete führt zu verringerten N₂O-Emissionen, da auf diesen Flächen vollständig auf eine Düngung verzichtet wird.

9.12.3 Ordnungsrechtliche Regelung der gasdichten Lagerung von Gülle und Fördermaßnahmen zur Verstärkung der energetischen Verwertung von Gülle sowie von Ernterückständen in Biogasanlagen

In der Tierhaltung werden CH₄-und N₂O-Emissionen aus den Ausscheidungen der Tiere (als Gülle, Jauche oder Festmist) im Stall oder in Lagerbehältern während der Lagerungsdauer, bis zur Verwertung beispielsweise als Dünger auf landwirtschaftlichen Böden, freigesetzt. Bei den Genehmigungsverfahren zum Bau von Flüssig- und Festmistlagern steht bisher hauptsächlich die Dichtheit der Anlagen zum Schutz von Boden und Wasser im Vordergrund. Im Falle der Gülle in Außenlagern ist es mitunter mit sehr einfachem und kostengünstigem Aufwand möglich, die Ausgasung von CH₄-und N₂O zu unterbinden. Durch ordnungsrechtliche Regelungen sollten landwirtschaftliche Betriebe verpflichtet werden, eine gasdichte Abdeckung der Gülle vorzunehmen. In den Fällen, in denen dafür Umbaumaßnahmen erforderlich sind, sollten die Landwirte auf Fördermaßnahmen zurückgreifen können. Für Festmistlager müssen gasdichte Abdeckungen entwickelt werden. Allerdings sind zumindest in größeren Tierhaltungsbetrieben mit Festmistlagern auf befahrbaren Betonplatten einfache Lösungen zur Abdeckung denkbar, mit denen auch bereits vorhandene Lager nachgerüstet werden können. Hierfür sollten von staatlicher Seite Modellprojekte zur Erprobung geeigneter Abdeckungen initiiert werden.

Eine weitere besonders wirksame Maßnahme zur Reduktion der CH₄-Emissionen aus dem Wirtschaftsdünger stellt die Fermentation von Gülle und Festmist in Biogasanlagen dar. Dies wird bereits im EEG mit einem speziellen Bonus gefördert. Am effektivsten ist die Nutzung von Biogas in Blockheizkraftwerken zur gleichzeitigen Produktion von Wärme und Strom. Falls in unmittelbarem Umfeld der Biogasanlage zu wenig Wärme-Abnehmer vorhanden sind, sollte die Möglichkeit der Errichtung eines Nahwärme-Netzes geprüft werden. Bei größeren Biogasanlagen sollte die Förderung über das EEG durch eine För-

derung zur Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität (Biomethan) und dessen Einspeisung in das Erdgasnetz substituiert werden.

Die in den Biogasanlagen als „Abfallprodukt“ entstehenden Gärreste sollten als hochwertige Wirtschaftsdünger auf den Feldern ausgebracht werden. Durch die Vergärung enthalten die Gärreste Ammonium, das stabiler ist als Nitrat und daher langsamer zersetzt wird. Geringere N₂O-Emissionen sind die Folge. Allerdings tritt aus den Gärresten weiterhin Methan aus, weshalb auch die Gärrestelager von der Verpflichtung und ggf. der Förderung einer gasdichten Abdeckung erfasst werden müssen.

9.12.4 Erhöhung des Anteils des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche auf 25 % bis spätestens 2030

Der ökologische Landbau kann einen wichtigen Beitrag zur Verringerung der Treibhausgasemissionen liefern, da die spezifischen Treibhausgasemissionen hier niedriger sind als im konventionellen Anbau. Entsprechend des Fortschrittsberichtes 2008 zur nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung sollte der Anteil der Anbaufläche für ökologischen Landbau an der landwirtschaftlichen Nutzfläche von 5,1 % im Jahr 2007 schrittweise auf 20 % in 2020 und auf 25 % in 2030 ausgeweitet werden. Dies führt zu einer anteiligen Reduktion der Produktion und des Einsatzes synthetischer Düngemittel und der damit verbundenen Emissionen. Die im ökologischen Anbau verpflichtende Humuswirtschaft führt zu einem verbesserten Humusgehalt im Boden. Eine höhere Kohlenstoffbindung ist die Folge.

Die Umstellung auf ökologischen Landbau soll durch entsprechende Förderprogramme mit höheren Anreizen versehen werden.

9.12.5 Initiierung eines Maßnahmenpaketes Düngermanagement

Mit dem Ziel, langfristig die Gemeinsame Agrarpolitik der EU (GAP) auf eine klimaverträgliche Landwirtschaft auszurichten, werden Instrumente und Maßnahmen initiiert, die zum einen die Vergabe von Fördermitteln an Leistungen für den Klimaschutz knüpfen und zum anderen den Klimaschutz in der Landwirtschaft in rechtliche Regelungen einbinden.

Die Höhe der N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden hängt insbesondere von der Menge des eingebrachten Düngers ab. Zur Erhöhung der Stickstoffeffizienz werden Förderinstrumente für ein verbessertes Düngungsmanagement eingerichtet. Eine Reduzierung der Düngereinsatzrate wird erreicht über eine Förderung bei Begrenzung von Applikationsraten und Verwendung von Applikationstechniken, die eine Regulierung der Düngermenge je Flächeneinheit ermöglichen („precision farming“, Injektionsverfahren, Cultan). Zudem wird der Einsatz von langsam wirkenden Düngern berücksichtigt. Die Verpflichtung zur fachgerechten Düngung gemäß Düngeverordnung (z.B. das zeitliche Ausbringungsverbot von Düngemitteln in der Winterperiode, § 4 (5)) sollte bei allen zukünftigen Formen der EU-Agrarförderung sanktionsrelevant werden.

Die Reduzierung von Stickstoffüberschüssen sollte über eine Verteuerung des Stickstoffeinsatzes erreicht werden; es sollte eine entsprechende Abgabe eingeführt werden. Die Abgabe auf Stickstoffüberschüsse kann auf betrieblicher Ebene erhoben werden und soll-

te den Gesamtbilanzüberschuss auf 80 kg Stickstoff (N) pro Hektar und Jahr bis 2010 beschränken. Die Minderung von derzeit circa 110 kg N pro ha und Jahr ist auch Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie 2008 der Bundesregierung. In einer zweiten Stufe sollte der Stickstoffüberschuss auf 40 kg N pro ha und Jahr bis 2020 beschränkt werden. Die Einnahmen aus der Abgabe sollten zur Förderung von einem verbesserten Düngemanagement, Ausbildung der Landwirte und zur Forschung eingesetzt werden.

9.13 Maßnahmen im Bereich der Landnutzung

9.13.1 Förderung von Maßnahmen in der Forstwirtschaft, die auf eine nachhaltige Waldbewirtschaftung und den Erhalt bzw. die Erhöhung der Senkenwirkung des Waldes abzielen

Mit der Entscheidung zur Anrechnung der Waldbewirtschaftung unter dem Kyoto-Protokoll als zusätzliche Maßnahme zur Erreichung der Treibhausgasemissionsminderungsziele ist die Generierung von so genannten Waldsenkenzertifikaten möglich. Die Beteiligung der Forstwirtschaft an diesem potenziellen Nutzen ist an die Förderung des Waldes und dessen Senkenleistung gebunden.

In gleicher Weise sollten Förderinstrumente für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung eingerichtet werden, die auf den Erhalt der Kohlenstoffvorräte im Waldbestand abzielen. Eine Erhöhung der Senkenbestände kann erreicht werden über einen klimagerechten Waldumbau (Diversifizierung und Stabilisierung der Waldbestände, Anbau standortheimischer Baumarten), Aufforstung unter Berücksichtigung einer Förderung von natürlichen Waldgesellschaften sowie Bewirtschaftungsmaßnahmen, die an Marktbedingungen und Naturschutzziele geknüpft sind. Des Weiteren sollten Baustoffe, die mit signifikanten Treibhausgasemissionen her- und bereitgestellt werden, soweit wie möglich durch nachhaltig gewonnenes Holz ersetzt und auch das Potenzial von nachhaltig gewonnenem Holz für die Energieerzeugung so weit wie möglich ausgeschöpft werden.

9.13.2 Ordnungsrechtliche Beschränkung der Umwandlung von unversiegelten Flächen

Entsprechend des Ziels der Bundesregierung soll der Flächenverbrauch – d.h. die Umwandlung von unbebauten Flächen in Wohn-, Verkehrs- und Wirtschaftsflächen – von derzeit ca. 110 ha/Tag auf 30 ha/Tag bis 2020 reduziert werden. Hierfür sollte eine ordnungsrechtlich festgelegte Minderung der Entwaldungsrate vorgesehen werden, die sich aus dem Anteil des Waldes an Flächen, die der Umwandlung unterliegen, ergibt.

9.13.3 Initiierung eines Maßnahmenpaketes Flächentransformation

Zur Reduzierung von Flächen mit organischen Böden, die unter ackerbaulicher Nutzung stehen und zur Minderung der Entwässerung von organischen Grünlandböden, sollte ein Bündel von Instrumenten und Fördermaßnahmen initiiert werden, mit dem die Vergabe

von Fördermitteln an Leistungen für den Klimaschutz geknüpft wird. Hierunter fällt die Renaturierung solcher Flächen mit anschließender Moorumnutzung.

Zudem sollten Anreize für Nutzungsalternativen eingerichtet werden. Die Paludikultur (Sumpf, Morast) als standortgerechte Landnutzung kann über den Anbau von Schilf auf Niedermoor zur Gewinnung von Energiebiomasse eine Übertragung von EU-Agrarfördermitteln ermöglichen.

9.13.4 Verschärfung der Regelungen zum Flächenschutz als Voraussetzung für Zahlungen im Rahmen einer neuen EU-Agrarpolitik

Mit dem Ziel, langfristig die Agrarpolitik der EU auf eine klimaverträgliche Landnutzung auszurichten, sollte die Sicherung von Grünland in rechtlichen Regelungen verstärkt werden. So könnte der verpflichtende Erhalt von Dauergrünland Voraussetzung für den Erhalt von EU-Agrarfördermitteln werden. Sanktionen bei ausbleibender Sicherung des bestehenden Grünlandanteils für die Beihilfeanträge „Flächen“ nach VO 1782/2003 (EG) im Rahmen der Cross Compliance sollten erhöht werden.

Eine weitere Reduktion des Grünlandumbruchs kann über das Ziel der deutschen Biodiversitätsstrategie erreicht werden. Hiernach sollte der Flächenanteil naturschutzfachlich wertvoller Agrarbiotope, wie z.B. hochwertiges Grünland bis 2015 um mindestens 10 % gegenüber 2005 erhöht werden.

10 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit einer – auch ambitionierten – Fortschreibung heutiger Energie- und Klimaschutzpolitik, einer Fortschreibung der heute üblicherweise eingesetzten Technologien sowie der derzeitigen Energie- und Ressourcenverbrauchsmuster lässt sich ein Reduktionsziel von 95 % für die gesamten Treibhausgasemissionen bis zur Mitte des Jahrhunderts (im Vergleich zu den Niveaus von 1990) nicht annähernd erreichen. Die im Referenzszenario angenommene Fortschreibung des heutigen Ambitionsniveaus in der Energie- und Klimaschutzpolitik lässt für den Zeitraum von 1990 bis 2050 allenfalls eine Reduktion des Treibhausgasausstoßes von etwa 45 % erwarten.

Ein Emissionsreduktionspfad, der konsistent zu den internationalen Bemühungen ist, die Erwärmung der globalen Mitteltemperatur auf einen Wert von unter 2°C gegenüber den vorindustriellen Niveaus zu begrenzen, erfordert eine Reihe frühzeitiger Weichenstellungen. Die Analysen des Innovationsszenarios und der Zusatzanalysen verdeutlichen die folgenden Herausforderungen für die notwendigen Veränderungen bis zum Jahr 2050:

- Es sollten ab sofort erhebliche Anstrengungen zur massiven Erhöhung der Energieeffizienz unternommen werden. Ohne eine Steigerung der Energieeffizienz von mindestens 2,6 % jährlich ist das Erreichen dieses Klimaschutzziels äußerst unwahrscheinlich.
- In allen Sektoren sollte die verbleibende Energienachfrage nahezu vollständig mit erneuerbaren Energien gedeckt werden, für den Großteil der ggf. verbleibenden Emissionen aus fossilen Brennstoffen sowie aus Industrieprozessen ist der Einsatz von CCS unausweichlich.
- Ein Großteil der notwendigen Veränderungen betrifft Anlagen und Infrastrukturen mit einer langen Lebensdauer, langen Vorlaufzeiten bzw. langwierigen Umgestaltungsprozessen. Politische Strategien und Maßnahmen müssen ständig auf ihre Konsistenz zu den erforderlichen Langfristentwicklungen geprüft werden.
- Neben den Maßnahmen im Bereich der energiebedingten Treibhausgasemissionen sind auch erhebliche Emissionsreduktionen bei den nicht-energiebedingten Emissionen unabdingbar. Zentral sind hier verstärkte Emissionsreduktionen bei Industrieprozessen, in der Landwirtschaft und im Bereich der Landnutzung.
- Vor allem die Emissionsreduktionen in der Mittel- und Langfristperspektive erfordern umfassende Innovationen, die zielgerichtet initiiert werden sowie frühzeitig und schnell in den Markt gebracht werden sollten.

Auch wenn Reduktionsanstrengungen für die gesamte Bandbreite der Treibhausgasemissionen alternativlos sind, wird ein Erreichen des 95 %-Ziels bis zum Jahr 2050 mit hoher Wahrscheinlichkeit unmöglich, wenn die folgenden Weichenstellungen nicht gelingen:

- eine deutliche Rückführung und Stabilisierung des Strombedarfs auf einem Niveau von 35 % unter den derzeitigen Werten, auch für den Fall einer massiven Einführung von elektrischen Antrieben im Verkehrssektor;
- eine Ausweitung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf 95 % (beim Einsatz von CCS-Kraftwerken auf mehr als 50 %);

- die Sanierung des Gebäudebestandes bis auf einen Raumwärmebedarf von (praktisch) Null und die frühzeitige Einführung des Nullenergie-Standards für Neubauten;
- erhebliche Verkehrsverlagerungen, die z.B. eine Verdopplung der Güterverkehrskapazitäten auf der Schiene und einen massiven Ausbau des öffentlichen Personenverkehrs erfordern;
- eine Effizienzverbesserung in der PKW-Flotte von durchschnittlich 60 % und eine Verbesserung der Effizienz des Straßengüterverkehrs von über 30 %;
- eine massive Umstellung des motorisierten Individualverkehrs auf elektrische Antriebe und die Deckung des verbleibenden Kraftstoffbedarfs im Personen-, Güter- und Luftverkehr durch nachhaltig erzeugte Biokraftstoffe;
- die Vermeidung von prozessbedingten CO₂-Emissionen aus der Eisen- und Stahlindustrie sowie der Zementherstellung durch massive Materialeinsparungen bzw. -substitution und den Einsatz von CCS in der Industrie;
- die Deckung des verbleibenden Prozesswärmebedarfs in der Industrie durch nachhaltig erzeugtes Biomethan;
- massive Emissionsminderungen in der Landwirtschaft und bei der Landnutzung.

Zu den Schlüssel-Innovationen, die eine zentrale Rolle für die Umsetzung des langfristigen Emissionsminderungspfades spielen werden, gehören vor allem:

- Batterietechnologien für elektrische Fahrzeuge;
- effiziente Klimakälteerzeugung;
- Hochleistungswärmedämmung und Hochleistungsfenster, reagible Fensterbeschichtungen;
- Technologien zur Tageslichtnutzung und entsprechende Architekturmodelle;
- Entwicklung aller neuen Schlüsseltechnologien mit einem spezifischen Fokus auf ihren Beitrag zur Erhöhung der Energieeffizienz (Bio-, Nano-, IKT- und Mikrosystemtechnologien);
- Ersatz von Produkten der energieintensiven Industrien durch maßgeschneiderte Alternativprodukte mit ähnlichen Eigenschaften;
- konsequente Prozessminiaturisierung ("dezentrale Produktion") und -regelung;
- Ersatz von klassischen thermischen durch innovative biotechnologische Prozesse;
- hocheffiziente Prozesse zur Produktion von Biokraftstoffen aus unterschiedlichsten Abfallmaterialien und Biomasse;

- effektivere CO₂-Abscheidungstechnologien und Lösung von Sicherheitsfragen bei der Lagerung;
- Photovoltaik der 3. Generation (polymerbasiert, farbstoffbasiert etc.), um die Abhängigkeit von strategischen Rohstoffen zu verringern;
- Grundlagenforschung Geothermie: Sicherheit, Exploration und Prognostik des Untergrunds.

Neben einer Vielzahl von technischen Innovationen sind Veränderungen bei den Produktions- und Konsummustern in ihrer gesamten Breite sowie ein massiver Strukturwandel unverzichtbar. Darüber hinaus werden sich die notwendigen Veränderungen nur realisieren lassen, wenn es gelingt, eine konsequent systemare Sicht der notwendigen Umgestaltungen zu entwickeln:

- Die vielfältigen Veränderungen auf der Energienachfrage und –angebotsseite erfordern eine massive Neu- bzw. Umgestaltung der Infrastruktur für Strom, Gas und CO₂ sowie systematische und langfristig angelegte Ansätze zur System- und Marktintegration klimafreundlicher Technologien, vor allem im Bereich fluktuierender Einspeisungen von Strom aus erneuerbaren Energiequellen.
- Die massiven Emissionsreduktionen erfordern eine strategische Neubewertung des Umgangs mit knappen Ressourcen für eine Reihe wichtiger Klimaschutzoptionen. Der Einsatz von Biomasse muss sich neben den verfügbaren Mengen im nationalen, europäischen und internationalen Raum und der Forderung nach einem möglichst effizienten Einsatz auch an der Frage ausrichten, wo der Biomasseinsatz auch langfristig ohne Alternative ist. Die beschränkten CO₂-Speicherreservoirs erfordern Nutzungsprioritäten für CCS und eine entsprechende Bewirtschaftung der Speicherressourcen.
- Die notwendigen Strategien zur Bereitstellung nachhaltig erzeugter Biomasse müssen (mit einem erheblichen Vorlauf) die Erarbeitung und Durchsetzung strenger Nachhaltigkeitsstandards beinhalten.

Die Mehrkosten einer massiven Emissionsreduktion für die im Innovationsszenario verfolgten Strategien erscheinen auf der Investitionsseite mit max. 0,6 % des BIP als überschaubar. Die Belastungen sind jedoch ungleichmäßig verteilt (z. B. hohe, nicht amortisierbare Investitionen im Gebäudebereich). Hier müssen angemessene Instrumente zur Umlegung und Verteilung der Mehrkosten geschaffen werden.

Notwendig sind weitaus ambitioniertere, besser abgestimmte und komplexer angelegte Instrumente und Instrumentenpakete als bislang in der Energie- und Klimaschutzpolitik diskutiert, die Einbettung dieser Instrumente in langfristig ausgerichtete und berechenbare Ziele und politische Strategien sowie ein breiter gesellschaftlicher Konsens über die strategischen Ziele und eine ausgeglichene Lastenverteilung. Dieser Konsens muss insbesondere auch die Ausschöpfung der Potenziale der erneuerbaren Energien und / oder der Speicheroptionen für CO₂, aber auch die Notwendigkeit von veränderten Mobilitäts- und Konsummustern beinhalten.

Jenseits von den technisch-wirtschaftlich erschließbaren Potentialen zur Emissionsminderung und den zu ihrer Umsetzung notwendigen politischen Instrumentierung wird es nicht zuletzt darauf ankommen, eine unterstützende Akzeptanz des erforderlichen Umstrukt-

rierungsprozesses in der Bevölkerung zu finden. Hierzu ist ein breiter gesellschaftlicher Diskussionsprozess unabdingbar. Diesen mit anderen gesellschaftlichen Gruppen zu initiieren und zu begleiten, ist eine langfristige und strategische Aufgabe.

Die Umsetzung der Emissionsreduktionen in ihrer ganzen Bandbreite erfordert neben politischen Rahmensetzungen auch eine Vielzahl neuer Akteure. Eine an ambitionierten Klimaschutzzielen ausgerichtete Energie- und Klimaschutzpolitik wird eine große Akteursvielfalt und eine hohe Wettbewerbsintensität als eigenständiges Ziel verfolgen und die Bildung innovationshemmender Marktstrukturen verhindern müssen.

Die strategischen Ziele sowie die notwendige Entwicklung von Technologien, Infrastrukturen und Geschäftsmodellen erfordern die Einbindung in einen internationalen Kontext, mit dem einseitige Belastungen der im globalen Wettbewerb stehenden Industrie und Leakage-Effekte vermieden werden. Dieser sollte gleichgerichtete (ambitionierte) Verpflichtungen aller Industrie- und heutigen Schwellenländer, Technologietransfer sowie internationale Ausgleichsmechanismen enthalten. Aus Gründen der Zeitersparnis und der Kosteneffizienz ist insbesondere eine international abgestimmte und arbeitsteilige kooperative Technologieentwicklung vorteilhaft.

Die Umgestaltung einer Volkswirtschaft, vor allem die völlige Neuausrichtung der Energiewirtschaft ist eine komplexe, aber keineswegs unlösbare Herausforderung. Es bedarf sorgfältiger Analyse, klarer Strategien, einer neuen Akteursvielfalt und vielfältiger Suchprozesse. Ambitionierte und umfassende Ziele müssen gesetzt und klare Entscheidungen getroffen werden. Politiken und Maßnahmen müssen in neuer Weise innovativ, konsequent und gleichzeitig flexibel ausgestaltet werden.

Ungeachtet der Sinnfälligkeit und der Notwendigkeit einer europäischen und internationalen Einbettung vieler Umsetzungsmaßnahmen für einen Emissionsminderungspfad nach dem Muster „Modell Deutschland“ ändert dies nichts daran, dass Deutschland gefordert ist eine fundierte nationale Strategie mit dem Ziel der langfristigen Emissionsminderung von 95 % zu entwickeln. Eine solche Strategie ist notwendig, um die Konsistenz aller politischen Maßnahmen zu prüfen. Die im Rahmen der vorliegenden Studie skizzierten Strategien und Maßnahmen können eine belastbare Grundlage für eine strikt an Innovation, Klimaschutz und Vorreiterrolle ausgerichtete nationale Politikentwicklung bilden.

Die übergeordnete strategische Vision könnte als „6i“-Strategie beschrieben werden:

- Innovationen in ganzer Breite,
- Infrastrukturen der Zukunft,
- Industrielle Kreativität,
- Integrierte Strategien,
- Intelligente Regulierung und
- Internationale Zusammenarbeit.

Das angesichts der gravierend zunehmenden Klimaerwärmung notwendige Ziel einer weitgehenden Dekarbonisierung in einer hoch entwickelten Industriegesellschaft ist nicht nur eine auf lange Sicht angemessene Vision. Schon orientierende Analysen zur Umset-

zung dieses Ziels im Detail schaffen neue Einsichten und in einigen Bereichen überraschende Klarheiten – auch mit nicht unerheblichen Folgen für politisches und unternehmerisches Handeln in der kürzeren Frist.

Anhang A Literaturverzeichnis

- Agentur für erneuerbare Energien (2008): Strom speichern – Hintergrundinformationen, Berlin, 2008.
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen: Energiebilanzen und Satellitenbilanz der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 1990 – 2006
- Beringer, T./ Lucht, W. (2008): Simulation nachhaltiger Bioenergiepotentiale, Externe Expertise für das WBGU Hauptgutachten, Berlin 2008.
- BGBI I, S. 2684: Verordnung zur Änderung der Verordnung über Heizkostenabrechnungen
- Bulletin VSE 3/04 (2004): Stand-by-Verbrauch von Haushaltsgeräten
- Bundesministerium der Finanzen (August 2006): Zusammensetzung der Benzin-, Diesel- und Heizölpreise
- Bundesministerium der Finanzen (August 2006): Entwicklung der Benzin-, Diesel- und Rohölpreise, des Dollarkurses und der Mineralölsteuer
- Bundesministerium der Finanzen (Februar 2005): Entwicklung der Mineralöl- und Stromsteuersätze in der Bundesrepublik Deutschland
- Bundesministerium der Finanzen (2004): Fünf Jahre ökologische Steuerreform, Monatsbericht 03.2004
- Bundesministerium der Finanzen (2004): Die neue Energiesteuerrichtlinie, Monatsbericht 03.2004
- Bundesministerium der Justiz / Juris GmbH (2006): Energiesteuergesetz (EnergieStG)
- Bundesministerium der Justiz / Juris GmbH (2006): Verordnung zur Durchführung des Energiesteuergesetzes (Energiesteuer-Durchführungsverordnung – EnergieStV)
- Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (2004): Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), nichtöffentliche Neufassung der Energieeinsparverordnung (EnEV, 2.12.2004)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Energiedaten, diverse Jahrgänge
- Bundesministerium für Wirtschaft, (2009): Stromerzeugungskapazitäten und Bruttostromerzeugung nach Energieträgern, Feb. 2009
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2006): Verkehr in Zahlen 2006/2007. Radke, S., Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Deutscher Verkehr –Verlag GmbH, Hamburg. ISBN 3-87154-349-7.

- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2007): Verkehr in Zahlen 2007/2008. Radke, S., Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung. Deutscher Verkehr –Verlag GmbH, Hamburg. ISBN 978-3-87154-349-2.
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2009): Verkehrsbericht 2008, Berlin
- Büringer, H. (2006): CO₂-Emissionen der Wirtschaft - Analyse nach Wirtschaftszweigen. Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 1/2006, 32-36.
- BWK (2006): Rationelle Energieverwendung 2005. BWK Bd. 58 (2007) Nr. 4.
- BWK (2007): Rationelle Energieverwendung 2006. BWK Bd. 59 (2007) Nr. 4.
- BWK (2008): Rationelle Energieverwendung 2007. BWK Bd. 60 (2008) Nr. 4.
- Capros, L. (2008): Model-based Analysis of the 2008 EU Policy Package on Climate Change and Renewables, Athens
- Clausnitzer, K.; Diefenbach, N.; Gabriel, J.; Loga, T.; Wosniok, W. (2007): Effekte des KfW-CO₂-Gebäudesanierungsprogramms 2005 und 2006; Bremer Energie Institut; Institut Wohnen und Umwelt; Institut für Statistik der Universität Bremen; Bremen
- Dämmgen, U.; Osterburg, B. (2008): Annahmen für die Prognose der Gasemissionen aus der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2010, 2015 und 2020. Bericht an das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMVEL) vom 10.07.2008
- Deutsche Bahn AG (2007). Energiesparende Fahrweise; Lokführer werden für den Energieverbrauch sensibilisiert. Deutsche Bahn AG, Berlin.
http://www.db.de/site/bahn/de/unternehmen/umwelt/klimaschutz/energiesparendes_fahren/energiesparendes_fahren.html
- DIN V 18559: Energetische Bewertung von Gebäuden (Erhart, H.; Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart und Balada, A.; Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin)
- DIW, Berlin: DIW-Wochenberichte, diverse Jahrgänge
- DLR, Institut für Technische Thermodynamik Stuttgart/ IFEU Heidelberg/ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie: Nitsch, J./ Krewitt, W./ Nast, M./ Viebahn, P./ Gärtner, S./ Pehnt, M./ Reinhardt, G./ Schmidt, R./ Uihlein, A./ Scheurlen, K./ Barthel, C./ Fishedick, M./ Merten, F. (2004): Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien in Deutschland, Langfassung, März 2004.
- Ecofys (2009) (Höhne, N. Moltmann, S.): Sharing the effort under a global carbon budget, im Auftrag des WWF International
- EEA (2006): How much bioenergy can Europe produce without harming the environment? EEA Report No 7/2006, Luxembourg
- EEG TU Wien/ IER Uni Stuttgart/ Technical Research Center of Finland: Kranzl, L./ Haas, R./ Kalt, G./ Eltrop, L./ König, A./ Makkonen, P. (2008): Strategien zur optimalen Er-

schließung der Biomasse in Österreich bis zum Jahr 2050 mit dem Ziel einer maximalen Reduktion an Treibhausgasen, Projektbericht im Rahmen der Programmlinie Energiesysteme der Zukunft, Wien 2008.

EWI/Prognos. (2006): Auswirkungen höherer Ölpreise of Energieangebot und –nachfrage. Ölpreisvariante der Energiewirtschaftlichen Referenzprognose 2030. Basel/Köln

EWI / Prognos AG (2007): Energieszenarien für den Energiegipfel 2007, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin 2007

Freibauer, A. , Drösler M., Gensior A., Schulze E.-D. (2009): Das Potenzial von Wäldern und Mooren für den Klimaschutz in Deutschland und auf globaler Ebene. Natur und Landschaft, Heft 10-2009, p.20-25.

Fritsche, U.R./ Wiegmann, K. (2008): Treibhausgasbilanzen und kumulierter Primärenergieverbrauch von Bioenergiekonversionspfaden unter Berücksichtigung möglicher Landnutzungsänderungen, Externe Expertise für das WBGU Hauptgutachten, Berlin 2008.

Gesetz zur Neuregelung der Besteuerung von Energieerzeugnissen und zur Änderung des Stromsteuergesetzes, ab 1.8.2006 in Kraft

GWS/ Prognos (2007) Ökonomische Kriterien zur Bewertung alternativer Verhandlungslösungen für eine Weiterentwicklung des Klimaregimes nach 2012, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Berlin 2007

Infonetz Umwelt und Nachhaltigkeit (2007). Fahren mit Biokraftstoffen. Umweltzentrum - Initiative zur Pflege und Entfaltung des Umweltschutzgedankens e.V., Bielefeld.
[http://www.infonetz-owl.de/index.php?id=197&no_cache=1&sword_list\[\]=biokraftstoff](http://www.infonetz-owl.de/index.php?id=197&no_cache=1&sword_list[]=biokraftstoff)

Infonetz Umwelt und Nachhaltigkeit (2007). Fahren mit Gas. Umweltzentrum - Initiative zur Pflege und Entfaltung des Umweltschutzgedankens e.V., Bielefeld.
<http://www.infonetz-owl.de/index.php?id=198>

IEA 2008, World Energy Outlook 2008

ISI (Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe), Radgen, P. (2007): Zukunftsmarkt elektrische Energiespeicherung – Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau, 2007.

IVT/ProgTrans/STASA (2004). Analyse von Änderungen des Mobilitätsverhaltens - insbesondere der PKW-Fahrleistung- als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusleistung e.V., Heilbronn, ProgTrans AG, Basel und Steinbeis-Transferzentrum Angewandte Systemanalyse, Stuttgart. Im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn.

Kaya, Y, Yokobori, K. (1997): Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability, Tokyo, New York, Paris

Kollas, C./ Lasch, P./ Rock, J./ Suckow, F. (2009): Bioenergy potential in Germany – assessing spatial pattern of biomass production with aspen short-rotation coppice, einge-reicht bei: International Agrophysics.

- Krug, J., Kohl, M., Riedel, T., Bormann, K., Rueter, S., Elsasser, P. (2009): Options for accounting carbon sequestration in German forests. Carbon Balance and Management 2009, 4:5 doi:10.1186/1750-0680-4-5
- Markewitz, P. (2004): Stromverbrauch und Einsparpotenziale in Deutschland. Forschungszentrum Jülich. STE-Preprint 25/2002.
- McKinsey & Company (2009): Pathways to a Low-Carbon Economy. Version 2 of the Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve.
- Meinshausen, M.; Meinshausen, N.; Hare, W., Raper, S.C.B.; Frieler, K.; Knutti, R.; Frame, D. J.; Allen, M. R. (2009): Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C. Nature 458, 1158-1163, 30 April 2009.
- Müller-Langer, F./ Perimenis, A./ Brauer, S./ Thrän, D./ Kaltschmitt, M. (2008): Technische und ökonomische Bewertung von Bioenergie-Konversionspfaden, Externe Expertise für das WBGU Hauptgutachten, Berlin 2008.
- MWV (2008): Entwicklung der Mineralölsteuersätze auf Kraftstoffe 1950 – 2007. Mineralölwirtschaftsverband e.V., Hamburg/Berlin.
http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=14&idart=60
- MWV (2008): Entwicklung des Tankstellenbestandes. Mineralölwirtschaftsverband e.V., Hamburg/Berlin. http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=14&idart=50
- MWV (2008): Zusammensetzung des Preises für Superbenzin 1972 bis 2007. Mineralölwirtschaftsverband e.V., Hamburg/Berlin.
http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=14&idart=56
- Nitsch, J.; DLR (2007): Leitstudie 2007. Ausbaustrategie Erneuerbare Energien. Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050. Stuttgart, Februar 2007
- Nitsch, J.; DLR (2008): Leitstudie 2008. Weiterentwicklung der Ausbaustrategie Erneuerbare Energien vor dem Hintergrund der aktuellen Klimaschutzziele Deutschlands und Europas. Stuttgart, Oktober 2008
- OcCC(2004), Klimaentwicklung in der Schweiz bis 2050; ein kurzer Überblick. Hohmann, R. und Neu, U., OcCC Organe consultatif pour le Changement Climatique, Bern. Im Auftrag des bundesamts für Energie, Bern
- Öko-Institut/ Fraunhofer UMSICHT/ IE Leipzig/ IFEU Heidelberg/ IZES Saarbrücken/ Institut für Geoökologie TU Braunschweig/ Lehrstuhl für Wirtschaftstheorie des Landbaus TU München: Fritsche, U.R./ Dehoust, G./ Jenseit, W./ Hünecke, K./ Tausch, L./ Schüler, D./ Wiegmann, K./ Heinz, A./ Hiebel, M./ Ising, M./ Kabasci, S./ Unger, C./ Thrän, D./ Fröhlich, N./ Scholwin, F./ Reinhardt, G./ Gärtner, S./ Patyk, A./ Baur, F./ Bemann, U./ Groß, B./ Heib, M./ Ziegler, C./ Flake, M./ Schmehl, M. (2004): Stoffstromanalyse zur nachhaltigen energetischen Nutzung von Biomasse, Endbericht, Mai 2004.

Öko-Institut, Fz Jülich IEF-STE, DIW Berlin, FhG-ISI (2008): Politiksszenarien für den Klimaschutz IV. Szenarien bis 2030, UBA Climate Change 1/08, Berlin, Jülich und Karlsruhe

Öko-Institut, DIW Berlin, Fz Jülich IEF-STE, FhG-ISI, Dr. Ziesing (2009): Politiksszenarien für den Klimaschutz V – auf dem Weg zum Strukturwandel. Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030. UBA Climate Change 16/2009, Berlin/Karlsruhe/Jülich, Oktober 2009

Pöschk, J.; Hrsg.: Energieeffizienz in Gebäuden – Jahrbuch 2006

Prognos AG (2009a) : Quantitative Strukturierung und Abschätzung der deutschen Early Actions im Sinne von Anhang I, Ziffer 3 der Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie

Prognos AG (2009b): Gefährdung und Verletzbarkeit moderner Gesellschaften – am Beispiel eines großräumigen Ausfalls der Stromversorgung, Konzeptstudie im Auftrag des Büros für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag

Prognos AG (2009c): Innovative Technologien zur energetischen Nutzung von Gas, im Auftrag der Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches und der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch

Prognos AG (2009d): Trendstudie Energiemarkt 2020 mit Ausblick auf 2030, Energie in privaten Haushalten, im Auftrag des BDEW

Prognos AG (2008): Prognos Technologiereport 2008

Prognos AG (2007a): Potenziale für Energieeinsparung und Energieeffizienz im Lichte aktueller Preisentwicklungen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie

Prognos AG (2007b) Energieperspektiven für die Schweiz bis 2035, Band 2, im Auftrag des Bundesamts für Energie, Bern

Prognos AG (2007c), Der Prognos Technologiereport 2006 / 2007

Prognos AG (2006) Trendreport MST 2020

Prognos AG (2004): Energieprognose angesichts globaler Unsicherheit, Proceedings der workshops zur energiewirtschaftlichen Referenzprognose mit Zeithorizont 2030, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Berlin

Prognos (2002): Die Entwicklung des Elektrizitätsverbrauchs serienmäßig hergestellter Elektrogeräte in der Schweiz unter Status-quo-Bedingungen und bei Nutzung der sparsamsten Elektrogeräte bis 2010 mit Ausblick auf das Jahr 2020. Studie im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (2002): Die Klimaschutzzerklärung der deutschen Industrie vom März 1996 - eine abschließende Bilanz. Untersu-

chung des Rheinisch-Westfälisches Instituts für Wirtschaftsforschung, Heft 40. ISBN 3-928739-91-1.

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (2005): Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft. Monitoringberichte 2000 - 2002. RWI: Projektberichte: http://www.rwi-essen.de/pls/portal30/docs/FOLDER/PROJEKTE/CO2-MONITORING/MONITORING_DATEIEN/MONITORINGBERICHT_2000-2002.PDF

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (2007): Die Klimavorsorgeverpflichtung der deutschen Wirtschaft. Monitoringberichte 2003 - 2004. RWI: Projektberichte: http://www.rwi-essen.de/pls/portal30/docs/FOLDER/PROJEKTE/CO2-MONITORING/MONITORING_DATEIEN/MONITORINGBERICHT_2003-2004.PDF

Sauer, D.U. (2006): Optionen zur Speicherung elektrischer Energie in Energieversorgungssystemen mit regenerativer Stromerzeugung, erschienen in: Solarzeitalter 4, 2006, pp. 12-34.

Schlomann et al. (2004): Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). Projektnummer 17/02. Abschlussbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit.
<http://www.isi.fhg.de/publ/downloads/isi04b15/ghd-hauptbericht.pdf>

SRU (2007): Klimaschutz durch Biomasse, Sondergutachten, Berlin, 2007.

Staiß, F.: Jahrbuch der Erneuerbaren Energien, diverse Jahrgänge

Statistisches Bundesamt (2006): Bevölkerung Deutschlands bis 2050. 11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden.

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden: Diverse Fachserien. Amtliche Daten zu Wohnungsbestand, Wohnungszugängen und -abgängen

Statistisches Bundesamt, Wiesbaden: Amtliche Daten zur Ausstattung privater Haushalte mit Informations- und Kommunikationstechnologien und zur Versorgung mit elektrischen Haushaltsgeräten, Ergebnisse der Wirtschaftsrechnungen privater Haushalte. Diverse Jahrgänge

Steffen et al., Ethische Probleme einer langfristigen globalen Energieversorgung, W. de Gruyter Verlag, Berlin 2005

TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag), Oertel, D. (2008): Energiespeicher – Stand und Perspektiven, Arbeitsbericht Nr. 123, Berlin, 2008.

Trägerkreis Erdgasfahrzeuge (2007). Lassen Sie sich fördern! Trägerkreis Erdgasfahrzeuge, Berlin. <http://www.erdgasfahrzeuge.de/cgi-bin/WebObjects/Erdgas2004.woa/1/wa/DirectoryWithId/1000139.html?wosid=idha-QesE9tt5OkucSPDF9w>

UBA (2009): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2007, Dessau

UNFCCC (2007): Report of the review of the initial report of Germany.
FCCC/IRR/2007/DEU, Bonn, 12 December 2007

UNFCCC (2008): Kyoto Protocol Reference Manual. On Accounting of Emissions and
Assigned Amounts, Bonn

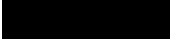
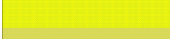
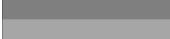
VDA (2007): Tatsachen und Zahlen, 71. Folge 2007. Verband der Automobilindustrie,
Frankfurt/Main. ISSN 1619-2877

VIK: Statistik der Energiewirtschaft, diverse Jahrgänge

WBGU (2009): Welt im Wandel. Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung,
Berlin

Woitowitz, A. (2007): Auswirkungen einer Einschränkung des Verzehrs von Lebensmitteln
tierischer Herkunft auf ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren – dargestellt am Bei-
spiel konventioneller und ökologischer Wirtschaftsweise, Dissertation am Lehrstuhl für
Wirtschaftslehre des Landbaues der Technischen Universität München

Anhang B Farbcodes

Energieträger	
	Kernkraft
	Kohle
	Steinkohle
	Braunkohle
	Mineralölprodukte
	Heizöl
	Heizöl schwer
	Heizöl leicht
	Kraftstoffe
	Benzin
	Benzinersatz aus Biomasse
	Diesel
	Diesel (Primärenergiebilanz)
	Dieselerersatz aus Biomasse
	Biokraftstoffe
	Flugtreibstoffe
	Gase
	Erdgas
	Flüssiggas, Raffineriegas
	Wasserstoff
	Sonstige Gase
	Biogas
	Strom
	Speicher
	Fernwärme
	Abfall
	Erneuerbare Energien
	Biomasse
	Holz
	Umwelt- und Abwärme
	Wärmepumpen
	Geothermie
	Solarenergie
	Windenergie
	Windenergie Onshore
	Windenergie Offshore
	Wasserkraft
	Importsaldo
	Stromimport EE



Branchen Dienstleistungssektor

	Landwirtschaft, Gärtnerei
	Landwirtschaft
	Industrielle Kleinbetriebe/Handwerk
	Baugewerbe
	Handel
	Handel, Gastgewerbe, Verkehr
	Kreditinst./ Versicherungen
	Finanzierung, Vermietung
	Verkehr, Nachrichtenübermittlung
	Sonstige priv. Dienstleistungen
	Gesundheitswesen
	Unterrichtswesen
	Öff. Verwaltung, Sozialversicherung
	Verteidigung
	energieintensive Branchen
	übrige Branchen

Branchen Industrie

	Produzierendes Gewerbe
	Gew. von Steinen, sonst. Bergbau
	Ernährung und Tabak
	Papiergewerbe
	Grundstoffchemie
	sonstige chemische Industrie
	Gummi- und Kunststoffwaren
	Glas, Keramik
	Verarbeitung v. Steinen und Erden
	Metallerzeugung
	NE-Metalle, Gießereien
	Metallbearbeitung
	Maschinenbau
	Fahrzeugbau
	Sonstige Wirtschaftszweige

	Verkehrsträger
	Straßenverkehr
	Schienenverkehr
	Luftfahrt
	Binnenschifffahrt
	Motorisierter Individualverkehr
	Zweiräder
	Straße Öffentlicher Personenverkehr
	Antriebsarten
	Benzinantrieb
	Benzin, Hybrid
	Dieselantrieb
	Erdgasantrieb
	Flüssiggasantrieb
	Elektroantrieb
	Plug-in Hybridantrieb
	Brennstoffzellenantrieb
	Rahmendaten
	Ein- und Zweifamilienhäuser (1+2)
	Drei- und Mehrfamilienhäuser (3+)
	Nichtwohngebäude (NWG)
	1-Personenhaushalte
	2-Personenhaushalte
	3-Personenhaushalte
	4-Personenhaushalte
	5- und mehr-Personenhaushalte
	HGT
	CDD
	CDD-Tage
	Kühlgrade

Anhang C Verzeichnis der Abkürzungen, Akronyme und Symbole

%	Prozent
#	Anzahl
\$	US-Dollar
€	Euro
a	annum (lat. Jahr)
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BtL	Biomass to liquid
BWS	Bruttowertschöpfung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CCS	Carbon Dioxide Capture and Storage (CO ₂ -Abscheidung und Speicherung)
CDD	Cooling degree days (Kühlgradtage)
CDM	Clean Development Mechanism
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -Äqu.	Kohlendioxid-Äquivalent
Ct.	Cent
d.h.	das heißt
EBF	Energiebezugsflächen
EE	erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
EEWärmeG	Erneuerbare Energien-Wärmegegesetz
EL	extra leicht
EnEV	Energieeinsparverordnung
EU	European Union
EUR	Euro
EVU	Energieversorgungsunternehmen
evtl.	eventuell
EW	Einwohner
F-Gase	flourierte Treibhausgase (FKW, HFKW, SF ₆)
FKW	Perfluorierte Kohlenwasserstoffe
fob	free on board
Fz	Fahrzeug
Fzkm	Fahrzeugkilometer
g	Gramm
Gast.	Gasturbine

gem.	gemäß
ggf.	gegebenenfalls
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (Dienstleistungssektor)
GuD	Gas- und Dampf-Prozess
GWP	Global Warming Potential (spezifisches Treibhausgaspotential)
GV	Güterverkehr
h	Stunde
HEL	Heizöl extra leicht
HFKW	Teilhalogenierte Fluor-Kohlenwasserstoffe
HGT	Heizgradtage
HH	Haushalte
i.A.	im Allgemeinen
i.d.R.	in der Regel
IEA	International Energy Agency
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm der Bundesregierung
inkl.	inklusive
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IT	Informationstechnologie
IuK	Informations- und Kommunikation
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
i.W.	im Wesentlichen
J	Joule (Physikalische Einheit für Arbeit)
JI	Joint Implementation
Kap.	Kapitel
km	Kilometer
KW	Kraftwerk
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l	Liter
LED	Light Emitting Diode (Leuchtdiode)
LKW	Lastkraftwagen
LULUCF	Land use, land use change, forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderungen, Forstwirtschaft)
m ³	Kubikmeter
max.	maximal
MBA	Mechanisch-Biologische Abfallbehandlungsanlage
Mio.	Millionen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mrd.	Milliarde
MSR	Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik
N	Stickstoff
N ₂ O	Lachgas
NO _x	Stickoxide

O ₂	Sauerstoff
OLED	Organic Light Emitting Diode (Leuchtdiode auf Basis organischer Materialien, z.B. Farbstoffe)
ÖPV	Öffentlicher Personenverkehr
o.ä.	oder ähnliches
p.a.	per annum (jährlich)
PEV	Primärenergieverbrauch
PHH	Private Haushalte, Haushaltssektor
PJ	Petajoule
Pkm	Personenkilomtere
PU	Polyurethan
PV _{vk}	Personenverkehr
PV	Photovoltaik/Fotovoltaik
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SKE	Steinkohleneinheit
Sz	Szenario
t	Tonne
TA	Technische Anleitung
THG	Treibhausgase
tkm	Tonnenkilomter
TWh	Terawattstunde
u.a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change (UN Klimarahmenkonvention)
usw.	und so weiter
UV-Licht	Ultraviolett-Licht
v.a.	vor allem
Var.	Variante
vgl.	vergleiche
V	Volt
W	Watt (physikalische Einheit für Leistung)
Wh	Wattstunde
WKA	Windkraftanlage
WP	Wärmepumpe
XPS	Extrudierter Polystyrol-Hartschaum
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

Vorsatzzeichen:

Bezeichnung:	Faktor:	Bezeichnung:	Faktor:
Nano (n)	10^{-9}	Mega (M)	10^6
Micro (μ)	10^{-6}	Giga (G)	10^9
Milli (m)	10^{-3}	Tera (T)	10^{12}
Kilo (k)	10^3	Peta (P)	10^{15}

Energieeinheiten (Umrechnungsfaktoren):

Von: \ Zu:	J	TJ	kWh
J	1	1×10^{-12}	0.2778×10^{-6}
TJ	1×10^{12}	1	0.2778×10^6
kWh	3.6×10^6	3.6×10^{-6}	1
GWh	3.6×10^{12}	3.6	1×10^6

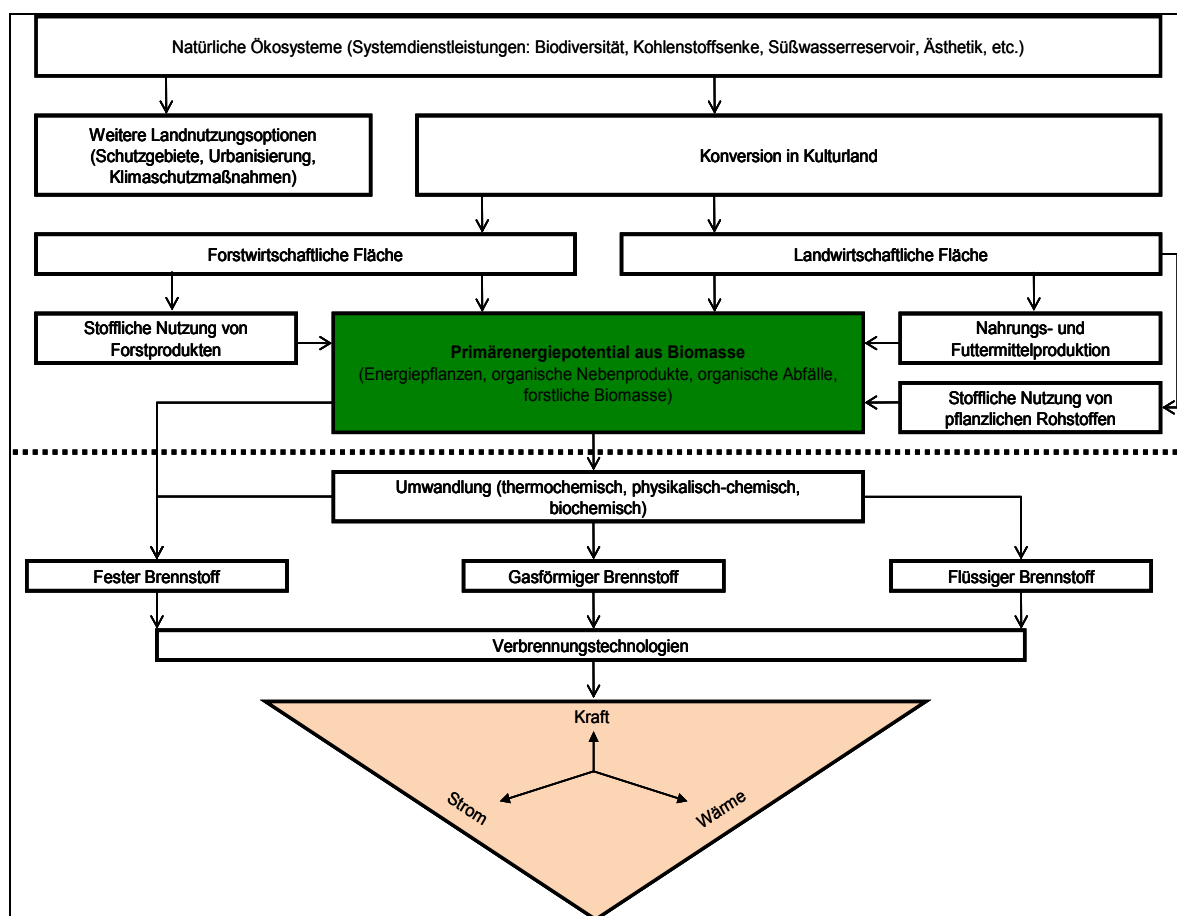
Anhang D Exkurs: Biomasse

D.1 Nachhaltige Biomassepotenziale

D.1.1 Einleitung

Der Anbau von Biomasse als Bioenergieträger wurde in jüngerer Zeit kontrovers diskutiert. Befürworter führen Klima- und Umweltschutz, Energie- und Versorgungssicherheit sowie ländliche Entwicklung als unterstützende Argumente auf. Als erneuerbarer Energieträger wird Biomasse als klimaneutral bewertet. Sie ist ein speicherfähiger Energieträger, der durch verschiedene Prozesse in unterschiedliche Anwendungsformen umgewandelt werden kann. Dadurch sind die Möglichkeiten zur Bioenergienutzung vielfältig, sowohl aufbringungs- als auch verwendungsseitig. Jede Umwandlungsstufe ist mit unterschiedlichen Emissionen, (externen) Kosten oder auch Wirkungsgraden verbunden. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über das Bioenergiesystem und dient zugleich als Orientierung für den weiteren Verlauf dieses Exkurses. Die folgenden Ausführungen beziehen sich im Wesentlichen auf Erkenntnisse des WBGU Gutachtens „Zukunftsfähige Bioenergie und nachhaltige Landnutzung“ (WBGU, 2009), soweit nicht anders kenntlich gemacht.

Abbildung D- 1: Überblick über das Bioenergiesystem



Quelle: Prognos 2009, auf Basis von WBGU 2009; Kranzl et. al. 2008

Oberhalb der gepunkteten Linie ist die Aufkommensseite systematisiert. Hier ist die Frage zentral, welches Primärenergiepotential sich nachhaltig unter Beachtung von Nutzungskonkurrenzen bereitstellen lässt. Entscheidend dafür ist, welches Flächenpotential zur nachhaltigen Bioenergienutzung zur Verfügung steht. Dieses wird unter Beachtung von Nutzungskonkurrenzen zu anderen Nutzungsmöglichkeiten der begrenzt zur Verfügung stehenden Landfläche ermittelt, die bei jeder Landnutzungsänderung zwangsweise auftreten.

Unterhalb der gepunkteten Linie sind die möglichen Verarbeitungsformen für die energetische Nutzung und Nutzungspfade schematisch dargestellt.

Bei begrenzten Aufkommenspotenzialen beeinflussen zwei unterschiedliche Gesichtspunkte die Frage nach der optimalen Nutzung der Biomasse:

1. „Effizienz“: Wie kann das zuvor ermittelte Primärenergiepotential eingesetzt werden, um eine maximale Treibhausgasreduktion zu erreichen, das heißt, welcher technischer Nutzungspfad soll gewählt werden? Ein Nutzungspfad umfasst jeweils mehrere Teilprozesse, beginnend mit dem Anbau von Energiepflanzen, bzw. der Verfügbarmachung biogener Reststoffe bis hin zur Bereitstellung der Endenergie. Innerhalb jedes Teilprozesses kann zwischen mehreren Optionen ausgewählt werden, was zu einer Vielzahl von unterschiedlichen Nutzungspfaden mit jeweils spezifischen Wirkungsgraden, Kosten, Treibhausgasemissionen und Wechselwirkungen mit dem Ökosystem führt.
2. „Effektivität“: Gibt es innerhalb einer Systemfragestellung Einsatzbereiche, in denen es keine Alternative zur Nutzung von Biomasse gibt, um ein Emissionsreduktionsziel bei der Bereitstellung einer Leistung (wie z. B. Industrieproduktion oder Verkehrsleistungen) zu erreichen?

D.1.2 Primärenergiepotential aus Bioenergie

D.1.2.1 Nutzungskonkurrenzen um Landfläche

Das zur Produktion von Biomasse zur Verfügung stehende Potential ist begrenzt, aber nicht in absoluten Werten fixiert: Die zum Anbau benötigten eisfreien Flächen sind naturgegeben und der Wirkungsgrad der Photosynthese unterliegt einer natürlichen Obergrenze. Daher ist das in der Biosphäre erneuerte Biomassepotential endlich. Allerdings stellt der Bioenergieanbau nur eine von vielen möglichen Nutzungsformen dar und ist daher im Kontext konkurrierender Erfordernisse zu bewerten.

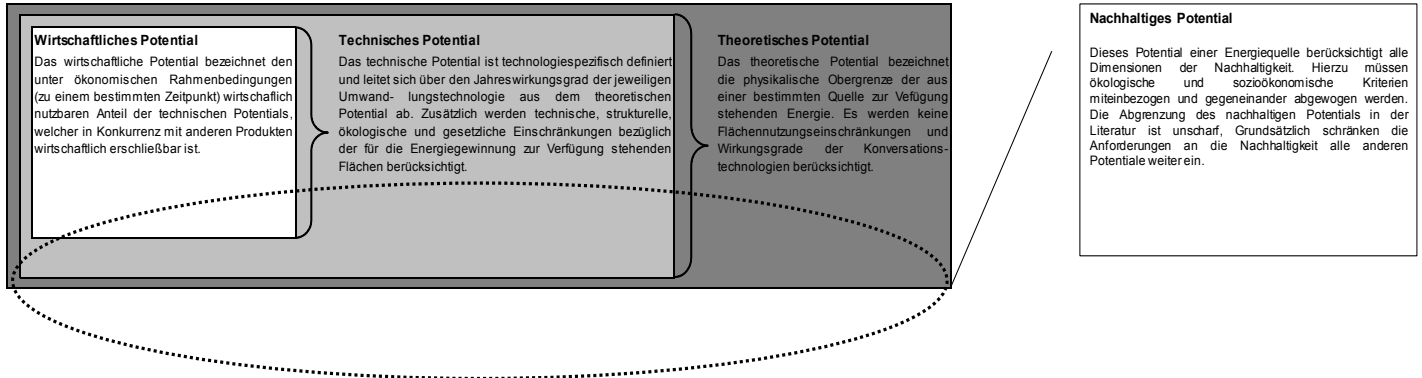
Die natürliche Landbedeckung besteht aus Wäldern und Grasland, die wichtige Ökosystemleistungen bereitstellen. Besonders hervorzuheben ist die Biodiversität, welche eine Vielzahl von „Systemdienstleistungen“ bereitstellt (z.B. Küstenschutz, Wasserhaushalt, Bestäubung, genetische Baupläne). In ihrer Funktion als Kohlenstoffsенke entziehen Wälder und Grasland der Atmosphäre CO₂ und speichern es in den organischen Bestandteilen und im Boden. Die Inanspruchnahme dieser Leistungen durch den Menschen stellt eine Möglichkeit der anthropogenen Landnutzung dar. Wenn der Mensch die natürliche Umwelt zum Zweck einer anderen Landnutzung umwandelt, spricht man von Landnutzungsänderungen. Der flächenmäßig bedeutsamste Eingriff auf dieser ersten Stufe, der

durch den Menschen stattfindet, ist die Umwandlung in Kulturland zum Anbau forst- bzw. agrarwirtschaftlicher Produkte. Diese Umwandlungsstufe steht in direkter Konkurrenz zu weiteren Landnutzungsoptionen. Zu nennen wären hier die Ausweisung von Schutzgebieten zum Erhalt der natürlichen Umwelt oder die Verwendung der Fläche für alternative Klimaschutzmaßnahmen (beispielsweise könnte die Fläche auch zur Aufstellung von Solar- oder Windkraftanlagen genutzt werden, welche unter Umständen Endenergie effizienter bereitstellen können als durch Biomasseumwandlung). Die weitere Nutzungsoption als städtischer Lebensraum fällt trotz der stark angestiegenen Weltbevölkerung mit einer Bedeckung von 5% der Landfläche nicht so sehr ins Gewicht. Zusammengenommen sind durch menschliche Eingriffe bereits über drei Viertel der eisfreien Fläche verändert worden.

Bei forstwirtschaftlicher Nutzung des Kulturlandes besteht eine Nutzungskonkurrenz zwischen dem Anbau von Bioenergie und der stofflichen Nutzung von Biomasse. Zurzeit liegt der Anteil der direkten Holzverwertung als Brennholz bei ca. 40%. Dies ist fast ausschließlich auf den hohen Anteil der traditionellen Biomassenutzung in Entwicklungsländern zurückzuführen. Für die direkte bioenergetische Nutzung der forstwirtschaftlichen Fläche kommt hauptsächlich die Nutzung von Schlagabraum, unbewirtschafteter Aufwüchse und für industrielle Zwecke ungeeigneter Einzelbäume in Betracht. In den Industrieländern liegt die wichtigste Anwendung forstlicher Biomasse in der stofflichen Nutzung (Zellstoffprodukte, Möbel, Baustoff), allerdings kann auch diese Nutzungsform über diverse Zuflüsse (Sägenebenprodukte, Schwarzlauge, Kaskadennutzung) zum bioenergetischen Primärenergiepotential beitragen (Kranzl et. al., 2008). Zudem ist zu beachten, dass die stoffliche Nutzung auch eine Klimaschutzoption darstellen kann, da neben der Kohlenstoffspeicherung beispielsweise die Verwendung emissionsintensiver Materialien vermieden werden kann (z. B. Betonherstellung).

Ein Großteil der Landnutzungsänderung von „Naturland“ zu Kulturland wird durch landwirtschaftliche Aktivitäten hervorgerufen. Global werden derzeit ca. 50 Mio. km² landwirtschaftlich genutzt, davon 69% als Weide- und 31% als Ackerland. Dabei besteht zwischen dem Anbau von Energiepflanzen und den Alternativen Nahrungs- und Futtermittelproduktion und stoffliche Nutzung von pflanzlichen Rohstoffen (Kunststoffe, Kosmetika, Textilien, etc.) eine unmittelbare Konkurrenz, da nicht nur Flächen der Nutzung entzogen werden, sondern vielfach auch die gleichen pflanzlichen Rohstoffe genutzt werden. Zu dieser direkten Konkurrenz kommen noch eine Reihe indirekter Effekte. Da großteils die gleichen Agrarrohstoffe und Kapitalausstattung genutzt werden, würde unter sonst gleichen Bedingungen der Anbau von Bioenergiepflanzen über indirekte Effekte zu einem Preisanstieg bei Nahrungsmitteln führen. Verschärfend kommt hinzu, dass der steigende Wohlstand in Teilen der Welt zu einem Wandel der Ernährungsgewohnheiten von pflanzlichem Nahrungsmittel hin zu fett- und proteinreicher Ernährung führt. Diese Ernährungsweise benötigt allerdings erheblich mehr Fläche, um die gleiche Energiemenge (im Vergleich zu Kohlehydraten) bereitzustellen, was wiederum zu einer effektiven Verknappung der zur Nahrungsproduktion zur Verfügung stehenden Fläche führt und sich somit auch preistreibend auswirkt. Auch hier ist zu beachten, dass die Nahrungsproduktion sowie die stoffliche Nutzung über Koppel-, bzw. Abfallprodukte (z.B. Gülle, Ernterückstände, organische Abfälle) zum Primärenergiepotential beitragen.

Abbildung D- 2: Bioenergie-Potenziale



Quelle: Prognos 2009, auf Basis von WBGU 2009

Welche Flächen allerdings für den direkten Anbau von Bioenergie zur Verfügung stehen, hängt von den Kriterien ab, die für die Potenzialermittlung angewendet werden. In den meisten Studien wird das technische Potential ausgewiesen. Der WBGU ermittelt in seiner Studie das technisch-nachhaltige Potential. Die Anforderungen an Nachhaltigkeit erschließen sich aus den oben genannten Nutzungskonkurrenzen. Aufgrund der begrenzten zur Verfügung stehenden Flächen ist es notwendig, Prioritäten zugunsten bestimmter Nutzungsformen festzulegen. Im Sinne der Nachhaltigkeit liegen die Prioritäten dort, wo die jeweilige Landnutzung nicht substituierbare bzw. unverzichtbare Leistungen (z. B. Biodiversität, ausreichende Nahrungsproduktion) erbringt. Bei einer solchen Vorgehensweise wird das zur Verfügung stehende Primärenergiepotential für Bioenergie auf jeder Umwandlungsstufe sukzessive weiter eingeschränkt.

Zur Implementierung dieser Nachhaltigkeitsanforderungen hat der WBGU ein „Leitplankenkonzept“ entwickelt. Die Leitplanken sind definiert durch Schadensgrenzen, deren Überschreitung nicht tolerierbare ökologische oder sozioökonomische Folgen hätte. Tabelle 4.3-28 gibt einen Überblick über die vom WBGU entwickelten Leitplanken. Die Einhaltung der Leitplanken ist jedoch nur ein notwendiges, aber nicht hinreichendes Kriterium für Nachhaltigkeit, da einige Anforderungen schwer quantifizieren sind oder nicht global umsetzbar sind. Diese Aspekte müssen fallweise in eigenen Nachhaltigkeitsanforderungen behandelt werden. Hierzu gehören z.B. neben Fragen der Nahrungsmittelkonkurrenzen auch der mögliche Vorrang der Biomassenutzung in Schwellenländern in der eigenen Energieversorgung oder die vorrangige Nutzung von Rest- und Abfallstoffen.

Tabelle D - 1: Ökologische und sozioökonomische Leitplanken

Leitplanke	Erläuterungen
Ökologische Nachhaltigkeit	
Klimaschutz	(1) Mittlere Erderwärmung > 2°C gegenüber vorindustriellen Wert; Temperaturveränderungsrate > 0,2°C/Jahrzehnt >> erfordert eine Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration unterhalb 450ppm CO ₂ eq. (2) PH-Wert der Meeresoberfläche nicht unterhalb 0,2 Einheiten gegenüber vorindustrieller Zeit.
Biosphärenschatz	Ausweisung von Schutzgebietsystemen: (1) 10-20% der weltweiten terrestrischen sowie Flussökosysteme (inkl. Einzugsgebiete);(2) 20-30% der Fläche globaler mariner Ökosysteme. Prioritäten: Bedrohte Arten, besondere Einzigartigkeit, Unberührtheit durch den Menschen, Genzentren, Artenreichtum.
Bodenschutz	Erhaltung des natürlichen Ertragspotentials über einen Zeitraum vom 300-500 Jahren. Bodendegradation wird bedingt durch (1) Erosion (Toleranzgrenze: 1-10 t/ha/Jahr) und (2) Versalzung (für gängige Nutzpflanzen verträgliche Kombination darf innerhalb 300-500 Jahren nicht überschritten werden).
Sozioökonomische Nachhaltigkeit	
Nahrungszugang	Bioenergieproduktion entzieht dem Nahrungsmittelanbau Flächen, Betriebsmittel und Ressourcen; Sicherstellung der Welternährung hat oberste Priorität. FAO Def.: Zu jeder Zeit Zugang zu ausreichender und ausgewogener Nahrung für alle Menschen. (1) Notwendige Bedingung: Globale landwirtschaftliche Nutzfläche muss ausreichen, um mind. 2700 kcal (11,3 MJ) pro Person/Tag bereitzustellen
Energiedienstleistungen	(1) Zugang zu "sauberer" Energie; Min.: 700-1000 kWh pro Kopf/Jahr.
Vermeidung Gesundheitsschäden durch Energienutzung	Lebensstandard & Gesundheit als Menschenrechte > Spannungsverhältnis: (1) Anteil der regionalen Disability Adjusted Life Years (DALY) hervorgerufen durch städtische- bzw. Innenraumluftverschmutzung auf unter 0,5% senken.

Quelle: Prognos 2009, auf Basis von WBGU 2009

D.1.2.2 Modellierung des nachhaltigen Bioenergiepotentials

Zur Simulation des nachhaltigen globalen Bioenergiepotentials wird das am Potsdam Institut für Klimafolgenforschung entwickelte, dynamische, globale Vegetationsmodell LPJmL (Lund-Potsdam-Jena managed Land) verwendet (Beringer/ Lucht, 2008). Auf der Basis von prozessorientierten Darstellungen der wichtigsten biogeochemischen, biophysikalischen und biogeographischen Mechanismen ist LPJmL in der Lage die großräumige Verteilung der unterschiedlichsten Vegetationstypen zu simulieren. Daraus lassen sich Parameter wie die pflanzliche Produktivität sowie der Austausch von Kohlenstoff und Wasser zwischen Pflanzen, Böden und Atmosphäre ableiten. Das Modell ist in der Lage sowohl natürliche, als auch menschlich überprägte und genutzte Ökosysteme abzubilden. Die natürliche Pflanzenvielfalt wird über neun pflanzenfunktionale Typen, die landwirt-

schaftlichen Nutzpflanzen über 13 „crop functional types“ im Modell implementiert. Für die Darstellung des Energiepflanzenanbaus wurde LPJmL um einen hochproduktiven Grastyp (C4 Photosynthesemechanismus) und zwei schnell wachsende Baumtypen (jeweils ein tropisch/außertropisch) erweitert. Angetrieben wird das Modell von 15 Klimaszenarien und 3 Emissionsszenarien, die alle für den vierten IPCC Bericht berechnet wurden. Neben den zu erwartenden Erträgen ist die Verfügbarkeit von Land für den gezielten Anbau von Bioenergie entscheidend.

Bei Berücksichtigung der Tatsache, dass sich aus Abfällen und Reststoffen etwa 50 EJ pro Jahr gewinnen lassen, ergibt sich aus den Modellrechnungen, dass das globale technisch-nachhaltige Potenzial in der Größenordnung zwischen 80 und 170 EJ pro anzusiedeln ist. Der Anteil am Gesamtpotenzial aus Energiepflanzen, der in Europa gewinnbar ist, liegt je nach Szenario zwischen 3,4 und 14 EJ pro Jahr.

Für Deutschland lassen sich mit dem Modell keine Potenziale ausweisen, da es für die globale Anwendung konzipiert ist. Um eine Einschätzung vornehmen zu können, wird hier Ausführungen, des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU) in seinem Sondergutachten „Klimaschutz durch Biomasse“ (SRU, 2007) zurückgegriffen. Der SRU analysiert insgesamt vier Studien, die unterschiedliche Szenarien bezüglich der Vorgaben des Biomasseausbaus betrachten. Im folgenden werden nur die umweltbezogenen Szenarien betrachtet, welche Umwelt- und Naturschutzvorgaben im besonderen Maße berücksichtigen, da diese der Ermittlung des nachhaltigen, technischen Potenzials am nächsten kommen. Darüber hinaus wird vor allem Bezug auf die Ergebnisse der Studien des Öko-Instituts (Fritsche et. al., 2004) und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (Nitsch et. al., 2004) genommen, da die anderen Studien nach Ansicht des SRU entweder die derzeitigen naturschutzrechtlichen Regelungen nicht ausreichend berücksichtigen oder Annahmen auf Staatenebene nicht individuell genug betrachtet werden (SRU, 2007, p.37). In Tabelle D - 2 sind die Potenziale aus Reststoffen, sowie die Flächen, die für den Anbau von Energiepflanzen zur Verfügung stehen, dargestellt.⁵ Die Reststoffpotenziale für das Jahr 2000 sind in etwa gleich, in der DLR-Studie steigen sie danach sprunghaft auf ein höheres Level an. Grund hierfür ist, dass die Nutzung von Land-schaftspflegematerial in der DLR-Studie erst ab 2010 dem Potenzial zugerechnet wird.

Tabelle D - 2: Potenziale aus Reststoffen und an Flächen in Deutschland

Studie/Jahr	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Reststoffpotenzial in [PJ/a]						
Öko-Institut	520	525	536	545		
DLR	543	677	696	705	715	724
Flächenpotenzial in [Mio. ha] (ohne Grünland)						
Öko-Institut		0.61	1.82	2.94		
DLR		0.15	1.1	2	3.1	4.2

Prognos 2009, Datenquellen: Öko-Institut et. al. 2004; Nitsch et. al. 2004

Um aus dem Flächenpotenzial ein Primärenergiepotenzial abzuleiten, müssen Annahmen zu den genutzten Pflanzenarten und den erzielbaren Erträgen pro Fläche gemacht werden. Eine mögliche Größenordnung beschreibt eine Studie von Kollas et al., welche das

⁵ Für die genaue Herleitung der einzelnen Potenziale wird auf die entsprechenden Studien verwiesen.

Primärenergiepotential aus dem Anbau von Kurzumtriebsplantagen in Deutschland abschätzt. Durch das Modell 4C wird das Pflanzenwachstum für den Zeitraum von 2041-2060 unter 21 Klimaszenarien simuliert. Dies führt je nach Szenario zu 5,77 bis 7,25 Tonnen Trockenmasse pro Hektar. Das erzielbare Primärenergiepotential wird für verschiedene zur Verfügung stehende Landflächen berechnet. Wenn 4 Mio. ha genutzt werden, was in etwa dem in der DLR-Studie ermittelten Potenzial für 2050 entspricht, ließen sich im Zeitraum 2041 bis 2060 durchschnittlich 415 bis 522 PJ/a erzielen. Rechnet man zu diesem Wert das Potenzial aus Reststoffen hinzu, ergibt sich, dass die Obergrenze für das nachhaltige, technische Potential aus Bioenergie, welches in Deutschland 2050 gewonnen werden kann, ungefähr bei 1200 PJ/a liegt.

D.2 Endenergie aus Bioenergie

D.2.1 Umwandlungsverfahren

Die durch Biomasse bereit gestellte Primärenergie wird in den meisten Fällen durch einen Konversionsprozess in Brennstoff umgewandelt. Dieser wird eingesetzt, um im Verbrennungsprozess Wärme zu erzeugen, welche in die gewünschte Form von Endenergie gewandelt werden kann. Auf jeder Prozessstufe steht eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung, welche sich durch unterschiedliche Kosten, Wirkungsgrade und Treibhausgasemissionen auszeichnen. Bei der Umwandlung der Biomasse in Brennstoffe kann zwischen thermochemischen, physikalisch-chemischen und biochemischen Verfahren unterschieden werden. Zu den thermochemischen Verfahren zählen die Verkohlung, das ist die Umwandlung in Holzkohle zur Erhöhung des Energiegehalts, die Vergasung, welche unter hohen Prozesstemperaturen biogenes Gas erzeugt und die Pyrolyse (Verflüssigung), welche durch die thermische Zersetzung fester Biomasse Pyrolyseöl mit hoher Energiedichte erstellt. Physikalisch-chemische Verfahren sind eine Reihe von Verfahren, die durch Pressung oder Extraktion mit Hilfe eines Lösungsmittels energetische Öle gewinnen. Diese Verfahren sind bereits aus der Speiseölproduktion etabliert. Durch Veresterung ist es zusätzlich möglich, die Öle unter Verlusten von 5-10% in Biodiesel umzuwandeln. Biochemische Umwandlungen erfolgen unter Zuhilfenahme von Mikroorganismen. Bei Vergärung führt der anaerobe Abbau organischer Stoffe zu Biogas, beim aeroben Abbau wird durch Oxidation Wärme freigesetzt und bei der Alkoholgärung wird Ethanol aus organischen Stoffen mit Hilfe von Bakterien/Hefen gewonnen. Keine Umwandlung ist notwendig bei Mitfeuerung von Biomasse in Kraftwerken, da für diese Anwendungen Biomasse bereits als Brennstoff vorliegt.

Zur Erzeugung von Endenergie steht ebenfalls eine Reihe von Verfahren zur Verfügung, die entweder zentral oder dezentral eingesetzt werden können. Bei diesen wird durch die Oxidation eines Brennstoffs Energie freigesetzt. In der Regel handelt es sich hierbei um Kohlenstoff, welcher auch der Grundbestandteil aller Biomasseprodukte ist, zusätzlich kann aber auch Wasserstoff, welcher zum Beispiel aus Biogas gewonnen werden kann, in Brennstoffzellen eingesetzt werden. Grundsätzlich gilt, dass sich bei steigender Anlagengröße (Umwandlung, Verbrennung) unter sonst gleichen Bedingungen höhere Wirkungsgrade erzielen lassen, was sich dementsprechend auf die Kosten und Treibhausgasvermeidungsleistung auswirkt.

D.2.2 Bewertung von Bioenergienutzungspfaden

Aus den oben vorgestellten Prozessen lassen sich eine Vielzahl von Nutzungspfaden zur Bereitstellung von Endenergie (Strom, Wärme, Kraft) ableiten, die um das begrenzte bio-energetische Primärenergiepotenzial konkurrieren. Da die einzelnen Prozessstufen voneinander abhängig sind, ist für eine sinnvolle Bewertung jeweils die gesamte Prozesskette zu beurteilen. Zur Beurteilung lassen sich ökologische, ökonomische, technische und geographische Kriterien heranziehen. Welche davon ausschlaggebend für die Auswahl von Nutzungspfaden sein sollen, hängt von der Fragestellung der Untersuchung ab.

Zur Bewertung potentieller Nutzungspfade hat der WBGU Experten beim deutschen Biomasseforschungszentrum (Müller-Langer et. al., 2008) und beim Öko-Institut (Fritsche und Wiegmann, 2008) in Auftrag gegeben. Insgesamt wurden 66 Nutzungspfade benannt, für die entweder derzeit bereits ein Markt existiert oder die der WBGU aus ökologischer bzw. technischer Sicht als besonders betrachtenswert erachtet. Gemessen an vergleichsweise strikten Nachhaltigkeitskriterien als Prämisse wurden weitere Pfade von der Analyse ausgeschlossen, wenn mindestens eine der folgenden Bedingungen vorlag:

1. Das Herkunftsland der Biomasse ist nicht Deutschland bzw. ein anderes EU Land. Dies ist derzeit notwendige, aber nicht hinreichende Voraussetzung, um die Einhaltung der strengen Standards zur Nachhaltigkeit sicherstellen zu können.
2. Die Treibhausgasbilanz eines Pfades ist negativ, das heißt es werden insgesamt mehr Treibhausgase freigesetzt als eingespart (dies ist besonders aufgrund der Berücksichtigung indirekter Landnutzungsänderungen bei einigen Pfaden der Fall).
3. Die Treibhausgasvermeidungskosten des Pfades liegen oberhalb von 420 €/t CO₂-Äqu.

Dies sind die gegenwärtigen CO₂ Vermeidungskosten von Photovoltaik in Deutschland, die hier als „Backstop“ Technologie gewählt wurde, da sie gegenwärtig als sehr teure Option angesehen wird, wenngleich für die Zukunft die Option gesehen wird, dass durch „technologisches Lernen“ die Kosten signifikant gesenkt werden. Dies kann in ähnlicher Weise von derzeit noch teuren, innovativen Bioenergie-Technologiepfaden erwartet werden. Diese Regel kann zwar zum Ausschluss von klimateffizienten Pfaden führen, ist aber so zu verstehen, dass Bioenergie auch nur eine von mehreren Klimamaßnahmen darstellt, die um begrenzte Mittel konkurrieren.

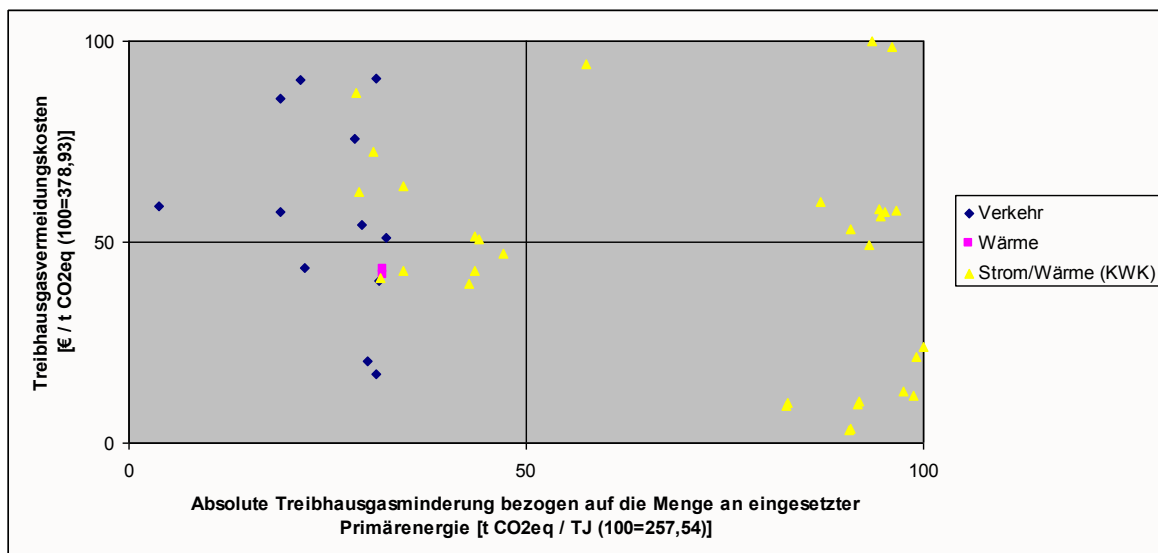
Die Bewertung der vorhandenen Nutzungspfade erfolgt anhand der Darstellung in einer vier Felder Matrix mit den Dimensionen „absolute Treibhausgasminderung bezogen auf die Menge an eingesetzter Bruttoenergie“ auf der x-Achse und „Treibhausgasvermeidungskosten“ auf der y-Achse. Der Parameter auf der x-Achse wird gewählt, da er einen sinnvollen Vergleich zwischen Pfaden die sowohl Energiepflanzenanbau als auch Restenutzung beinhalten ermöglicht. Zudem wird hierbei auch berücksichtigt, dass elektrische und mechanische Energie höherwertige Endenergie darstellen als Wärmeenergie, so dass ein Vergleich zwischen den Sektoren sinnvoll möglich ist.

Die Achsen der Abbildung wurden normiert, so dass „100“ jeweils die höchste Ausprägung darstellt, die ein Parameter innerhalb des Datensatz aufweist. Für die Treibhausgasminderung sind dies 257,54 t CO₂-Äqu./TJ und für die Treibhausgasvermeidungskosten

ten 378,93 €/t CO₂-Äqu.. Alle anderen Werte sind in prozentualer Relation zu diesen Werten zu sehen. Anhand der Grafik können die effektivsten Pfade bezüglich der Dimensionen Treibhausgasminderung und Treibhausgasvermeidungskosten identifiziert werden. Um zukünftig den höchsten Nutzen aus der Bioenergienutzung zu erzielen, sollten die Pfade aber danach ausgewählt werden, wie Bioenergie mit ihren spezifischen Eigenschaften in einem transformierten, möglichst emissionsfreien Energiesystem den höchsten Nutzen erzielen kann. Aufgrund der universellen Einsetzbarkeit können dies insbesondere Pfade sein, für welche sonst kein das Klima schonende Substitut vorhanden ist.

Pfade, die im linken oberen Quadranten liegen, sollten nicht weiter verfolgt werden, da sie sowohl kosten- als auch klimaseitig anderen Pfaden unterlegen sind. Pfade, die im Quadranten rechts unten liegen sollten weiterverfolgt werden. Bei mehreren Alternativen sollten weitere Kriterien überprüft werden, die Synergien in einem transformierten Energiesystem ermöglichen. Pfade, die in den Quadranten links unten oder rechts oben liegen, sollten geprüft werden, wenn sie in ihrer spezifischen Anwendung nicht substituierbar sind. Bei Pfaden, die im Quadranten rechts oben liegen, sollte dann insbesondere geprüft werden ob der komparative Kostennachteil auf den Kapitalkosten beruht und wenn ja auf welchem Teil der Lernkurve diese Technologie sich befindet, um Abschätzungen für die Zukunft zu ermöglichen, und daraus evtl. Empfehlungen bezüglich Fördermaßnahmen abzuleiten. Bei Pfaden im Quadranten links unten könnte der geringere Klimaschutzeffekt in Kauf genommen werden, wenn dadurch schwer zu substituierende Anwendungen im Sinne einer Systemoptimierung erfüllt werden.

Abbildung D- 3: *Einordnung der Nutzungspfade nach spezifischen Treibhausgasminderungspotentialen und Treibhausgasvermeidungskosten*



Prognos 2009, Datenquellen: Fritsche/Wiegmann 2008; Müller-Langer et. al. 2008

D.3 Fazit, Anforderungen an eine Biomassestrategie

Zwischen den verschiedenen Nutzungsanforderungen (Ernährung, stoffliche Verwertung, Rohstoffe für energetische Verwertung) an Biomasse und dem begrenzten nachhaltig gewinnbaren Aufkommen besteht ein Zielkonflikt, der nur mit der Entwicklung einer kohärenten Biomasse- und Ernährungssicherungsstrategie gelöst werden kann. Hierbei ist

eine Operationalisierung von Nachhaltigkeitskriterien bezüglich der Flächen, der Produkte und der Anbauweise notwendig. Diese Kriterien beinhalten die Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion, die Aufrechterhaltung oder Verbesserung von Biodiversitätsleistungen als Anforderung an Flächenkonversionen sowie Fragen indirekter Landnutzungseffekte.

Dies ist insbesondere eine Herausforderung für die Importe von Biomasse. Perspektivisch sollte darauf hingewirkt werden, dass entsprechende international anerkannte Nachweissysteme für den Handel mit Biomasse etabliert werden.

Für den Einsatz von Biokraftstoffen müssen insgesamt Einsparungen an Treibhausgasen unter Einrechnung der gesamten Prozesskette (incl. indirekter Landnutzungseffekte) entstehen.

Anhang E Exkurs: Elektrizitätsspeicher

E.1 Hintergrund

Die Einführung großer Mengen fluktuierender erneuerbarer Energien in das Stromsystem erfordert einen gegenüber der Vergangenheit deutlich veränderten Umgang mit Regelungs- und Netzfragen.

Die ins Netz eingespeiste Leistung verläuft völlig unabhängig von der Nachfragelastkurve. Dies ist bei einem geringen Anteil (ca. 10 %) fluktuierender Erzeugung mit Hilfe von Zwischenspeichern, Spitzen- und Regelenergiekraftwerken derzeit noch beherrschbar. Gleichwohl ergeben sich beim Transport größerer Mengen von Windstrom aus Küstenregionen vor allem in Schwachlastzeiten bereits jetzt Stabilitätsprobleme im Netz.

Bei deutlich größeren Mengen an Erneuerbaren an der Erzeugung (wie z.B. im Innovationszenario ohne CCS) gewinnt dieses Problem an Bedeutung. Es müssen dann neue Wege gefunden werden, für den Ausgleich und die Netzstabilität zu sorgen.

Grundsätzlich gibt es drei Wege, Strombedarf und Stromerzeugung auszugleichen:

- Steuerung der Stromerzeugung
- Steuerung der Stromnachfrage
- Zwischenspeicherung von elektrischer Energie

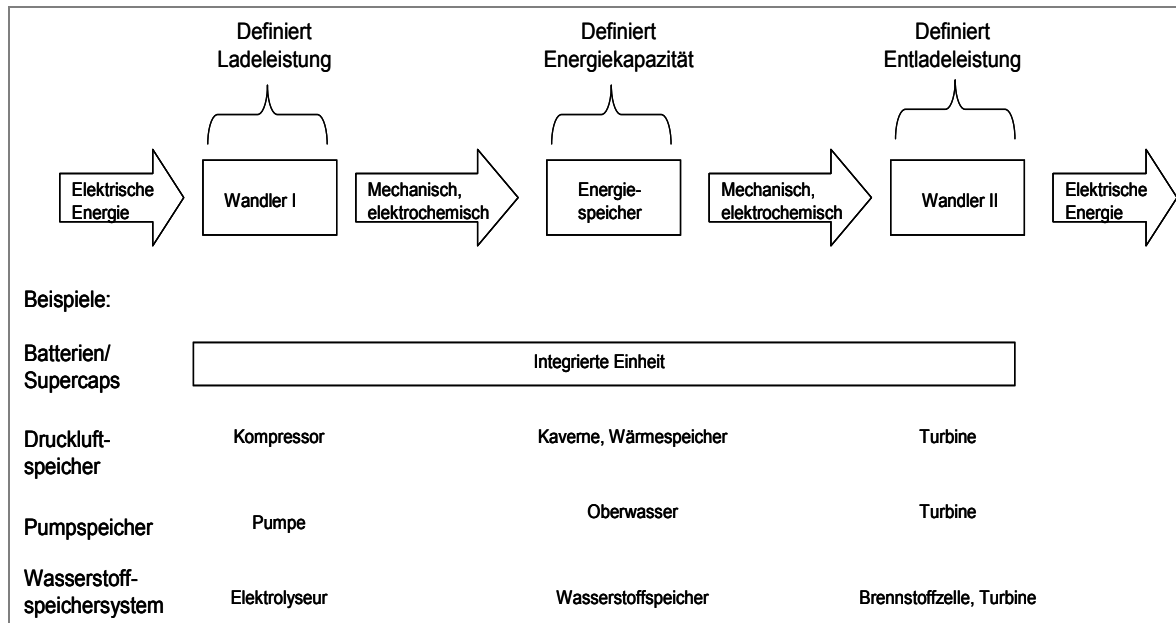
Alle drei Optionen werden erprobt und weiterentwickelt. Im Rahmen der Steuerungsmöglichkeiten durch elektronische Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik sowie automatischer Kommunikation mit Verbrauchern (energieverbrauchenden Geräten) wird der gekoppelten Echtzeitsteuerung des Netzes und der Verbraucher ein gewisses Problemlösungspotenzial zugeschrieben. Modellprojekte zu diesen Fragen sind derzeit in Arbeit („e-energy“). Es ist jedoch zu erwarten, dass allein über Regelungsmechanismen das Problem nicht vollständig zu lösen ist. Die überschlägigen Rechnungen aus den Szenarien zeigen, dass die Differenz zwischen Lastkurve und eingespeistem Stromangebot zeitweise deutlich über 20 GW ausmachen kann. Hier werden auch Speicher eine wesentliche Rolle im Lastmanagement übernehmen müssen.

Speicher können in sehr unterschiedlichen Zeitskalen, Lastcharakteristiken und Anwendungszwecken eingesetzt werden. Bei den Anwendungszwecken stehen die folgenden vier grundsätzlich unterschiedlichen Ziele im Vordergrund:

- Unterbrechungsfreie Stromversorgung
- Load Leveling
- Primärenergieregulation
- Aufrechterhaltung der Spannungsqualität

Technisch genügen Stromspeicher grundsätzlich dem Funktionsprinzip „Stromwandler (Input) – Speichermedium – Stromwandler (Output)“. Hierbei bringen die drei Elemente jeweils Begrenzungen der Ladeleistung, der Speicherkapazitäten und der Entladeleistung mit sich. Einige Charakteristika von Speichertypen sind im folgenden Schema aufgeführt:

Abbildung E- 1: Speichertypen und -charakteristika



Quelle: ISEA 2008

Eine Vielzahl von technischen Optionen zur Speicherung von Strom sind bekannt, die sich durch z. T. sehr unterschiedliche Ausprägungen bestimmter technischer Kennzahlen unterscheiden. Es gibt aus heutiger Sicht keine Technologie, die als universeller Energiespeicher für alle Anwendungsbereiche geeignet wäre.

Viele Technologien befinden sich noch im Prozess der Entwicklung. Derzeit ist nicht absehbar, welche Technologien sich letztlich für welche Anwendungszwecke durchsetzen werden. Deshalb können keine belastbaren Aussagen über mögliche Kostendegressionen getroffen werden. Grundsätzlich kann die Spitzen- und Regelenergieproduktion aus Gasturbinenkraftwerken (mit CO₂-Kompensation) als Benchmark für die Zielkosten heran gezogen werden.

E.2 technische Optionen

Druckluftspeicher

In Druckluftspeichern (CAES – compressed Air Energy storage und AA-CAES – Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage) wird überschüssige Elektrizität eingesetzt, um Umgebungsluft mit Hilfe von Kompressoren bei Drücken von 50 bis 70 bar einzulagern. Bei Bedarf kann die komprimierte Luft durch eine Gasturbine expandieren, die wiederum einen nachgeschalteten Generator zur Stromerzeugung antreibt. In einem solchen Verfahren ist ein Wirkungsgrad um 50% erzielbar. Aktuelle Forschungen haben zum Ziel, den Wirkungsgrad auf über 70% zu steigern, indem die bei der Kompression der Luft anfallende Wärme in thermischen Hochenergiespeichern gespeichert und bei der Entnahme wieder zur Lufterwärmung genutzt wird. Druckluftspeicher sind eine interessante Option für die dezentrale, Offshore-nahe Speicherung von Windenergie, da die meisten Salzformationen, die als Speicher in Frage kommen, sich entlang der norddeutschen Küste befinden, wo auch das größte Angebot an Wind ist. Zur technischen Realisierbarkeit von AA-CAES liegen die Herausforderungen in der Weiterentwicklung von Kompressoren, die Temperaturen um 650°C und Drücken von 100 bis 200 bar standhalten sowie in der Erforschung von Materialien, welche die Wärme zwischenspeichern.

Pumpspeicher

Pumpspeicherkraftwerke nutzen die Höhendifferenz zwischen einem Speichersee (Oberwasser) und einem tiefer gelegenen Reservoir (Unterwasser), um durch Hochpumpen bzw. den Betrieb von Turbinen je nach Bedarf Leistung aus dem Netz zu entnehmen bzw. in das Netz einzuspeisen. Die speicherbare Energie hängt ab von der Höhendifferenz und dem Volumen des Speicherbeckens und reicht typischerweise aus, um eine Turbine acht Stunden unter Volllast anzutreiben. Da Pumpspeicherkraftwerke relativ schnell nach etwa einer Minute ihre Nennleistung erreichen und technisch ausgereift sind, sind sie mit einer installierten Gesamtleistung von 6.610 MW die mit Abstand wichtigste Technologie zur Bereitstellung von Regelleistung in Deutschland. Das Potenzial an vorhandenen Standorten ist in Deutschland weitestgehend ausgeschöpft. Eine Erhöhung der Leistung könnte noch durch die Nachrüstung alter Anlagen erreicht werden. Neue Standorte ließen sich eventuell durch den Bau von unterirdischen Anlagen (z.B. ehemaliger Tagebau) oder die Nutzung von Salzwasserstandorten erschließen, wobei hier noch eine Reihe offener Fragen bestehen.

Schwungräder

Schwungräder speichern elektrische Energie in Form von Bewegungsenergie. Im Ladevorgang wird das Schwungrad über einen Elektromotor in Bewegung gesetzt, der im Entladevorgang als Generator wirkt. Schwungräder sind besonders als Kurzzeit-Hochleistungsspeicher geeignet, da sie in kurzer Zeit sehr viel Energie abgeben oder aufnehmen können und die Selbstentladung relativ hoch ist. Die speicherbare Energie hängt vom Trägheitsmoment des Rotationskörpers und der Rotationsgeschwindigkeit ab. In Hinblick auf die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen werden derzeit eine Reihe weiterer Anwendungsbereiche für Schwungräder diskutiert. Für die Nutzung in Elektrofahrzeugen wird die Entwicklung leichter Schwungräder aus Verbundwerkstoffen entscheidend sein. Zum Ausgleich von Lastschwankungen muss die Speicherzeit erhöht werden. Hierzu könnten supraleitende Magnetlager, die sich derzeit in der Entwicklung befinden, beitragen.

Doppelschichtkondensatoren

Doppelschichtkondensatoren, auch Supercaps (EDLC – electrochemical double layer Capacitor) genannt, vereinen sehr hohe Leistungsfähigkeit und Zyklenfestigkeit mit vergleichsweise hoher Energiespeicherfähigkeit und füllen so die Lücke zwischen konventionellen Kondensatoren und Batterien. Die im Vergleich zu klassischen Kondensatoren höhere Energiespeicherfähigkeit wird durch den Einsatz von hochporösem Elektrodenmaterial mit einer sehr effektiven Oberfläche erreicht. Die Kosten sind mit einigen 10.000 € pro kW noch sehr hoch. Es wird aber erwartet, dass durch Massenproduktion deutliche Kostensenkungen realisierbar sind. Zur Unterstützung einer regenerativen Stromversorgung ist der Einsatz in mehreren Anwendungsfeldern denkbar. In Fahrzeugen, in denen die Kondensatoren bei jedem Halt neu aufgeladen werden, können sie zur Deckung des Spitzenstrombedarfs eingesetzt werden, aber auch ein alleiniger Einsatz in Elektrofahrzeugen wird getestet. Weiterhin sind EDLC geeignet, Leistungsschwankungen auszugleichen sowie zur Kurzspeicherung von Photovoltaikstrom oder zur netzunabhängigen Flügelsteuerung von Windrädern.

Elektrochemische Speichersysteme

Elektrochemische Speichersysteme lassen sich dahingehend unterscheiden, ob der Energiespeicher im System integriert oder extern ist. Klassische Beispiele für Systeme mit internem Speicher sind Akkumulatoren, welche entweder bei Raumtemperatur (Blei-Säure, NiCd/ NiMH, Li-Ion) oder im Hochtemperaturbereich betrieben werden können (NaNiCl, NaS). Bei Systemen mit externem Speicher sind die Energiewandlung und die Speicherung von einander unabhängig. Da der Energiegehalt durch Ausbau der Tankgröße flexibel steigerbar ist, sind diese Systeme besonders für den großtechnischen Einsatz interessant. Der bekannteste Vertreter dieser Gruppe sind Redox-Flow Batterien. Ist das Energiespeichermedium transportabel, lassen sich Lade- und Entladeprozess auch räumlich entkoppeln, wie dies bei der Wasserstoffspeicherung mit Elektrolyseur und Brennstoffzelle der Fall ist.

Blei-Säure Batterien

Die Technologie von Blei-Säure Batterien, bei der die Elektroden aus poröser Aktivmasse mit hohen inneren Oberflächen gebildet werden, ist seit über 100 Jahren bekannt. Da diese Technologie technisch ausgereift und deshalb auch zuverlässig und preisgünstig ist, liegt sie bei der weltweit installierten Batteriekapazität, trotz einer vergleichsweise geringen Energiedichte, an der Spitze. Anwendung findet sie in vielen Bereichen zur Lösung lokaler Probleme in der Energieversorgung wie der Stabilisierung von Netzausläufern sowie der Aufrechterhaltung von Frequenz- und Spannungsstabilität.

Lithium-Ionen Batterien

Lithium-Ionen Batterien werden schwerpunktmäßig in mobilen Anwendungen eingesetzt. Der entscheidende Vorteil gegenüber anderen Batterien liegt in den hohen erzielbaren Energiedichten von bis zu 240 Wh/kg. Bezüglich der Auswahl an Elektrolyten und Elektrodenmaterialien bieten Lithium-Ionen Batterien vielfältige Kombinationsmöglichkeiten, die sich zu großen Teilen noch in der Erforschung befinden. Deshalb wird auch davon ausgegangen, dass für die Zukunft große Potenziale bestehen, Lithium-Ionen Batterien hinsichtlich spezifischer Anwendungen (z.B. Elektromobilität) zu optimieren und die Kosten zu senken.

Hochtemperaturbatterien

Im Unterschied zu den anderen Batterietypen sind bei Hochtemperaturbatterien die Elektroden (Aktivmasse) flüssig und der Elektrolyt fest. Damit die Aktivmasse reaktiv wird, muss sie in flüssigem Zustand vorliegen. Dies ist bei Arbeitstemperaturen von 300 bis 350°C der Fall, welche möglichst konstant gehalten werden sollten, da ein zu starkes Absinken der Temperatur die Batterie unbrauchbar macht. Das Temperaturniveau lässt sich bei entsprechender Isolierung durch die eigene Reaktionswärme der Batterie aufrecht erhalten. Dafür sind Zyklen ohne Stand- und Wartezeiten erforderlich, weshalb Hochtemperaturbatterien für Anwendungen im Bereich der unterbrechungsfreien Stromversorgung eher nicht geeignet sind.

Redox-Flow Batterien

Redox-Flow Batterien sind der bekannteste Vertreter aus der Gruppe von Batteriesystemen mit externem Speicher, welche die energiespeichernden Elektrolyte beherbergen. Bei Bedarf werden die Elektrolyte für den Lade- bzw. Entladeprozess in die Zelle gepumpt; daher rührt auch der Name „Flow“. Bei einem solchen System ist die gespeicherte Energiemenge unabhängig von der Zellengröße, so dass der Energiegehalt über die Tankgröße und die Leistung der Batterie über die Lade-/ Entladeeinheit bestimmt wird. Da die Tankgröße durch Ausbau einfach erweiterbar ist und die Anlieferung der Elektrolyten über Tanklastwagen erfolgen kann, sind solche Systeme gut für den Einsatz in großen stationären Systemen mit Netzanbindung sowie für den netzfernen Inselbetrieb geeignet.

Wasserstoff

Ein Wasserstoffkreislauf lässt sich als Strom zu Strom-Prozess mit dem Zwischenspeicher Wasserstoff auslegen. Ein solcher Kreislauf ähnelt in seinen Eigenschaften denen einer Batterie. Wasserstoff wird aus Klima- und Effizienzgesichtspunkten am besten aus CO₂-freiem und überschüssigem Strom gewonnen. Über einen Elektrolyseprozess kommt es zur Bildung von Wasserstoff an der negativen und von Sauerstoff an der positiven Elektrode. Da die Elektrolyseure in ihrer Leistung sehr flexibel sind, stellt die Wasserstoff-erzeugung auch eine Option zum Lastausgleich bei stark fluktuierender Stromerzeugung dar, indem Stromüberschüsse zur Wasserstoffproduktion verwendet werden und die Elektrolyseure bei Auftreten kurzfristiger Nachfrageerhöhungen umgehend heruntergefahren werden. Um die zeitliche Differenz zwischen Produktion und Nutzung des Wasserstoffes zu überbrücken und ihn evtl. an einen anderen Ort zu transportieren, muss der Wasserstoff gespeichert werden. Zum jetzigen Zeitpunkt kommen dafür Druckgasspeicher, Flüssiggasspeicher und Metallhydridspeicher in Frage. In Druckgasspeichern erfolgt die Speicherung unter hohen Drücken (200 bis 700 bar), ähnlich wie bei Erdgas. Die Speicherdichte des Wasserstoffs kann erheblich erhöht werden, wenn er auf -253°C heruntergekühlt wird, wodurch ein Transport per Schiff über weite Strecken möglich wird. Allerdings muss für das Herunterkühlen in etwa ein Drittel des Energiegehaltes aufgewendet werden. Bei der Verwendung von schwammförmigen, porösen Metallhydriden binden sich die Wasserstoffmoleküle derart an die Metallatome, dass sich bei wesentlich einfacher handhabbaren Drücken von 10 bis 20 bar die gleichen Speicherdichten erzielen lassen wie bei Druckluftspeichern. Nachteil ist das vergleichsweise sehr hohe Gewicht der in Frage kommenden Metallverbindungen.

Tabelle E- 1: Kennzahlen von Speichersystemen

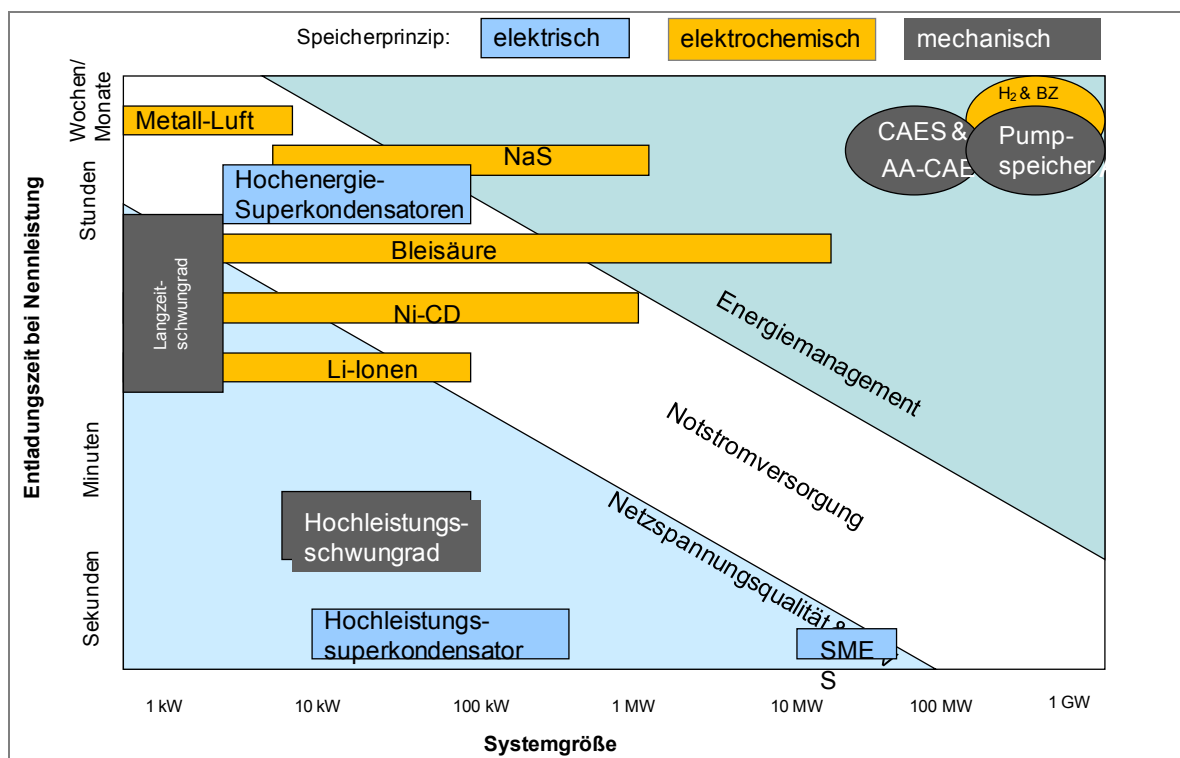
Physikalischer Speicherzustand	Speichertechnologie	Einsatzgebiet	Wirkungsgrad (%)	Leistung	Speicherkapazität	Energiedichte	Entladezeit	Selbstentladerate	Zyklenzahl	Kosten (€/kWh)
Mechanisch	Pumpspeicher	Spitzenlast, Minutenreserve, Schwarzstartfähig	65 - 85	2,3 MW - 1060 MW (in D)	bis 8.480 MWh (in D)	0,35 - 1,12 kWh/m ³	4 h bis 10 h	0 - 0,5 %/Tag	unbegrenzt	100 - 500
		Spitzenlast, Minutenreserve, Schwarzstartfähig	45 - 55; adiabatisch: 60 - 75	110 MW - 290 MW; adiabatisch bis GW Bereich (gelant)	580 - 2.860 MWh	0,5 - 0,8 kWh/m ³ (bei 60 bar)	2 h bis 24 h	0 - 10 %/Tag	unbegrenzt	40 - 100
	Schwungrad	Leistungsreserve, unterbrechungsfreie Stromversorgung	80 - 95	5 kW - 3 MW	bis 5 MWh	84 - 333 kWh/m ³	Sekunden/Minutenbereiche	3 - 20 %/h	mehrere Millionen	1000 - 5000
Elektrisch	Kondensatoren	Leistungsreserve, unterbrechungsfreie Stromversorgung	90 - 95	< 150 kW	bis 52 kWh	bis zu 10 kWh/m ³	wenige Sekunden	0,1 - 0,4 %/h	> 1.000.000	10.000 - 20.000
	Spulen	Leistungsreserve, unterbrechungsfreie Stromversorgung	90 - 95	10 kW - 100 MW		ca. 10 kWh/m ³	Sekunden/Minutenbereiche	10 - 12 %/Tag	1'000'000	30.000 - 200.000
Elektrochemisch	Blei-Säure	Unterbrechungsfreie Stromversorgung, Sicherung der Spannungsqualität, Reservespeicher	80 - 90	70 MW (max. bisher installierte Leistung)	1 kWh - 40 MWh	25 - 40 Wh/kg	1h bis mehrere Tage	5%/Monat	50 - 2000, selten bis zu 7000	25 - 250
		Elektromobilität	fast 100	1 kW - mehrere MW	bis 50 kWh	95 - 240 Wh/kg	1h bis mehrere Tage	5%/Jahr	500 - 3000 (80% Entladung)	800 - 1.500
	NaNiCl/NaS	Mobilität, Lastausgleich	ca. 75	bis zu 6 MW	20 kWh - 48 MWh	80 - 140 Wh/kg		niedrig		
	Elektrolyseur/Wasserstoff	Langzeitspeicher, Netzeingliederung, Inselnetze	20 - 40	kW bis GW Bereich		33.000 Wh/kg 2.300 Wh/l		0-1%/Tag		noch nicht genau bezifferbar
	Redox - Flow	Langzeitspeicher, Spannungsregulierung	66 - 81	30 kW - 3 MW	bis 5 MWh (realisiert), bis 120 MWh (geplant)	15 - 70 Wh/kg	1,5 s - 10 h	keine	10'000	100 - 1.000

Prognos 2009, Datenquelle: Agentur für erneuerbare Energien 2008, eigene Recherche

E.3 Einsatzbereiche von Stromspeichern

Die Anforderungen an die Anpassungsfähigkeit des Kraftwerksparks durch fluktuierende Einspeisung lassen sich durch nachgefragte Leistungen und Verfügbarkeitszeiten charakterisieren. Die Hintergrundfelder kennzeichnen die Aufgaben Energiemanagement, Notstromversorgung und Aufrechterhaltung der Netzspannungsqualität im Leistungs-Zeit-Diagramm, die einzelnen Felder verorten die Charakteristika der Speichertypen in diesem Koordinatensystem.

Abbildung E- 2: Speichertypen, -charakteristika und Einsatzfelder



Quelle: ISEA 2008

Mit den bekannten Speichertechnologien wird das ganze Spektrum der benötigten Leistungen und Energien abgedeckt. Die zusätzlichen Herausforderungen durch den vermehrten Einsatz erneuerbarer Energien liegen hauptsächlich im Ausgleich der Last im Bereich von Minuten bis Tagen. Bei den stationären Speichern kommen hier insbesondere Pumpspeicherkraftwerke, Druckluftspeicher oder Großbatterien wie Redox-Flow Systeme oder Hochtemperaturbatterien in Frage. Eine Alternative bietet die zunehmend dezentrale Stromerzeugung und -speicherung.

Eine Möglichkeit, lokal verteilte Anlagen effizient einzusetzen bietet ein virtuelles Großkraftwerk, welches die zentrale Steuerung der Anlagen übernimmt. Dazu müssen die Anlagen über modernste Kommunikationstechnik mit der Leitstelle verbunden werden. Zunächst wird durch die Stromproduktion der Eigenbedarf abgedeckt. Die Stromabgabe an das Netz wird über die Leitstelle koordiniert. Auch bei Netzanbindung kann der Einsatz dezentraler Speichersysteme sinnvoll sein. Die Logik dahinter besteht in der Optimierung

des Strombezugs durch die Betreiber der Erzeugungsanlagen. Die Errichtung eines Speichers rechnet sich immer dann, wenn die Differenz zwischen den Kosten für den Energiebezug und die Vergütung für die Einspeisung größer ist als die Kosten für den Speicher. Sind die Speicher ebenfalls über die Leitstelle integriert, kann ein zentral gemanagter Großspeicher entstehen.

Eine weitere Perspektive, dezentrale Stromspeicher mit dem Netz zu verbinden, ergibt sich aus den Entwicklungen der Plug-in Hybridfahrzeuge. Diese Fahrzeuge sind mit einem bidirektionalen Speicher und einem Netzteil ausgestattet, so dass sie am Stromnetz für den mobilen Einsatz geladen werden können. Da die meisten Fahrzeuge mehr Stand- als Fahrzeit aufweisen, können sie im Prinzip durch Verbindung mit dem Netz als steuerbare Last eingesetzt werden. Voraussetzung dafür ist eine räumlich sehr verdichtete Ladeinfrastruktur – überall, wo Fahrzeuge abgestellt werden, müssen Netzverbindungen vorhanden sein. Die Koordination des Landens und Entladens der Speicher bei Über- bzw. Schwachlast stellt entsprechende Anforderungen an die Kommunikations- und Messinfrastruktur. Bei einer durchschnittlichen Leistung von 25 kW pro Fahrzeug und mehr als 40 Mio. zugelassenen Fahrzeugen in Deutschland ist das theoretische Potenzial eines virtuellen Fahrzeugspeichers sehr groß, selbst wenn nur ein kleiner Teil der Fahrzeuge an das Netz angeschlossen wird. Offen ist allerdings die Frage, ob die Anforderungen an eine solche Zusatzleistung für das Netz durch Fahrzeuge mit der Anforderung an hohe (jederzeitige) Mobilität, die mit dem individuellen Personenverkehr verbunden wird, kompatibel ist oder gemacht werden kann.

E.4 Fazit

Grundsätzlich erscheinen die neuen Herausforderungen durch die Integration wachsender Mengen (Leistung) fluktuierender erneuerbarer Energien an die Netzregelung technisch und regelungslogisch lösbar. Die dafür benötigten Speichertechniken, denen eine tragende Rolle in diesem neuen System zukommt, sind im Grundsatz technisch vorhanden und funktionsfähig, befinden sich aber zum großen Teil noch im Entwicklungsstadium. Zuverlässigkeit, Standzeiten, Handhabung, Netzeinbindung und insbesondere Wirtschaftlichkeit müssen verbessert werden, bevor der breite Einsatz der Speicher in Sicht ist. Es kann derzeit noch nicht abgeschätzt werden, welche einzelnen Technologien oder Lösungen die „besten Kandidaten“ für diese Aufgaben sind. Hier ist weiterhin gezielte Entwicklungsarbeit mit Vorgaben und Meilensteinen zu leisten, um einerseits die Elektrifizierung des individuellen Personenverkehrs zu ermöglichen und andererseits die vielfältigen Ausgleichsaufgaben im stärker fluktuierenden Stromsystem zu bewältigen. Ein entsprechendes Forschungs- und Innovationsprogramm hat unter den Zielvorgaben des „Modell Deutschland“ hohe Priorität.

Anhang F Exkurs: Methodik und Ergebnisse der Komponentenzerlegung

Das Ziel der Komponentenzerlegung besteht darin, die Wirkungsbeiträge verschiedener Handlungsfelder in den unterschiedlichen Sektoren bzw. Quellbereichen quantitativ zu bewerten.

Handlungsfelder sind dabei z.B. Energieeffizienz, erneuerbare Energien, Nutzung von Fern- und Nahwärme, Elektrifizierung etc. Hinsichtlich der Sektoren werden einerseits die verschiedenen Subsektoren der Endverbrauchsgebiete (z. B. Personenverkehr, Güterverkehr, Luftverkehr oder Bestandsgebäude und Wohnungsneubau) sowie des Umwandlungsbereichs (z.B. Stromerzeugung) im Energiesystem und andererseits die verbleibenden Quellbereiche für Treibhausgasemissionen (Abfallwirtschaft, Landwirtschaft etc.) unterschieden.

Ausgangspunkt der Komponentenzerlegung ist die Komponentenzerlegungsmethode nach Kaya (Kaya/Yokobori 1997), mit der das Niveau der gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen wie folgt beschrieben werden kann.

$$E = P \cdot \frac{V}{P} \cdot \frac{S}{V} \cdot \frac{E}{S} = P \cdot v \cdot s \cdot e$$

mit

E Emission

P Bevölkerung

V Wertschöpfung (Bruttoinlandsprodukt)

S Primärenergieverbrauch

v spezifische Wertschöpfung je Einwohner

s gesamtwirtschaftliche Energieintensität

e spezifische Emissionsintensität des Energieverbrauchs

(1)

Dieser grundsätzliche analytische Ansatz wird für die sektorale Komponentenzerlegung in drei Richtungen erweitert.

- erstens wird der Ansatz für einzelne Sektoren bzw. Subsektoren spezifiziert;
- zweitens wird die Zahl der Erklärungsgrößen so erhöht, dass wesentliche Handlungsfelder identifizierbar bzw. zuordenbar werden und
- drittens wird die Komponentenzerlegung so angelegt, dass sie auch für den Vergleich von Szenarien nutzbar ist.

Eine derartige Beschreibung des Emissionsniveaus eines Sektors bzw. Subsektors durch verschiedene Erklärungsfaktoren kann in der Komponentenzerlegung wie folgt formuliert werden:

$$E_i^s = A^s \cdot \frac{A_i^s}{A^s} \cdot \frac{ES_i^{\text{tot}}}{A_i^s} \cdot \frac{ES_i^{\text{fos}}}{ES_i^{\text{tot}}} \cdot \frac{E_i^{\text{fos}}}{ES_i^{\text{fos}}} = A^s \cdot a_i^s \cdot ep_i^{\text{tot}} \cdot es_i^{\text{fos}} \cdot e_i^{\text{fos}}$$

mit

E_i^s Emission des Subsektors i im Gesamtsektor s

A^s Aktivitätsgröße des Gesamtsektors s

A_i^s Aktivitätsgröße des Subsektors i im Gesamtsektor s

ES_i^{tot} gesamter Energieverbrauch des Subsektors i (2)

ES_i^{fos} gesamter fossiler Energieverbrauch des Subsektors i

E_i^{fos} gesamte Emissionen aus dem fossilen Energieverbrauch des Subsektors i

a_i^s spezifischer Beitrag des Subsektors i zur gesamten Aktivität des Gesamtsektors s

ep_i^{tot} Energieproduktivität des Subsektors i

es_i^{fos} fossiler Brennstoffanteil am gesamten Energieeinsatz im Subsektor i

e_i^{fos} Emissionsintensität des fossilen Energieeinsatzes im Subsektor i

Damit können sowohl intersektorale Aktivitätsverschiebungen als auch die verschiedenen intrasektoral wirkenden Komponenten beschrieben werden. Die folgenden Ableitungen beziehen sich jedoch nur auf die intrasektoralen Wirkungsbeiträge.

Weiterhin kann der Wirkungsbeitrag des fossilen Brennstoffanteils am gesamten Energieeinsatz eines bestimmten Subsektors auch indirekt über die nicht-fossilen Energieträgeranteile (einschließlich der hier per Konvention zugeordneten Sekundärenergieträger Strom, Fern-/Nahwärme und Wasserstoff) spezifiziert werden.

$$es_i^{\text{fos}} = E_i^{\text{tot}} \cdot \left(1 - \frac{ES_i^{\text{ren}}}{ES_i^{\text{tot}}} - \frac{ES_i^{\text{nuc}}}{ES_i^{\text{tot}}} - \frac{ES_i^{\text{el}}}{ES_i^{\text{tot}}} - \frac{ES_i^{\text{he}}}{ES_i^{\text{tot}}} - \frac{ES_i^{\text{hy}}}{ES_i^{\text{tot}}} \right)$$

$$= E_i^{\text{tot}} \cdot (1 - es_i^{\text{ren}} - es_i^{\text{nuc}} - es_i^{\text{el}} - es_i^{\text{he}} - es_i^{\text{hy}})$$

mit

E_i^{tot} Gesamte Emissionen des Subsektors i

ES_i^{ren} Einsatz erneuerbarer Energie im Subsektor i

ES_i^{nuc} Einsatz von Kernenergie im Subsektor i

ES_i^{el} Einsatz von Elektrizität im Subsektor i

ES_i^{he} Einsatz von Fern-/Nahwärme im Subsektor i

ES_i^{hy} Einsatz von Wasserstoff im Subsektor i

es_i^{ren} Anteil erneuerbarer Energien am Energieverbrauch im Subsektor i

es_i^{nuc} Anteil der Kernenergie am Energieverbrauch im Subsektor i

es_i^{el} Anteil von Elektrizität am Energieverbrauch im Subsektor i

es_i^{he} Anteil von Fern-/Nahwärme am Energieverbrauch im Subsektor i

es_i^{hy} Anteil von Wasserstoff am Energieverbrauch im Subsektor i

(3)

Für jede der in Gleichung (2) gezeigten Komponenten kann für die verschiedenen Stützjahre der Analyseperiode eine Trendgröße ermittelt werden:

$$d_t^c = \frac{c_t}{c_0}$$

mit

d_t^c Trendgröße für die Komponente c zum Zeitpunkt t (4)

c_t Wert der Komponente c zum Zeitpunkt t

c_0 Wert der Komponente c zum Basiszeitpunkt

Für alle der in Gleichung (2) gezeigten Komponenten kann auf Grundlage der Emissionen im Basisjahr ein für die jeweilige Komponente spezifischer Beitrag zur Emissionsentwicklung isoliert werden:

$$\Delta E_t^c = E_0^{\text{fos}} \cdot (d_t^c - 1)$$

mit

ΔE_t^c isolierter Emissionsbeitrag der Komponente c (5)

E_0^{fos} gesamte Emissionen aus dem fossilen Energieverbrauch zum Basiszeitpunkt

d_t^c Wert der Trendgröße für die Komponente c zum Zeitpunkt t

Da auch Überlagerungen zwischen den verschiedenen Komponenten zu berücksichtigen sind, werden die isolierten Beiträge der verschiedenen Komponenten zur Emissionsentwicklung proportional angepasst, so dass sich die effektiven Emissionsbeiträge wie folgt ergeben:

$$\Delta E_t'^c = (E_t^{\text{fos}} - E_0^{\text{fos}}) \cdot \frac{\Delta E_t^c}{\sum_i \Delta E_t^i}$$

mit

$\Delta E_t'^c$ effektiver Emissionsbeitrag der Komponente c (6)

E_0^{fos} gesamte Emissionen aus dem fossilen Energieverbrauch zum Basiszeitpunkt

E_t^{fos} gesamte Emissionen aus dem fossilen Energieverbrauch zum Zeitpunkt t

ΔE_t^i isolierter Beitrag der Komponente i zur Emissionsentwicklung

Um die Vergleichbarkeit der verschiedenen Komponenten trotz des Anpassungsschritts für verschiedene Szenarien zu ermöglichen, wird die in Gleichung (6) beschriebene Anpassungsrechnung separat für einerseits die Aktivitätsgrößen (vgl. Gleichung (2)) und die anderen, die sog. Interventionskomponenten durchgeführt. Im Vergleich zum Referenzszenario werden damit die Beiträge der Aktivitätskomponenten zur Emissionsveränderung wie folgt ermittelt:

$$\Delta E_s^{rc} = \Delta E_{ref}^{rc} \cdot \frac{A_{i_s}^s}{A_{i_{ref}}^s}$$

mit

ΔE_s^{rc} adjustierter effektiver Emissionsbeitrag der Aktivitätskomponente c im Szenario s (7)

ΔE_{ref}^{rc} effektiver Emissionsbeitrag der Aktivitätskomponente c im Referenzszenario

$A_{i_s}^s$ Aktivitätsgröße des Subsektors i des Sektors s im Szenario s

$A_{i_{ref}}^s$ Aktivitätsgröße des Subsektors i des Sektors s im Referenzszenario

Die Beiträge der Interventionskomponenten werden entsprechend wie folgt errechnet:

$$\Delta E_{s_t}^{rc} = \left(E_0^i + \sum_a \Delta E_{s_t}^{ra} - E_{s_t}^i \right) \cdot \frac{\Delta E_{s_t}^{rc}}{\sum_j \Delta E_{s_t}^{rj}}$$

mit

$\Delta E_{s_t}^{rc}$ adjustierter effektiver Emissionsbeitrag der Interventionskomponente c im Szenario s zum Zeitpunkt t

E_0^i Emissionsniveau des Subsektors i im Szenario s zum Basiszeitpunkt

$E_{s_t}^i$ Emissionsniveau des Subsektors i im Szenario s zum Zeitpunkt t (8)

$\Delta E_{s_t}^{ra}$ adjustierter effektiver Emissionsbeitrag der Aktivitätskomponente a im Szenario s zum Zeitpunkt t

$\Delta E_{s_t}^{rc}$ effektiver Emissionsbeitrag der Interventionskomponente c im Szenario s zum Zeitpunkt t

$\Delta E_{s_t}^{ri}$ effektiver Emissionsbeitrag der Interventionskomponente i im Szenario s zum Zeitpunkt t

Nachdem die in den Gleichungen (2) gezeigten Komponenten gemäß Gleichungen (4) bis (8) hinsichtlich ihrer effektiven Wirkungsbeiträge für die Emissionsentwicklung im jeweiligen Szenario bewertet werden können, erfolgt die Differenzierung der in Gleichung (3) gezeigten Komponenten nach dem folgenden Verfahren (nicht-fossile Energieträger bezeichnen dabei alle in Gleichung (3) berücksichtigten Energieträgeranteile):

$$\Delta E_{s_t}^{nc} = \Delta E_{s_t}^{foss} \cdot \frac{es_{s_t}^c - es_0^c}{es_0^{foss} - es_{s_t}^{foss}}$$

mit

$\Delta E_{s_t}^{nc}$ adjustierter effektiver Emissionsbeitrag der Interventionskomponente c im Szenario s zum Zeitpunkt t

$\Delta E_{s_t}^{foss}$ adjustierter effektiver Emissionsbeitrag der Interventionskomponente "Fossiler Brennstoffanteil" im Szenario s zum Zeitpunkt t (9)

es_0^c Anteil des (nicht-fossilen) Energieträgers c am gesamten Energieeinsatz zum Basiszeitpunkt

$es_{s_t}^c$ Anteil des (nicht-fossilen) Energieträgers k am gesamten Energieeinsatz im Szenario s zum Zeitpunkt t

es_0^{foss} fossiler Brennstoffanteil am gesamten Energieeinsatz zum Basiszeitpunkt

$es_{s_t}^{foss}$ fossiler Brennstoffanteil am gesamten Energieeinsatz im Szenario s zum Zeitpunkt t

Die Grundannahme des hier beschriebenen Verfahrens zur Komponentenzerlegung besteht darin, dass die einzelnen Komponenten zumindest weitgehend voneinander unabhängig sind. Dies ist in der Mehrzahl der (Sub-) Sektoren und für die meisten Komponenten eine hinreichend robuste Annahme. Für zwei Bereiche führt die genannte Grundannahme jedoch zu signifikanten Modell-Artefakten.

- Erstens betrifft dies die Stromerzeugung. Die energiestatistischen Konventionen zur primärenergetischen Bewertung der Stromerzeugung in Kernkraftwerken und Windkraft-, Wasserkraft-, Solar- bzw. geothermischen Anlagen sowie zur Bewertung von Stromimporten führen zu erheblichen Verzerrungen der Energieeinsatzgrößen. Eine Ausweitung der Stromerzeugung in Windkraft-, Wasserkraft- bzw. Solarkraftwerken oder eine Ausweitung der Stromimporte (jeweils per Konvention mit einem Wirkungsgrad von 100 % bewertet) führt rechnerisch zu einem massiven Absinken des Energieeinsatzes in der Stromerzeugung, so dass der Beitrag der erneuerbaren Energien unter- und der der Energieeffizienz überschätzt würde. Der gegenteilige Effekt betrifft den Anteil der Stromerzeugung in Kernkraftwerken (per Konvention mit einem Wirkungsgrad von 33 % bewertet) oder in geothermischen Kraftwerken (per Konvention mit einem Wirkungsgrad von 10 % bewertet).
- Zweitens wird bei der Bewertung der Elektromobilität der Beitrag der Elektrifizierung unterschätzt, da bei einer endenergieseitigen Bewertung der Energieeinsatz im Verkehr bei einem größeren Anteil von Elektrofahrzeugen erheblich zurückgeht und die Bewertung der Komponente Energieeffizienz entsprechend (zu) hoch ausfällt.

Um diese durch energiestatistische Konventionen bzw. durch die endenergetische Bewertung zu Stande kommenden Artefakte in der Komponentenanalyse zu vermeiden, wurden für die beiden genannten Bereiche besondere Konventionen in Ansatz gebracht.

Für die Stromerzeugung wird die folgende Konvention zur Ermittlung der Komponente Energieproduktivität getroffen:

$$ep_{el}^{tot} = \frac{ES_{el}^{fos}}{A_{el}^{fos}}$$

mit

$$ep_{el}^{tot} \quad \text{Energieproduktivität des Stromerzeugungssektors} \quad (10)$$

$$ES_{el}^{fos} \quad \text{gesamter fossiler Energieverbrauch des Stromerzeugungssektors}$$

$$A_{el}^{fos} \quad \text{gesamte Stromerzeugung auf Basis fossiler Energieträger}$$

Die Wirkungsbeiträge der Energieproduktivität werden damit allein auf Grundlage der Veränderungen im fossilen Teil des Kraftwerksparks ermittelt.

Zur Bewertung der Komponenten Energieproduktivität und Elektrifizierung im Bereich des motorisierten Individualverkehrs werden die folgenden Anpassungen vorgenommen:

$$\Delta E_t^{rep} = \Delta E_t^{rep} \cdot \frac{(ES_t^{tot} - ES_t^{el}) - (ES_0^{tot} - ES_0^{el})}{(A_t^{tot} - A_t^{el}) - (A_0^{tot} - A_0^{el})} \cdot \frac{(A_t^{tot} - A_0^{tot})}{(ES_t^{tot} - ES_0^{tot})}$$

$$\Delta E_t^{el} = \Delta E_t^{el} + (\Delta E_t^{rep} - \Delta E_t^{rep})$$

mit

$$\Delta E_t^{rep} \quad \text{bereinigter Emissionsbeitrag der Energieeffizienzkomponente zum Zeitpunkt } t$$

$$\Delta E_t^{rep} \quad \text{effektiver Emissionsbeitrag der Energieeffizienzkomponente zum Zeitpunkt } t$$

$$ES_t^{tot} \quad \text{gesamter Energieverbrauch zum Zeitpunkt } t$$

$$ES_0^{tot} \quad \text{gesamter Energieverbrauch zum Basiszeitpunkt}$$

$$ES_t^{el} \quad \text{Verbrauch von Elektrizität zum Zeitpunkt } t \quad (11)$$

$$ES_0^{el} \quad \text{Verbrauch von Elektrizität zum Basiszeitpunkt}$$

$$A_t^{tot} \quad \text{gesamte Fahrleistung zum Zeitpunkt } t$$

$$A_0^{tot} \quad \text{gesamte Fahrleistung zum Basiszeitpunkt}$$

$$A_t^{el} \quad \text{Fahrleistung mit Elektroantrieben zum Zeitpunkt } t$$

$$A_0^{el} \quad \text{Fahrleistung mit Elektroantrieben zum Basiszeitpunkt}$$

$$\Delta E_t^{rel} \quad \text{bereinigter Emissionsbeitrag der Elektrifizierungskomponente zum Zeitpunkt } t$$

$$\Delta E_t^{rel} \quad \text{effektiver Emissionsbeitrag der Elektrifizierungskomponente zum Zeitpunkt } t$$

Die Wirkungsbeiträge, die im Zuge der Elektromobilität (im motorisierten Individualverkehr) durch die inhärent höhere Energieeffizienz entstehen, werden damit auch der Komponente Elektrifizierung zugerechnet.

Für die Quellbereiche jenseits der energiebedingten Emissionen erfolgt keine Differenzierung der Wirkungsbeiträge nach Komponenten. Die sektoralen Wirkungsbeiträge für die Emissionsentwicklung ergeben sich damit wie folgt:

$$\Delta E_t^s = (E_t^s - E_0^s)$$

mit

$$\Delta E_t^s \quad \text{effektiver Emissionsbeitrag des Sektors } s \text{ Zeitpunkt } t \quad (12)$$

$$E_t^s \quad \text{Emissionsniveau des Sektors } s \text{ zum Zeitpunkt } t$$

$$E_0^s \quad \text{Emissionsniveau des Sektors } s \text{ zum Basiszeitpunkt}$$

Die Komponentenanalyse für die Wirkungsbeiträge der verschiedenen Sektoren bzw. Quellgruppen wurde für die folgenden Bereiche durchgeführt:

1. Private Haushalte
 - a. Bestandsgebäude
 - b. Neubauten
 - c. Warmwasser
 - d. Kochen
2. Dienstleistungssektor
 - a. Raumwärme
 - b. Prozesswärme
 - c. Nicht-elektrische Antriebe
3. Verkehr
 - a. Motorisierter Individualverkehr
 - b. Öffentlicher Personenverkehr
 - c. Straßen-Güterverkehr
 - d. Schienen-Güterverkehr
 - e. Binnenschifffahrt
 - f. Flugverkehr
4. Industrie
5. Stromerzeugung

6. Andere Umwandlungsbereiche
7. Flüchtige Emissionen des Energiesektors
8. Prozessbedingte Emissionen in der Industrie sowie Emissionen aus der Produktverwendung
 - a. Kohlendioxid-Emissionen
 - b. Methan-Emissionen
 - c. Lachgas-Emissionen
 - d. F-Gas-Emissionen
9. Landwirtschaft
10. Abfallwirtschaft
11. Landnutzung und Forstwirtschaft

Für die unter Nr. 1 bis 5 genannten Sektoren bzw. Quellgruppen wurden die folgenden Komponenten analysiert:

- I. Nachfrage
 - a. sozioökonomische Aktivitäten (Wohnflächen, Wertschöpfung, Verkehrsleistung etc.)
 - b. Stromnachfrage (als Treiber für die Stromerzeugung)
- II. Energieproduktivität (als Maß für die Entwicklung der Energieeffizienz in den verschiedenen Bereichen)
- III. Anteil erneuerbarer Energien (in den Anwendungssektoren sowie in der Stromerzeugung)
- IV. Elektrifizierung (als Option der Emissionsverlagerung von den Endanwendungsbereichen in die Stromerzeugung)
- V. Fern- und Nahwärme (als Option der Emissionsverlagerung von den Endanwendungsbereichen in den Energieumwandlungssektor)
- VI. Wasserstoff (als Option der Emissionsverlagerung von den Endanwendungsbereichen in den Energieumwandlungssektor)
- VII. Kernenergie (als Spezifikum für den Stromerzeugungssektor)
- VIII. Fossiler Brennstoffwechsel (in den Endverbrauchssektoren wie auch in der Stromerzeugung)

Tabelle F- 1: Ergebnisse der Komponentenzerlegung für das Referenzszenario, 2005 – 2020, in Mio. t CO₂-Äquivalenten

Referenzszenario									
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Nachfrage	Energie- produktiv.	Erneuerb. Energien	Elektrifi- zierung	Nah-/Fern- wärme	Wasser- stoff	Kern- energie	Foss. CO ₂ - Intensität	Andere
Private Haushalte									
Raumwärme (Bestandsgebäude)	-2,4	-19,7	-1,7	0,2	-1,7	-	-	-0,9	-
Raumwärme (Neubau)	7,5	-4,6	-1,7	0,2	-0,1	-	-	-1,0	-
Warmwasserbereitung	-0,2	-0,5	-1,3	-0,8	0,0	-	-	-0,1	-
Kochen	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-	-	-	-0,0	-
GHD-Sektor									
Raumwärme	0,9	-13,9	-1,2	0,3	-0,0	-	-	-0,7	-
Prozesswärme	2,1	-1,9	-0,8	-0,4	0,0	-	-	-0,4	-
Nicht-elektrische Antriebe	1,4	-2,6	-	-	-	-	-	-0,0	-
Industrie	21,5	-24,5	-1,3	-3,9	-0,0	-	-	-2,0	-
Verkehr									
Motorisierter Individualverkehr	1,6	-20,4	-6,8	-0,2	-	-	-	-0,5	-
Öffentlicher Personenverkehr	-0,0	-0,1	1,8	-0,3	-	-	-	0,2	-
Straßen-Gütertransport	18,5	-17,4	-3,3	-	-	-	-	0,0	-
Schienen-Gütertransport	0,0	-0,0	0,0	-0,1	-	-	-	0,0	-
Binnenschifffahrt	0,0	0,0	-0,1	-	-	-	-	0,0	-
Luftverkehr	7,3	-3,6	0,0	0,0	-	0,0	-	-0,0	-
Stromerzeugung^a	-16,8	-9,9	-56,6	-4,3	-	-	16,1	-0,7	-
Flüchtige Emissionen des Energiesektors	-	-	-	-	-	-	-	-	-6,9
Nicht-energiebedingte Emissionen^b									
Industrieprozesse (CO ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-	-2,6
Industrieprozesse (CH ₄)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,0
Industrieprozesse (N ₂ O)	-	-	-	-	-	-	-	-	-12,6
Industrieprozesse (F-Gase)	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,7
Abfallwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-6,7
Landwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,2
Landnutzung und Forsten	-	-	-	-	-	-	-	-	21,3
Andere ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	13,4

Anmerkungen: ^a Nachfrage für die Stromerzeugung ist der Stromverbrauch, Elektrifizierung für die Stromerzeugung ist Stromlieferung aus Speichern. -
^b einschließlich sonstiger energiebedingter Emissionen

Öko-Institut 2009

Tabelle F- 2: Ergebnisse der Komponentenzerlegung für das Referenzszenario, 2005 – 2030, in Mio. t CO₂-Äquivalenten

Referenzszenario									
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Nachfrage	Energie- produktiv.	Erneuerb. Energien	Elektrifi- zierung	Nah-/Fern- wärme	Wasser- stoff	Kern- energie	Foss. CO ₂ - Intensität	Andere
Private Haushalte									
Raumwärme (Bestandsgebäude)	-5,0	-29,8	-4,0	0,8	-2,7	-	-	-1,2	-
Raumwärme (Neubau)	12,8	-7,6	-3,2	0,3	-0,2	-	-	-1,6	-
Warmwasserbereitung	-0,3	-0,3	-2,6	-0,7	0,0	-	-	-0,1	-
Kochen	0,0	-0,2	0,0	-0,3	-	-	-	-0,0	-
GHD-Sektor									
Raumwärme	-1,7	-22,2	-2,5	0,2	-0,0	-	-	-0,7	-
Prozesswärme	3,2	-3,2	-1,4	-0,7	0,0	-	-	-0,7	-
Nicht-elektrische Antriebe	2,1	-4,2	-	-	-	-	-	-0,0	-
Industrie	25,3	-35,8	-2,8	-5,6	-0,1	-	-	-4,0	-
Verkehr									
Motorisierter Individualverkehr	1,0	-28,6	-11,1	-1,4	-	-	-	-0,8	-
Öffentlicher Personenverkehr	-0,0	-0,1	1,7	-0,3	-	-	-	0,1	-
Straßen-Gütertransport	26,4	-23,5	-7,1	-	-	-	-	0,0	-
Schienen-Gütertransport	0,1	-0,0	0,0	-0,1	-	-	-	0,0	-
Binnenschifffahrt	0,1	-0,0	-0,1	-	-	-	-	0,0	-
Luftverkehr	8,1	-5,9	0,0	0,0	-	0,0	-	-0,0	-
Stromerzeugung^a	-22,5	-14,8	-72,1	-5,0	-	-	17,4	1,7	-
Flüchtige Emissionen des Energiesektors	-	-	-	-	-	-	-	-	-8,3
Nicht-energiebedingte Emissionen^b									
Industrieprozesse (CO ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-	-3,5
Industrieprozesse (CH ₄)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,0
Industrieprozesse (N ₂ O)	-	-	-	-	-	-	-	-	-12,6
Industrieprozesse (F-Gase)	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,7
Abfallwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-8,1
Landwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,2
Landnutzung und Forsten	-	-	-	-	-	-	-	-	21,3
Andere ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,4

Anmerkungen: ^a Nachfrage für die Stromerzeugung ist der Stromverbrauch, Elektrifizierung für die Stromerzeugung ist Stromlieferung aus Speichern. -
^b einschließlich sonstiger energiebedingter Emissionen

Öko-Institut 2009

Tabelle F- 3: *Ergebnisse der Komponentenzerlegung für das Referenzszenario, 2005 – 2040, in Mio. t CO₂-Äquivalenten*

Referenzszenario									
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Nachfrage	Energie- produktiv.	Erneuerb. Energien	Elektrifi- zierung	Nah-/Fern- wärme	Wasser- stoff	Kern- energie	Foss. CO ₂ - Intensität	Andere
Private Haushalte									
Raumwärme (Bestandsgebäude)	-9,3	-35,9	-5,8	1,4	-3,3	-	-	-1,5	-
Raumwärme (Neubau)	16,8	-9,9	-4,4	0,4	-0,3	-	-	-2,1	-
Warmwasserbereitung	-0,7	-0,5	-4,4	-1,2	0,4	-	-	0,3	-
Kochen	0,0	-0,3	0,0	-0,3	-	-	-	-0,0	-
GHD-Sektor									
Raumwärme	-3,8	-24,2	-5,8	0,2	0,0	-	-	-0,5	-
Prozesswärme	4,4	-4,3	-1,9	-1,1	0,1	-	-	-1,1	-
Nicht-elektrische Antriebe	2,8	-5,7	-	-	-	-	-	-0,0	-
Industrie	28,8	-43,3	-4,2	-7,2	-0,1	-	-	-5,6	-
Verkehr									
Motorisierter Individualverkehr	-1,9	-30,6	-13,9	-6,9	-	-0,1	-	-1,2	-
Öffentlicher Personenverkehr	-0,0	-0,1	1,6	-0,2	-	-	-	0,1	-
Straßen-Gütertransport	32,1	-27,7	-11,0	-	-	-	-	0,0	-
Schienen-Gütertransport	0,1	-0,0	0,0	-0,1	-	-	-	0,0	-
Binnenschifffahrt	0,2	-0,0	-0,2	-	-	-	-	0,0	-
Luftverkehr	7,6	-6,1	0,0	0,0	-	0,0	-	-0,0	-
Stromerzeugung^a	-12,3	-33,1	-92,4	-6,0	-	-	34,3	5,2	-
Flüchtige Emissionen des Energiesektors	-	-	-	-	-	-	-	-	-9,3
Nicht-energiebedingte Emissionen^b									
Industrieprozesse (CO ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-	-4,4
Industrieprozesse (CH ₄)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,0
Industrieprozesse (N ₂ O)	-	-	-	-	-	-	-	-	-12,6
Industrieprozesse (F-Gase)	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,7
Abfallwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-8,9
Landwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,2
Landnutzung und Forsten	-	-	-	-	-	-	-	-	21,3
Andere ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-8,3

Anmerkungen: ^a Nachfrage für die Stromerzeugung ist der Stromverbrauch, Elektrifizierung für die Stromerzeugung ist Stromlieferung aus Speichern. -
^b einschließlich sonstiger energiebedingter Emissionen

Öko-Institut 2009

Tabelle F- 4: *Ergebnisse der Komponentenzerlegung für das Referenzszenario, 2005 – 2050, in Mio. t CO₂-Äquivalenten*

Referenzszenario									
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Nachfrage	Energie- produktiv.	Erneuerb. Energien	Elektrifi- zierung	Nah-/Fern- wärme	Wasser- stoff	Kern- energie	Foss. CO ₂ - Intensität	Andere
Private Haushalte									
Raumwärme (Bestandsgebäude)	-13,9	-40,3	-7,6	2,1	-3,7	-	-	-1,7	-
Raumwärme (Neubau)	19,8	-11,5	-5,5	0,5	-0,5	-	-	-2,4	-
Warmwasserbereitung	-1,2	-0,6	-5,2	-0,3	0,5	-	-	0,0	-
Kochen	-0,0	-0,3	0,0	-0,3	-	-	-	-0,0	-
GHD-Sektor									
Raumwärme	-5,1	-24,9	-5,5	-0,0	0,0	-	-	-0,5	-
Prozesswärme	6,2	-5,8	-2,1	-1,4	0,1	-	-	-1,2	-
Nicht-elektrische Antriebe	4,0	-7,6	-	-	-	-	-	-0,0	-
Industrie	35,4	-50,1	-5,5	-8,8	-0,0	-	-	-7,0	-
Verkehr									
Motorisierter Individualverkehr	-7,0	-31,0	-13,9	-15,7	-	-1,2	-	-2,0	-
Öffentlicher Personenverkehr	-0,0	-0,1	1,6	-0,3	-	-	-	0,1	-
Straßen-Gütertransport	39,0	-31,9	-15,5	-	-	-	-	0,0	-
Schienen-Gütertransport	0,1	-0,0	0,0	-0,1	-	-	-	-0,1	-
Binnenschifffahrt	0,2	-0,0	-0,2	-	-	-	-	0,0	-
Luftverkehr	6,3	-5,9	0,0	0,0	-	0,0	-	-0,0	-
Stromerzeugung^a	-8,8	-46,6	-107,9	-6,9	-	-	46,8	7,7	-
Flüchtige Emissionen des Energiesektors	-	-	-	-	-	-	-	-	-9,9
Nicht-energiebedingte Emissionen^b									
Industrieprozesse (CO ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,2
Industrieprozesse (CH ₄)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,0
Industrieprozesse (N ₂ O)	-	-	-	-	-	-	-	-	-12,6
Industrieprozesse (F-Gase)	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,7
Abfallwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-9,4
Landwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,2
Landnutzung und Forsten	-	-	-	-	-	-	-	-	21,3
Andere ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-16,2

Anmerkungen: ^a Nachfrage für die Stromerzeugung ist der Stromverbrauch, Elektrifizierung für die Stromerzeugung ist Stromlieferung aus Speichern. -
^b einschließlich sonstiger energiebedingter Emissionen

Öko-Institut 2009

Tabelle F- 5: *Ergebnisse der Komponentenzerlegung für das Innovationsszenario, 2005 – 2020, in Mio. t CO₂-Äquivalenten*

Innovationsszenario									
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Nachfrage	Energie- produktiv.	Erneuerb. Energien	Elektrifi- zierung	Nah-/Fern- wärme	Wasser- stoff	Kern- energie	Foss. CO ₂ - Intensität	Andere
Private Haushalte									
Raumwärme (Bestandsgebäude)	-2,4	-31,4	-10,2	0,5	-2,2	-	-	-1,5	-
Raumwärme (Neubau)	7,6	-4,3	-2,5	0,2	0,1	-	-	-1,2	-
Warmwasserbereitung	-0,2	-0,9	-2,0	-2,2	0,2	-	-	-0,1	-
Kochen	0,0	-0,1	0,0	-0,2	-	-	-	-0,0	-
GHD-Sektor									
Raumwärme	0,9	-17,3	-1,3	0,3	-0,0	-	-	-0,7	-
Prozesswärme	2,3	-2,6	-0,8	-0,3	0,0	-	-	-0,4	-
Nicht-elektrische Antriebe	1,5	-3,0	-	-	-	-	-	-0,0	-
Industrie	21,3	-44,3	-1,6	-5,1	0,6	-	-	-1,4	-
Verkehr									
Motorisierter Individualverkehr	1,6	-21,2	-15,1	-0,3	-	-0,0	-	-0,6	-
Öffentlicher Personenverkehr	-0,0	-0,0	1,5	-0,2	-	-	-	0,1	-
Straßen-Gütertransport	18,0	-17,4	-7,4	-	-	-	-	0,0	-
Schienen-Gütertransport	0,1	-0,0	-0,0	-0,1	-	-	-	0,0	-
Binnenschifffahrt	0,1	0,0	-0,1	-	-	-	-	0,0	-
Luftverkehr	7,2	-4,4	0,0	0,0	-	0,0	-	-0,0	-
Stromerzeugung^a	-57,2	-14,0	-65,2	-5,1	-	-	16,1	-0,8	-
Flüchtige Emissionen des Energiesektors	-	-	-	-	-	-	-	-	-7,8
Nicht-energiebedingte Emissionen^b									
Industrieprozesse (CO ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-	-7,0
Industrieprozesse (CH ₄)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,0
Industrieprozesse (N ₂ O)	-	-	-	-	-	-	-	-	-12,6
Industrieprozesse (F-Gase)	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,7
Abfallwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-7,2
Landwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-13,5
Landnutzung und Forsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-17,8
Andere ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	4,4

Anmerkungen: ^a Nachfrage für die Stromerzeugung ist der Stromverbrauch, Elektrifizierung für die Stromerzeugung ist Stromlieferung aus Speichern. -
^b einschließlich sonstiger energiebedingter Emissionen

Öko-Institut 2009

Tabelle F- 6: Ergebnisse der Komponentenzerlegung für das Innovationsszenario, 2005 – 2030, in Mio. t CO₂-Äquivalenten

Innovationsszenario									
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Nachfrage	Energie- produktiv.	Erneuerb. Energien	Elektrifi- zierung	Nah-/Fern- wärme	Wasser- stoff	Kern- energie	Foss. CO ₂ - Intensität	Andere
Private Haushalte									
Raumwärme (Bestandsgebäude)	-5,0	-50,8	-17,0	0,9	-2,9	-	-	-2,3	-
Raumwärme (Neubau)	12,8	-6,3	-5,4	0,3	0,3	-	-	-2,4	-
Warmwasserbereitung	-0,3	-1,5	-4,3	-2,9	0,5	-	-	-0,2	-
Kochen	0,0	-0,2	0,0	-0,3	-	-	-	-0,0	-
GHD-Sektor									
Raumwärme	-1,7	-25,5	-3,3	0,2	-0,0	-	-	-0,8	-
Prozesswärme	3,6	-4,2	-1,4	-0,6	0,0	-	-	-0,8	-
Nicht-elektrische Antriebe	2,4	-4,8	-	-	-	-	-	0,0	-
Industrie	24,9	-60,0	-3,7	-7,6	0,7	-	-	-4,0	-
Verkehr									
Motorisierter Individualverkehr	1,0	-32,6	-32,2	-4,3	-	-0,0	-	-1,9	-
Öffentlicher Personenverkehr	-0,0	-0,0	1,1	-0,1	-	-	-	0,0	-
Straßen-Gütertransport	25,2	-23,1	-23,0	-	-	-	-	0,0	-
Schienen-Gütertransport	0,1	-0,0	-0,0	-0,1	-	-	-	0,0	-
Binnenschifffahrt	0,2	-0,0	-0,5	-	-	-	-	0,0	-
Luftverkehr	7,9	-7,2	0,0	0,0	-	0,0	-	-0,0	-
Stromerzeugung^a	-81,6	-20,5	-114,7	-10,4	-	-	17,4	-7,1	-
Flüchtige Emissionen des Energiesektors	-	-	-	-	-	-	-	-	-9,7
Nicht-energiebedingte Emissionen^b									
Industrieprozesse (CO ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-	-17,1
Industrieprozesse (CH ₄)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,0
Industrieprozesse (N ₂ O)	-	-	-	-	-	-	-	-	-14,2
Industrieprozesse (F-Gase)	-	-	-	-	-	-	-	-	-5,8
Abfallwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-8,8
Landwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-17,0
Landnutzung und Forsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-21,0
Andere ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-20,8

Anmerkungen: ^a Nachfrage für die Stromerzeugung ist der Stromverbrauch, Elektrifizierung für die Stromerzeugung ist Stromlieferung aus Speichern. -
^b einschließlich sonstiger energiebedingter Emissionen

Öko-Institut 2009

Tabelle F- 7: Ergebnisse der Komponentenzerlegung für das Innovationsszenario, 2005 – 2040, in Mio. t CO₂-Äquivalenten

Innovationsszenario									
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Nachfrage	Energie- produktiv.	Erneuerb. Energien	Elektrifi- zierung	Nah-/Fern- wärme	Wasser- stoff	Kern- energie	Foss. CO ₂ - Intensität	Andere
Private Haushalte									
Raumwärme (Bestandsgebäude)	-9,3	-63,4	-16,9	1,0	-2,8	-	-	-3,2	-
Raumwärme (Neubau)	16,8	-7,4	-7,6	0,4	0,5	-	-	-3,6	-
Warmwasserbereitung	-0,7	-2,1	-5,7	-2,8	0,9	-	-	0,3	-
Kochen	0,0	-0,3	0,0	-0,3	-	-	-	-0,0	-
GHD-Sektor									
Raumwärme	-3,8	-21,9	-10,1	0,1	-0,0	-	-	-0,0	-
Prozesswärme	5,0	-5,7	-2,1	-0,9	0,0	-	-	-1,2	-
Nicht-elektrische Antriebe	3,2	-6,6	-	-	-	-	-	-0,0	-
Industrie	28,3	-67,2	-5,9	-9,5	0,8	-	-	-6,7	-
Verkehr									
Motorisierter Individualverkehr	-1,8	-36,9	-29,9	-16,7	-	-0,1	-	-4,0	-
Öffentlicher Personenverkehr	-0,0	-0,0	0,9	-0,1	-	-	-	0,0	-
Straßen-Gütertransport	29,8	-27,2	-35,7	-	-	-	-	0,0	-
Schienen-Gütertransport	0,1	-0,1	-0,0	-0,2	-	-	-	0,0	-
Binnenschifffahrt	0,3	-0,0	-0,8	-	-	-	-	0,0	-
Luftverkehr	7,4	-8,0	-0,0	-0,0	-	-0,0	-	0,0	-
Stromerzeugung^a	-85,8	-18,3	-180,5	-20,3	-	-	34,3	-14,1	-
Flüchtige Emissionen des Energiesektors	-	-	-	-	-	-	-	-	-10,8
Nicht-energiebedingte Emissionen^b									
Industrieprozesse (CO ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-	-25,9
Industrieprozesse (CH ₄)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,0
Industrieprozesse (N ₂ O)	-	-	-	-	-	-	-	-	-14,2
Industrieprozesse (F-Gase)	-	-	-	-	-	-	-	-	-10,0
Abfallwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-9,8
Landwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-19,9
Landnutzung und Forsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-20,7
Andere ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-36,8

Anmerkungen: ^a Nachfrage für die Stromerzeugung ist der Stromverbrauch, Elektrifizierung für die Stromerzeugung ist Stromlieferung aus Speichern. -
^b einschließlich sonstiger energiebedingter Emissionen

Öko-Institut 2009

Tabelle F- 8: Ergebnisse der Komponentenzerlegung für das Innovationsszenario, 2005 – 2050, in Mio. t CO₂-Äquivalenten

Innovationsszenario									
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Nachfrage	Energie- produktiv.	Erneuerb. Energien	Elektrifi- zierung	Nah-/Fern- wärme	Wasser- stoff	Kern- energie	Foss. CO ₂ - Intensität	Andere
Private Haushalte									
Raumwärme (Bestandsgebäude)	-13,9	-71,6	-12,8	0,9	-2,2	-	-	-4,1	-
Raumwärme (Neubau)	19,8	-8,1	-8,8	0,4	0,6	-	-	-4,8	-
Warmwasserbereitung	-1,2	-2,2	-6,5	-1,5	0,9	-	-	-0,4	-
Kochen	-0,0	-0,3	0,0	-0,3	-	-	-	-0,0	-
GHD-Sektor									
Raumwärme	-5,1	-20,9	-8,5	-1,2	-0,5	-	-	-0,0	-
Prozesswärme	7,0	-7,7	-2,3	-1,0	0,1	-	-	-1,3	-
Nicht-elektrische Antriebe	4,6	-8,7	-	-	-	-	-	-0,0	-
Industrie	34,7	-71,6	-7,9	-11,0	0,8	-	-	-9,7	-
Verkehr									
Motorisierter Individualverkehr	-6,8	-37,1	-21,7	-27,9	-	-0,8	-	-6,3	-
Öffentlicher Personenverkehr	-0,0	-0,0	0,7	-0,1	-	-	-	0,0	-
Straßen-Gütertransport	35,2	-31,3	-51,3	-	-	-	-	1,4	-
Schienen-Gütertransport	0,2	-0,0	0,0	-0,1	-	-	-	-0,1	-
Binnenschifffahrt	0,4	-0,0	-1,3	-	-	-	-	0,0	-
Luftverkehr	6,1	-8,5	-0,0	-0,0	-	-0,0	-	0,0	-
Stromerzeugung^a	-75,9	-25,4	-189,4	-27,4	-	-	46,8	-63,8	-
Flüchtige Emissionen des Energiesektors	-	-	-	-	-	-	-	-	-11,4
Nicht-energiebedingte Emissionen^b									
Industrieprozesse (CO ₂)	-	-	-	-	-	-	-	-	-34,0
Industrieprozesse (CH ₄)	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,0
Industrieprozesse (N ₂ O)	-	-	-	-	-	-	-	-	-14,2
Industrieprozesse (F-Gase)	-	-	-	-	-	-	-	-	-14,2
Abfallwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-10,4
Landwirtschaft	-	-	-	-	-	-	-	-	-22,7
Landnutzung und Forsten	-	-	-	-	-	-	-	-	-21,1
Andere ^b	-	-	-	-	-	-	-	-	-45,9

Anmerkungen: ^a Nachfrage für die Stromerzeugung ist der Stromverbrauch, Elektrifizierung für die Stromerzeugung ist Stromlieferung aus Speichern. -
^b einschließlich sonstiger energiebedingter Emissionen

Öko-Institut 2009

Anhang G Exkurs: Das Prognos-Makromodell - Kurzbeschreibung

Wachstum versus Konjunktur

Das makroökonomische Prognosemodell der Prognos ist ein langfristiges Wachstumsmodell und unterscheidet sich damit in Methodik und Funktion grundlegend von den Modellen, die zahlreiche andere Institutionen zur Prognose der kurzfristigen Konjunkturentwicklung verwenden.

Die kurzfristige wirtschaftliche Entwicklung wird von zwei Faktoren determiniert: Einerseits vom langfristigen Wachstumstrend, der durch das gesamtwirtschaftliche Angebot bestimmt wird und die „grobe Richtung“ der Entwicklung vorgibt. In der kurzen Frist wird dieser Trend jedoch andererseits immer wieder durch so genannte Schocks überlagert. Beispiele hierfür sind eine diskretionäre Ausweitung der staatlichen Ausgaben (positiv und nachfrageseitig) oder eine drastische Erhöhung des Ölpreises (negativ und angebotsseitig). Derartige Schocks haben unmittelbare Auswirkungen auf die Realwirtschaft, verändern aber nicht zwangsläufig den langfristigen Wachstumstrend.

Das makroökonomische Modell der Prognos ist explizit so angelegt, dass es Wachstumstrends abbildet und keine konjunkturellen Schwankungen berücksichtigt, die den langfristigen Wachstumstrend überlagern. Eine wesentliche Modellgrundlage sind langfristige Gleichgewichtsbeziehungen zwischen verschiedenen, interdependenten ökonomischen Größen. Kurzfristige zufällige Abweichungen vom Gleichgewicht werden zugelassen. Sie werden jedoch nicht ausdrücklich berücksichtigt, da Schocks definitionsgemäß nicht prognostiziert werden können. Zwar modellieren auch Konjunkturmodelle in der Regel keine ökonomischen Schocks, sie beziehen jedoch ein, dass Schwankungen aus der jüngeren Vergangenheit noch einige Quartale lang Auswirkungen auf die wirtschaftliche Entwicklung haben werden.

Datengrundlage

Die Ergebnisse der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen sind die wesentliche Datengrundlage für makroökonomische Modelle. Die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen bilden einen quantitativen Nachweis der Entstehung, der Verteilung und der Verwendung von Einkommen in einer Volkswirtschaft. Die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen, stellen im Wesentlichen monetäre Stromgrößen und einige wenige aber zentrale Ergebnisse zu Personenbeständen (insbesondere Zahl der Erwerbstätigen) bereit. Im Rahmen des Prognos-Makromodells werden die Personenzahlen wesentlich detaillierter geführt. Insbesondere wird nach sozioökonomischen Gruppen, nach Geschlecht und nach Alter unterschieden. Sozioökonomische Gruppen sind beispielsweise die Rentner, die Pensionäre, die Pflegebedürftigen, die Auszubildenden, die Beamten und die „Stille Reserve“ am Arbeitsmarkt. Den Rahmen für das Personenmodell bildet die Bevölkerungsvorausschätzung.

Methodik

Ein makroökonomisches Modell in Form eines Strukturgleichungsmodells bildet im Wesentlichen die Struktur der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung ab. Für die Vorausschätzung wird unterstellt, dass quantitative Zusammenhänge, die für die Vergangenheit gegolten haben, auch weiterhin gültig sind, und zwar sowohl in der Wirkungsrichtung als

auch im Ausmaß der Wirkung. Dabei macht man sich die „Geschlossenheit“ der Darstellung der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen zu Nutze. Damit ist gemeint, dass die einzelnen wirtschaftlichen Stromgrößen durch Bilanzidentitäten miteinander verbunden sind. Bei der Vorausschätzung werden einige zentrale Größen durch Formeln, die das Verhalten der wirtschaftlichen Akteure beschreiben, abgeschätzt, und alle anderen Größen werden so arrangiert, dass die Bilanzidentitäten erfüllt sind. Im Prognos Makromodell werden auf der Grundlage von etwa 35 solcher Verhaltensgleichungen die Werte von etwa 1 300 weiteren volkswirtschaftlichen Größen ermittelt. Die so genannten Verhaltensgleichungen sind damit der substantielle „Motor“ der Vorausschätzungen, sie bilden die wirtschaftlichen Zusammenhänge und Reaktionsweisen der wirtschaftlichen Akteure ab.

Das Verhalten der wirtschaftlichen Akteure unterliegt Schwankungen. Sie werden in der Form eines Zufalleinflusses pro Verhaltensgleichung einbezogen. Prognosen auf der Basis der für den Stützbereich geschätzten Zusammenhänge berücksichtigen damit in der Prognose auch den Zufallseinfluss. Die Verhaltensgleichungen werden im Wesentlichen über den so genannten Fehlerkorrekturansatz modelliert. Dabei wird angenommen, dass zwischen den in einer Verhaltensgleichung zu erklärenden Größe und einer oder mehreren der sie beeinflussenden Größen langfristig ein stabiler Zusammenhang besteht. Ist dieser Zusammenhang statistisch abgesichert, dann können Aussagen über den langfristigen Entwicklungspfad dieser Größe sowie kurzfristige Abweichungen hiervon getroffen werden.

Gegenstand von Verhaltensgleichungen sind im Wesentlichen die wirtschaftlichen Prozesse, die die Entwicklung der gesamtwirtschaftlichen Zielgrößen bestimmen. Das sind das Wachstum, die Preisniveauentwicklung und das außenwirtschaftliche Gleichgewicht, aber auch die Entwicklung der Einkommen. Das Wachstum ergibt sich einerseits aus der Entwicklung der Angebotsbedingungen und andererseits aus der gesamtwirtschaftlichen Nachfrage. Zu den Angebotsbedingungen gehören das so genannte Erwerbspersonenpotential, der Kapitalstock und die Produktivität der Faktoren. Die gesamtwirtschaftliche Nachfrage ist die Summe der Nachfrage der privaten Haushalte nach Konsumgütern, der Unternehmen nach Investitionsgütern, des Auslandes (Exporte) und des Staates nach Konsum- und Investitionsgütern.

Alle genannten Größen hängen in ihrer Entwicklung ihrerseits von anderen Größen ab, so dass sich ein dichtes Geflecht von wechselseitigen Abhängigkeiten ergibt. Beispielsweise ist die Entwicklung der (Arbeits-)Produktivität von der Entwicklung des eingesetzten Kapitalstocks und der gesamtwirtschaftlichen Nachfrage abhängig. Der Kapitalstock (Angebotsseite) ist abhängig von den Investitionen (Nachfrageseite), die ihrerseits ebenfalls von der gesamtwirtschaftlichen Nachfrage (deren Bestandteil sie sind), und von der Gewinnentwicklung beeinflusst werden. Die Gewinnentwicklung ist abhängig vom Wachstum (das vom Ineinandewirken von Angebot und Nachfrage abhängt) und von der Entwicklung der Kosten. Das wichtigste Element der Kosten sind die (Stunden-) Löhne, die durch die Entwicklung der Produktivität, der Preisentwicklung und der allgemeinen Arbeitsmarktsituation bestimmt werden. Die allgemeine Arbeitsmarktsituation wird durch die Relation der Erwerbslosen zu den Erwerbstätigen abgebildet.

Das außenwirtschaftliche Gleichgewicht hängt von der Entwicklung der Importe und der Exporte ab, wobei die Importe durch das Niveau der gesamten wirtschaftlichen Aktivität im Inland sowie durch die Relation der Importpreise zu den Exportpreisen beeinflusst sind, und die Exporte durch die Entwicklung der Nachfrage aus dem Ausland, die Preisrelationen sowie durch die inländischen Lohnstückkosten.

Zur gesamtwirtschaftlichen Nachfrage gehören neben den bereits thematisierten Investitionen und Exporten der Verbrauch der privaten Haushalte und der Staatsverbrauch. Der Verbrauch der privaten Haushalte hängt von ihrem verfügbaren Einkommen ab, sowie von den langfristigen Zinsen, die vor allem die Nachfrage nach höherwertigen Konsumgütern und die Ersparnis beeinflussen. Der Staatsverbrauch wird im Wesentlichen von der Entwicklung der Arbeitsentgelte der Arbeitnehmer des Staates und von den Ausgaben der gesetzlichen Krankenversicherung bestimmt, die den Versicherten in Form von Sachleistungen zur Verfügung gestellt werden.

Neben den im Modell errechneten, den endogenen Größen wird die wirtschaftliche Entwicklung auch durch exogene Größen beeinflusst. Dabei handelt es sich um Größen, die auf die endogenen Größen wirken, aber von ihnen nicht beeinflusst werden. Üblicherweise werden beispielsweise die Bevölkerungsentwicklung und die Entwicklung der Weltwirtschaft als exogen angesehen.

In makroökonomischen Modellen werden mittels mathematischer Optimierungsverfahren unter Beachtung aller Interdependenzen einschließlich zeitverzögert eintretender Wirkungen für sämtliche endogenen Größen Werte ermittelt. Im der simultanen Berücksichtigung aller Interdependenzen liegt der große Wert der Modellrechnungen mit makroökonomischen Modellen. Der damit erreichte Komplexitätsgrad übersteigt das, was durch „Nachdenken“ zu überschauen ist, bei weitem. Dennoch sollten die Rechenergebnisse der Modelle als das angesehen werden, was sie sind, nämlich als Rechenergebnisse, die plausibel und gedanklich nachvollziehbar sein sollten.