

III Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

7 Komponentenanalyse und Zielerreichung für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen

7.1 Vorbemerkungen

Die detaillierten Analysen für das Referenz- und das Innovationsszenario haben gezeigt, dass erhebliche Minderungen für Treibhausgasemissionen technisch-wirtschaftlich darstellbar sind, mit denen sehr ambitionierte Klimaschutzziele erreicht werden können. Die Analyse des Datenmaterials macht aber auch deutlich, dass es in erheblichem Maße einerseits politischer Rahmensetzungen und andererseits technischer, wirtschaftlicher, struktureller oder anderer Entwicklungen und Fortschritte bedarf, damit solche ambitionierten Ziele in einem ja vergleichsweise sehr kurzen Zeitraum von nur vier Dekaden auch real erreicht werden können.

In den folgenden Abschnitten sollen vor diesem Hintergrund die Ansatzpunkte und Ergebnisse von zwei Analyseschritten beschrieben werden:

Erstens soll mit einer Komponentenanalyse versucht werden, die zentralen Ansatzpunkte für die Umgestaltung des Energiesystems und anderer für die Treibhausgasemissionen besonders wichtiger Wirtschaftsbereiche zu identifizieren und – quantitativ – zu bewerten. Ergebnis dieser Analyse ist eine Quantifizierung der Minderungsbeiträge verschiedener energie- und klimapolitischer Handlungsansätze. Diese Wirkungsbeiträge können dann aus verschiedenen Perspektiven analysiert werden, um z.B. die Bedeutung zeitlicher Aspekte oder von Innovationsfaktoren hinsichtlich der Emissionsminderungsstrategien genauer zu bestimmen.

Zweitens soll mit einer Reihe von orientierenden Zusatzanalysen der Frage nachgegangen werden, wie die Minderungseffekte der im Innovationsszenario modellierten Strategien noch weiter verstärkt werden könnten. Im Vordergrund steht dabei die Frage, welche Ansatzpunkte bestehen, um die noch bestehende Lücke zwischen den im Innovationsszenario erreichten Emissionsniveaus und dem langfristigen Klimaschutzziel einer Emissionsminderung von 95 % gegenüber 1990 zu schließen, welche zusätzlichen Reduktionen von Treibhausgasemissionen noch erschlossen werden könnten bzw. welche Implikationen solche zusätzlichen Maßnahmen haben.

Die in diesem Kapitel präsentierten Analysen sind insgesamt vor allem an der Frage ausgerichtet, welche strategischen und politisch-instrumentellen Erkenntnisse aus den Szenarien- und Datenanalysen gezogen werden können.

7.2 Komponentenanalyse für die Szenarien

7.2.1 Methodische Vorbemerkungen

Grundlage der Analysen ist das Verfahren einer sektoral differenzierten Komponentenerlegung. Mit derartigen Verfahren können historische Entwicklungen, aber auch Ergebnisse von detaillierten Sektormodellierungen für Treibhausgasemissionen hinsichtlich der verschiedenen Wirkungsmechanismen „zerlegt“ werden (sog. Komponentenerlegung).

Mit einer Komponentenerlegung können Treibhausgasentwicklungen durch sogenannte sozio-ökonomische Treibergrößen sowie Effizienz- und Dekarbonisierungsindikatoren erklärt werden. Die Komponentenerlegung zeigt dabei, welche Anteile einer bestimmten Emissionsentwicklung den verschiedenen Einflussfaktoren zuzurechnen sind. Sie erlaubt es, gegenläufige oder sich verstärkende Wirkmechanismen zu identifizieren und auch Überlagerungseffekte einzugrenzen. Schließlich können mit Komponentenerlegungen auch grobe und orientierende Abschätzungen vorgenommen werden, welche Emissionsentwicklung sich bei welchen Alternativvarianten für die verschiedenen Wirkungsmechanismen einstellen könnte.

Für die hier präsentierten Komponentenanalysen wurden Analysen für die folgenden vier Sektoren und die entsprechenden Subsektoren oder Energieanwendungsbereiche durchgeführt:

1. Private Haushalte
 - Bestandsgebäude
 - Neubauten
 - Warmwasser
 - Kochen
2. Dienstleistungssektor
 - Raumwärme
 - Prozesswärme
 - Nicht-elektrische Antriebe
3. Verkehr
 - Motorisierter Individualverkehr
 - Öffentlicher Personenverkehr
 - Straßen-Güterverkehr
 - Schienen-Güterverkehr

- Binnenschifffahrt
 - Flugverkehr
4. Industrie
 5. Stromerzeugung

Für jeden dieser Sektoren wurde der Verlauf der energiebedingten Emissionen im Referenz- und im Innovationsszenario hinsichtlich der Wirkungsbeiträge der folgenden Komponenten analysiert:

1. Nachfrage
 - sozioökonomische Aktivitäten (Wohnflächen, Wertschöpfung, Verkehrsleistung etc.)
 - Stromnachfrage (als Treiber für die Stromerzeugung)
2. Energieproduktivität (als Maß für die Entwicklung der Energieeffizienz in den verschiedenen Bereichen)
3. Anteil erneuerbarer Energien (in den Anwendungssektoren sowie in der Stromerzeugung)
4. Elektrifizierung (als Option der Emissionsverlagerung von den Endanwendungsbereichen in die Stromerzeugung)
5. Fern- und Nahwärme (als Option der Emissionsverlagerung von den Endanwendungsbereichen in den Energieumwandlungssektor)
6. Wasserstoff (als Option der Emissionsverlagerung von den Endanwendungsbereichen in den Energieumwandlungssektor)
7. Kernenergie (als Spezifikum für den Stromerzeugungssektor)
8. Fossiler Brennstoffwechsel (in den Endverbrauchssektoren wie auch in der Stromerzeugung)

Eine detaillierte Beschreibung des hier genutzten Verfahrens der Komponentenzerlegung sowie die einzelnen Ergebnisse der Komponentenanalyse sind im Anhang F zu diesem Bericht enthalten.

Dargestellt und diskutiert werden jeweils die tendenziell emissionserhöhenden Faktoren (jeweils im konkreten Fall näher beschrieben), die Ergebnisse des Referenz- sowie des Innovationsszenarios sowie die Quantifizierung der Komponenten, die die Veränderung der Emissionsentwicklung im Wesentlichen determinieren.

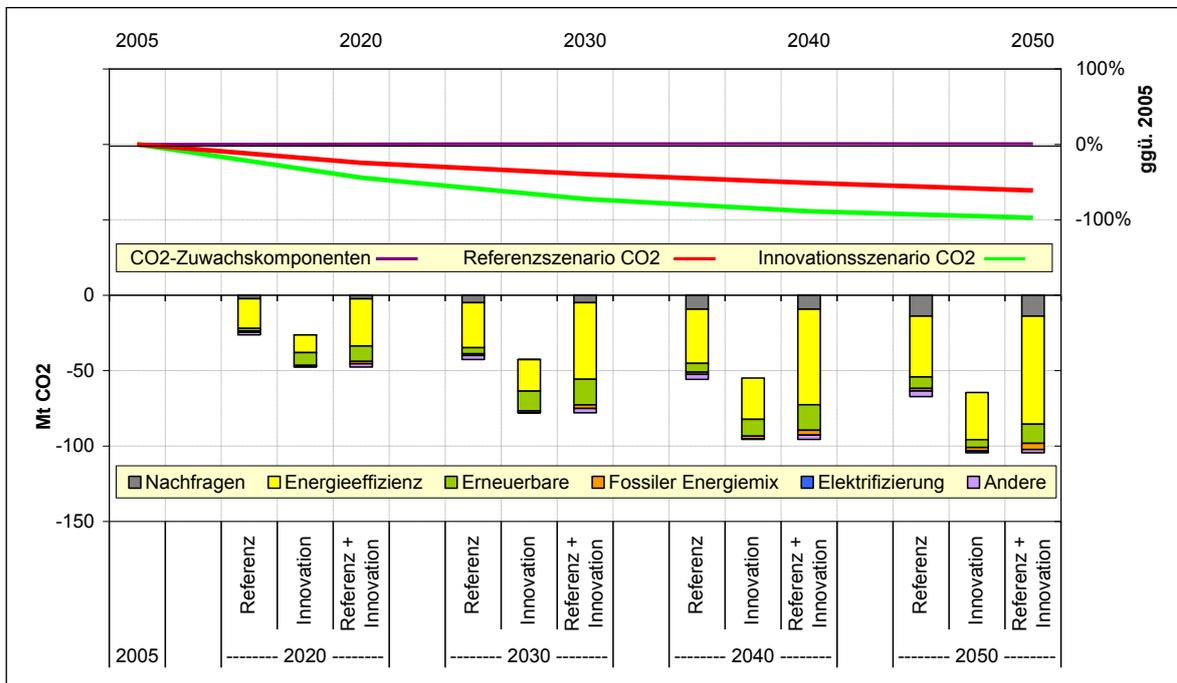
7.2.2 Ergebnisse der Komponentenerlegung für den Gebäudesektor im Bereich der privaten Haushalte

Mit Blick auf den Gebäudesektor im Bereich der privaten Haushalte (im Folgenden: Wohngebäude) ist es sinnvoll und notwendig, zunächst zwei Teilsektoren zu unterscheiden. Als Wohngebäude des Bestandes werden in den nachfolgenden Analysen diejenigen Gebäude bezeichnet, die vor dem Jahr 2005 errichtet worden sind. Von diesen Bestandsgebäuden wird in den nächsten Jahrzehnten ein kleiner Teil abgerissen, der größere Teil wird weiter genutzt und ggf. saniert. Als neue Gebäude werden im Folgenden alle Wohngebäude bezeichnet, die im Zeitraum 2005 bis 2050 von Grund auf neu errichtet werden.

Die Bestandsgebäude sind in Deutschland ein wesentlicher Verursachersektor für die Treibhausgasemissionen. Im Jahr 2005 entfiel ein Ausstoß von etwa 107 Mio. t CO₂ auf die bestehenden Gebäude. Zwar verringern sich die Wohnflächen (als eine zentrale Treibergröße für die Emissionen) im Szenarienzeitraum von rund 3,4 Mrd. m² im Jahr 2005 auf knapp 3 Mrd. m² im Jahr 2050, die Bestandsgebäude repräsentieren jedoch auch im Jahr 2050 noch einen Anteil von 82 % der gesamten Wohnfläche. Für die Bestandsgebäude ergeben sich in den Szenarien keine Zuwachskomponenten, alle Einflussgrößen für die CO₂-Emissionen der Bestandsgebäude wirken damit emissionsmindernd. Insgesamt ergibt sich im Referenzszenario eine Minderung der (direkten) Treibhausgasemissionen von über 60 %.

Die Zusammenstellung der Komponentenwirkungen für das Referenzszenario zeigt Abbildung 2.6-1. Die gezeigten Minderungsbeiträge (Säulen) beschreiben dabei den gesamten Minderungsbeitrag, der zur resultierenden CO₂-Emissionsentwicklung in den jeweiligen Szenarien führt. Der gesamte Minderungsbeitrag umfasst dabei sowohl die Emissionsminderungen, mit denen die durch die verschiedenen Wachstumskomponenten bewirkten hypothetischen Emissionssteigerungen ab 2005 ausgeglichen werden als auch die Emissionsminderungsbeiträge, die darüber hinaus zur effektiven Emissionsänderung des jeweiligen Szenarios im Vergleich zum Ausgangswert von 2005 führen. Die Übersicht verdeutlicht, dass die Emissionsminderungen im Gebäudebestand ganz überwiegend durch zwei Komponenten bestimmt werden. Erstens nimmt die Wohnfläche als zentrale Nachfragegröße im Zeitverlauf um etwa 13 % ab, zweitens werden durch die Sanierungsmaßnahmen im Zeitverlauf erhebliche Effizienzverbesserungen erreicht. Der durchschnittliche Endenergiebedarf je Quadratmeter Wohnfläche geht von 2005 bis 2050 um nahezu 50 % zurück. Erneuerbare Energien, Energieträgerumstellungen etc. spielen im Referenzszenario für die Bestandsgebäude nur eine untergeordnete Rolle. Von der gesamten Emissionsminderung im Zeitraum 2005 bis 2050 in Höhe von ca. 67 Mio. t CO₂ entfallen damit etwa 21 % auf den Rückgang der Wohnfläche in Bestandsgebäuden, etwa 60 % auf Verbesserungen der Energieeffizienz und 11 % auf den Einsatz erneuerbarer Energien.

Abbildung 7.2-1: Komponentenzzerlegung für die Emissionsentwicklung im Gebäudebestand, 2005 – 2050

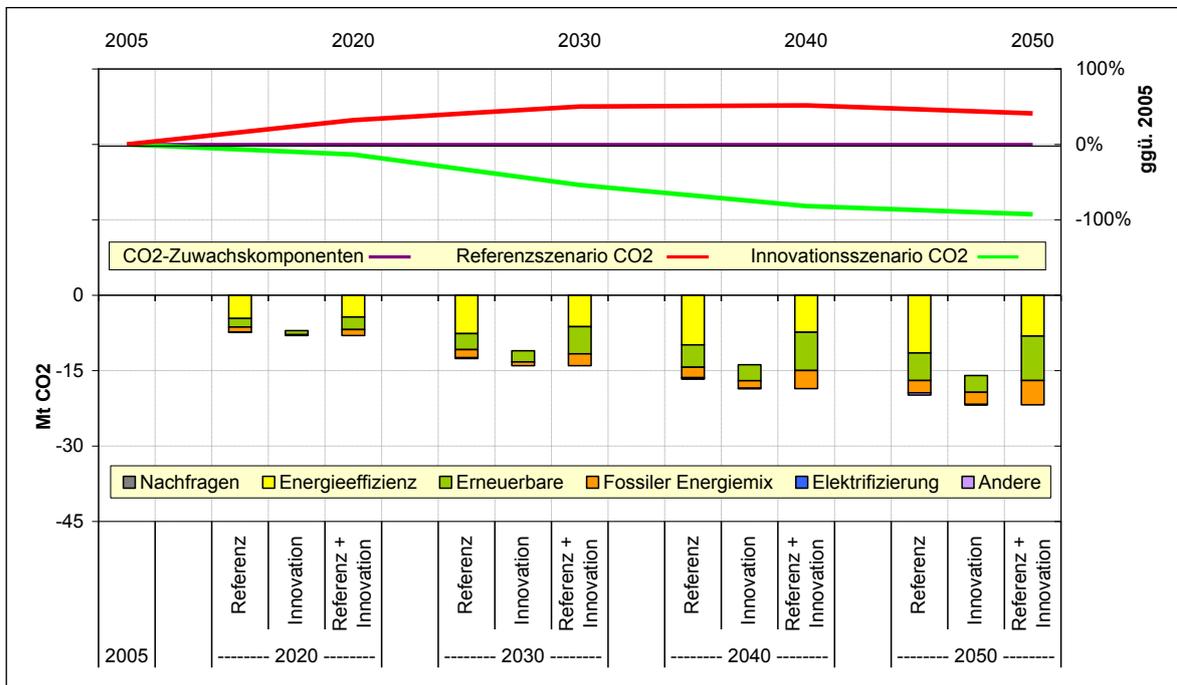


Quelle: Öko-Institut 2009

Im Innovationsszenario werden durch verstärkte Sanierungsaktivitäten weitere Emissionsminderungen von etwa 40 Mio. t CO₂ erreicht, so dass sich im Zeitraum 2005 bis 2050 eine Emissionsminderung von insgesamt knapp 105 Mio. t CO₂ ergibt. Dies entspricht einer Reduktion um etwa 97 %. Ursächlich dafür sind zusätzliche Effekte aus einer weiter erhöhten Energieeffizienz und ein nochmals erhöhter Beitrag der erneuerbaren Energien zur Raumheizung. Der spezifische Energieverbrauch im Wohngebäudebestand wird im Innovationsszenario bis zum Jahr 2050 um 86 % gesenkt, der verbleibende Energiebedarf wird zu 58 % durch erneuerbare Energien und zu 17 % durch leitungsgebundene Wärmeversorgung (Fern- und Nahwärme) abgedeckt.

Für die Gesamtheit der Emissionsminderungen im Innovationsszenario ergibt sich damit ein Beitrag des zurückgehenden Wohnflächenbestandes in bestehenden Wohngebäuden von etwa 13 %, ein Beitrag von knapp 69% der Energieeffizienz sowie ein Minderungseffekt von etwa 12 % durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien. Andere Wirkungskomponenten (leitungsgebundene Wärmeversorgung, etc.) spielen für die Emissionsminderung keine wesentliche Rolle. Letztlich ist eine massive Verstärkung der Energieeffizienz die entscheidende Determinante für die nahezu vollständige Rückführung der CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050.

Abbildung 7.2-2: Komponentenzzerlegung für die Emissionsentwicklung der neuen Gebäude, 2005 – 2050



Quelle: Öko-Institut 2009

Eine deutlich andere Situation ergibt sich für die neuen Wohngebäude. Der Wohnflächenbestand in den ab 2005 errichteten Gebäuden steigt bis zum Jahr 2050 auf etwa 670 Mio. m². Im Referenzszenario ergibt sich damit ein deutlicher Emissionszuwachs und im Jahr 2050 stellt sich ein Emissionsniveau von 1,5 Mio. t CO₂ ein. Verglichen mit dem Gebäudebestand ist dieses Emissionsvolumen jedoch äußerst gering, die Emissionen je Quadratmeter Wohnfläche betragen – im Referenzszenario – für das Jahr 2050 nur einen Bruchteil (ca. 16 %) der Vergleichswerte für die Bestandsgebäude. Wesentlicher Treiber für die geringen Treibhausgasemissionen der Neubauten ist ein über die Zeit nochmals deutlicher Zugewinn an Energieeffizienz. Aber auch die Rolle der erneuerbaren Energien für die Raumheizung nimmt deutlich zu. Im Vergleich zur Situation am Beginn des Szenarienzeitraums (2005) werden durch die verbesserte Energieeffizienz und den zunehmenden Anteil erneuerbarer Energien im Referenzszenario die Emissionen um rund 20 Mio. t CO₂ verringert. Die größten Beiträge zur (fiktiven) Emissionsminderung leisten mit 58 % die Energieeffizienz und mit etwa 28% die erneuerbaren Energien.

Im Innovationsszenario werden bis zum Jahr 2050 die CO₂-Emissionen aus Neubauten auf einen Wert von 0,1 Mio. t CO₂ begrenzt. Wesentlicher Treiber hierfür ist vor allem die wachsende Rolle der erneuerbaren Energien, die im Innovationsszenario einen Anteil von knapp 90 % des verbleibenden Energiebedarfs decken. Von der gesamten Emissionsminderung im Innovationsszenario sind 37 % der Energieeffizienz und rund 40 % den erneuerbaren Energien zuzurechnen.

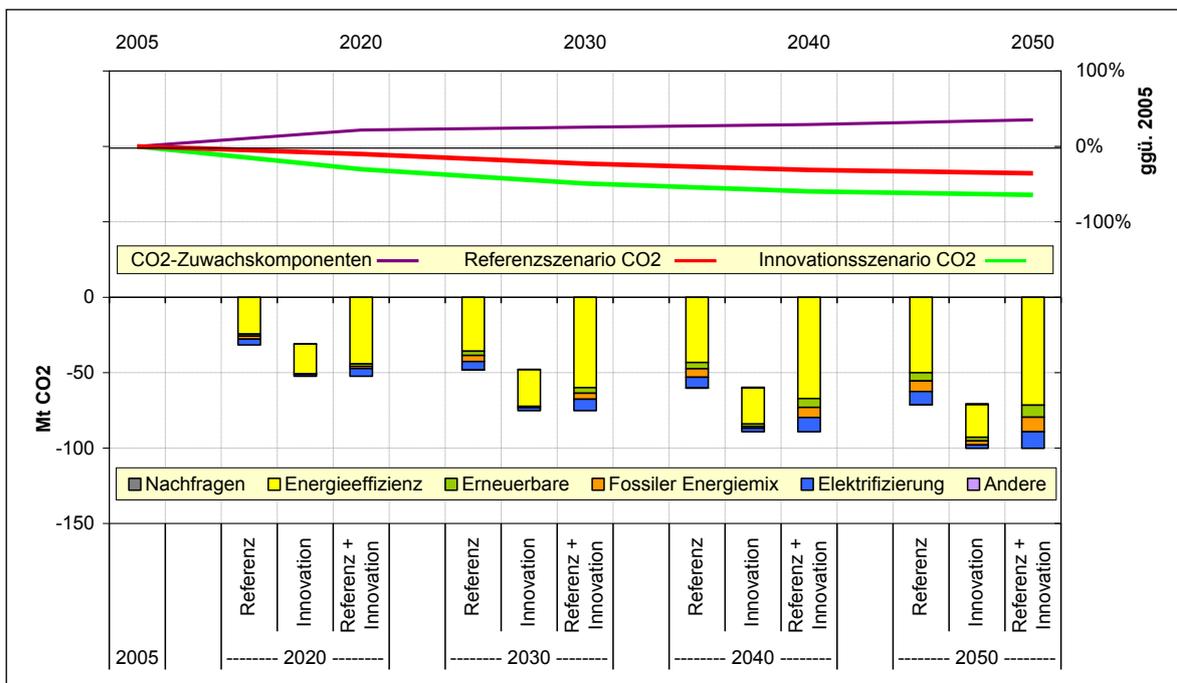
Für den Wohngebäudesektor insgesamt ist die massive Erhöhung der Energieeffizienz der entscheidende Faktor, wenn die Emissionsminderungen des Innovationsszenarios erreicht werden sollen. Der (relative) Beitrag erneuerbarer Energien nimmt zwar im Vergleich zwischen Innovations- und Referenzszenario etwas zu, bleibt aber im Bereich der Wohngebäude begrenzt und ist vor allem für die neuen Wohngebäude ein besonders relevanter Faktor der Emissionsminderung.

7.2.3 Ergebnisse der Komponentenerlegung für die Industrie (energiebedingte Emissionen)

Im Gegensatz zum Gebäudesektor existiert in der Industrie mit der deutlich ansteigenden Wertschöpfung ein massiver Wachstumstreiber für die Emissionen. Wenn alle anderen Faktoren gleich bleiben würden, würden im Jahr 2050 die CO₂-Emissionen der Industrie etwa 35 % über dem Niveau von 2005 liegen. Ein solcher Anstieg wäre bei einem Sektor, der im Jahr 2005 mit rund 101 Mio. t CO₂ zu den gesamten Treibhausgasemissionen beigetragen hat ein quantitativ erheblicher Effekt. Im Referenzszenario sinken jedoch die CO₂-Emissionen im Zeitraum von 2005 bis 2050 um etwa 36 % auf etwa 65 Mio. t. Im Innovationsszenario werden die Emissionen bis 2050 auf rund 36 Mio. t zurückgeführt.

Die Abbildung 7.2-3 verdeutlicht die Beiträge der verschiedenen Komponenten auf die Minderung der Emissionen. Die Emissionsminderung im Referenzszenario (gegenüber der bei unveränderten Strukturen stark steigenden Entwicklung) ist ganz überwiegend durch die Erhöhung der Energieproduktivität der Industrie charakterisiert. Der Energiebedarf je Wertschöpfungseinheit nimmt im Referenzszenario – bedingt durch technische Effizienzverbesserungen und intrasektoralen Strukturwandel – um über 40 % ab. Diese massive Erhöhung der Energieeffizienz bewirkt etwa 70% der gesamten Emissionsminderung im Referenzszenario. Die Beiträge anderer Faktoren (erneuerbare Energien, Wechsel zu weniger CO₂-intensiven Energieträgern) fallen im Vergleich dazu deutlich weniger ins Gewicht, sind aber gleichwohl signifikant. Die erneuerbaren Energien tragen mit etwa 8 %, die Verschiebung des fossilen Energieträgermixes mit rund 9 % und der wachsende Anteil von Strom mit ca. 12 % zur im Referenzszenario erzielten Emissionsminderung bei.

Abbildung 7.2-3: Komponentenerlegung für die Emissionsentwicklung in der Industrie (energiebedingte Emissionen), 2005 – 2050



Quelle: Öko-Institut 2009

Auch die zusätzlichen Emissionsminderungen im Innovationsszenario sind ganz überwiegend durch die wachsenden Beiträge der Energieeffizienz geprägt. Die Struktur der zusätzlichen Minderungsbeiträge ist nahezu deckungsgleich mit der im Referenzszenario.

Einzig der Beitrag der Elektrifizierung von Produktionsprozessen sinkt leicht auf 8 %, dafür steigt der Minderungseffekt durch verstärkte Energieeinsparungen auf etwa 72 %.

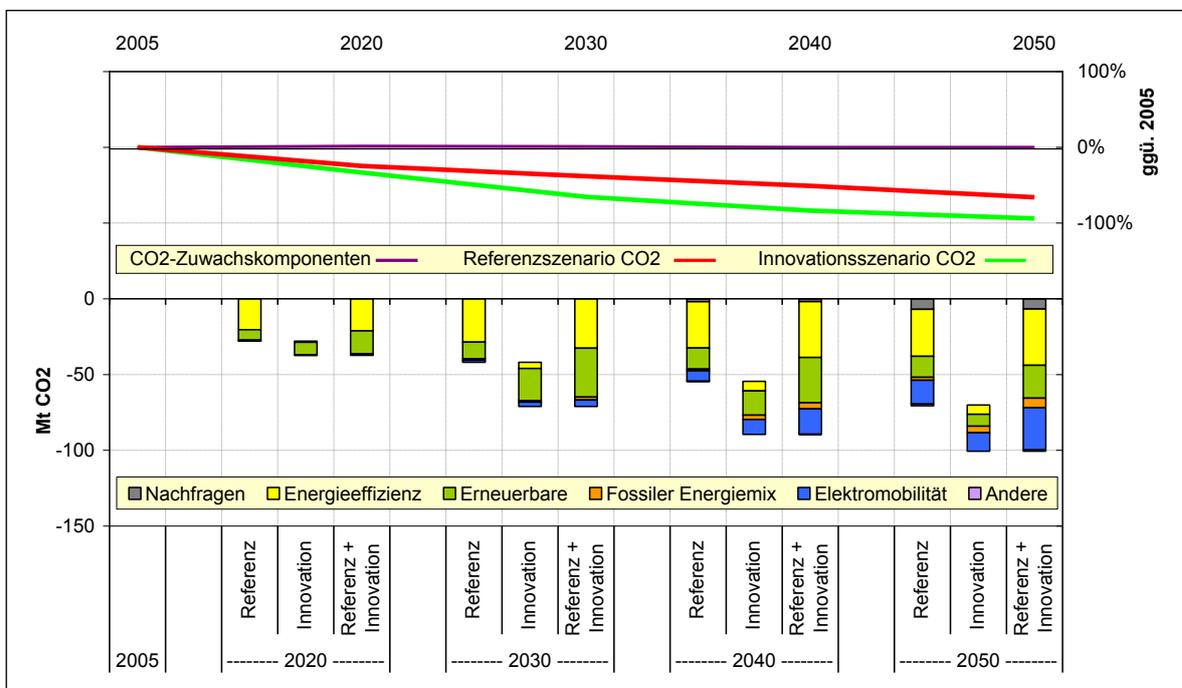
Insgesamt ist der im Innovationsszenario erzielte Emissionsrückgang vor allem der industriellen Energieeffizienz und in deutlich geringerem Maße den Beiträgen von erneuerbaren Energien, Energieträgerwechsel bzw. stärkerer Elektrifizierung zuzuordnen.

7.2.4 Ergebnisse der Komponentenerlegung für den motorisierten Individualverkehr

Der motorisierte Individualverkehr repräsentiert für das Jahr 2005 ein Emissionsvolumen von etwa 107 Mio. t CO₂ sowie einen Beitrag von etwa 85 % zur gesamten Personenverkehrsleistung. Insgesamt wurden im motorisierten Individualverkehr 2005 knapp 880 Mrd. Pkm erbracht, die verbleibenden 155 Mrd. Pkm wurden durch öffentliche Verkehrsmittel abgedeckt.

Für den Zeitraum bis 2030 wird in den Szenarien nur noch ein sehr schwacher Anstieg bzw. eine nachfolgende Stagnation der durch den motorisierten Individualverkehr abgedeckten Verkehrsleistung erwartet. Nach 2030 geht dann die Verkehrsleistung wieder leicht zurück und liegt im Jahr 2050 um rund 6 % unter dem Ausgangswert von 2005. Auch für den motorisierten Individualverkehr ergeben sich damit keine oder nur sehr geringe Zuwachskomponenten (Abbildung 7.2-4).

Abbildung 7.2-4: Komponentenerlegung für die Emissionsentwicklung des motorisierten Individualverkehrs, 2005 – 2050



Quelle: Öko-Institut 2009

Die Entwicklung des Referenzszenarios führt für das Jahr 2050 zu einer Emissionsminderung um etwa zwei Drittel auf ein Niveau von etwa 36 Mio. t CO₂. Ursächlich für diesen Rückgang des Ausstoßes von Treibhausgasen ist vor allem eine deutlich verbesserte

Effizienz der (konventionellen) Kraftfahrzeuge. Der entsprechende Emissionsminderungsbeitrag liegt für den Zeitraum 2005 bis 2050 bei etwa 31 Mio. t CO₂ bzw. 44 % der im Referenzszenario insgesamt erzielten Emissionsminderung. Erhebliche Beiträge leisten im Referenzszenario auch die verstärkte Nutzung von Biokraftstoffen (20 %) sowie die Anteilsgewinne der Elektromobilität (22 %). Erwähnenswert sind weiterhin die emissionsmindernden Effekte der rückläufigen Verkehrsleistung des motorisierten Individualverkehrs (10 %).

Die zusätzlichen Emissionsminderungen im Innovationsszenario sind vor allem durch die deutlich steigenden Wirkungsbeiträge der Elektromobilität geprägt, die im Innovationsszenario etwa 28 % der insgesamt erreichten Emissionsminderung von etwas über 100 Mio. t CO₂-Äqu. repräsentieren. Dieser Wert liegt etwas über dem Wirkungsbeitrag der erneuerbaren Energien (22 %), aber deutlich unter der emissionsmindernden Wirkung einer erhöhten Fahrzeugeffizienz im Bereich der konventionellen Antriebe.

Die ausgeprägten Emissionsminderungen im motorisierten Individualverkehr – sowohl im Referenz- als auch im Innovationsszenario – sind damit zum einen das Ergebnis deutlicher Verbesserungen der konventionellen Antriebe, zum anderen erheblicher Beiträge aus der Elektromobilität und der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger (Biokraftstoffe).

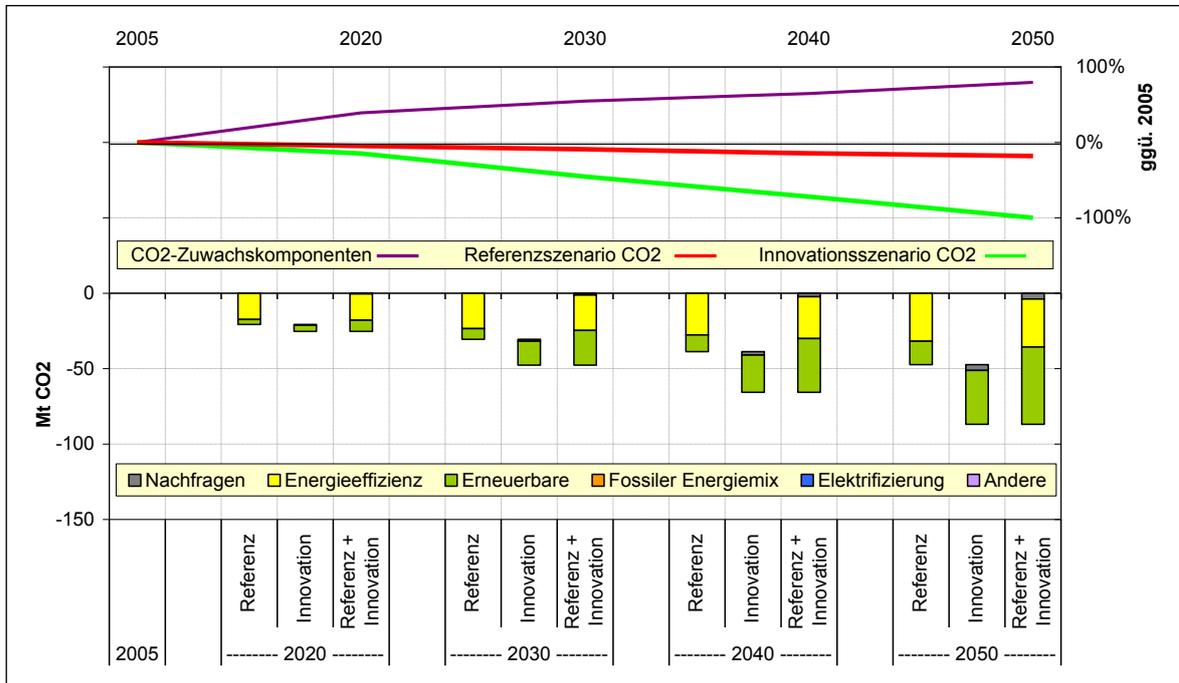
7.2.5 Ergebnisse der Komponentenerlegung für den Straßen-Güterverkehr

Anders als der motorisierte Individualverkehr ist der Straßen-Güterverkehr (mit 46 Mio. t CO₂ zweitgrößter Emissionsbereich des Verkehrssektors) durch ein starkes Wachstum der Verkehrsleistung geprägt. Das Referenzszenario ist dabei durch einen Anstieg der Verkehrsleistung um etwa 85 % geprägt. Im Innovationsszenario steigt die Verkehrsleistung des Straßengüterverkehrs zwar etwas weniger stark an, liegt aber im Jahr 2050 immer noch um 67 % über dem Ausgangswert von 2005.

Die im Referenzszenario erzielte Emissionsminderung (im Vergleich zu einer statisch fortgeschriebenen Entwicklung) repräsentiert zwar einen Emissionsminderungsbeitrag von etwa 47 Mio. t CO₂, führt aber wegen des stark wachsenden Verkehrsaufkommens bis zum Jahr 2050 im Vergleich zu 2005 nur zu einer absoluten Absenkung der Emissionen um 18 %. Der überwiegende Teil der Emissionsminderung (67 %) wird hier durch eine verbesserte Fahrzeugeffizienz erreicht, der verbleibende Teil entfällt vollständig auf den ausgeweiteten Einsatz von Biokraftstoffen im Straßen-Güterverkehr (Abbildung 7.2-5).

Im Innovationsszenario werden die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 nahezu vollständig zurückgeführt. Der zusätzliche Emissionsrückgang von 40 Mio. t CO₂ entfällt dabei ganz überwiegend auf den stark ausgeweiteten Anteil der Biokraftstoffe, ein kleiner Beitrag von rund 10 % der zusätzlichen Emissionsminderung ist der Vermeidung bzw. Verlagerung des Straßen-Güterverkehrs zuzurechnen. Insgesamt überwiegt im Jahr 2050 für das Innovationsszenario mit etwa 59 % der Wirkungsbeitrag der Biokraftstoffe.

Abbildung 7.2-5: Komponentenerlegung für die Emissionsentwicklung des Straßen-Güterverkehrs, 2005 – 2050



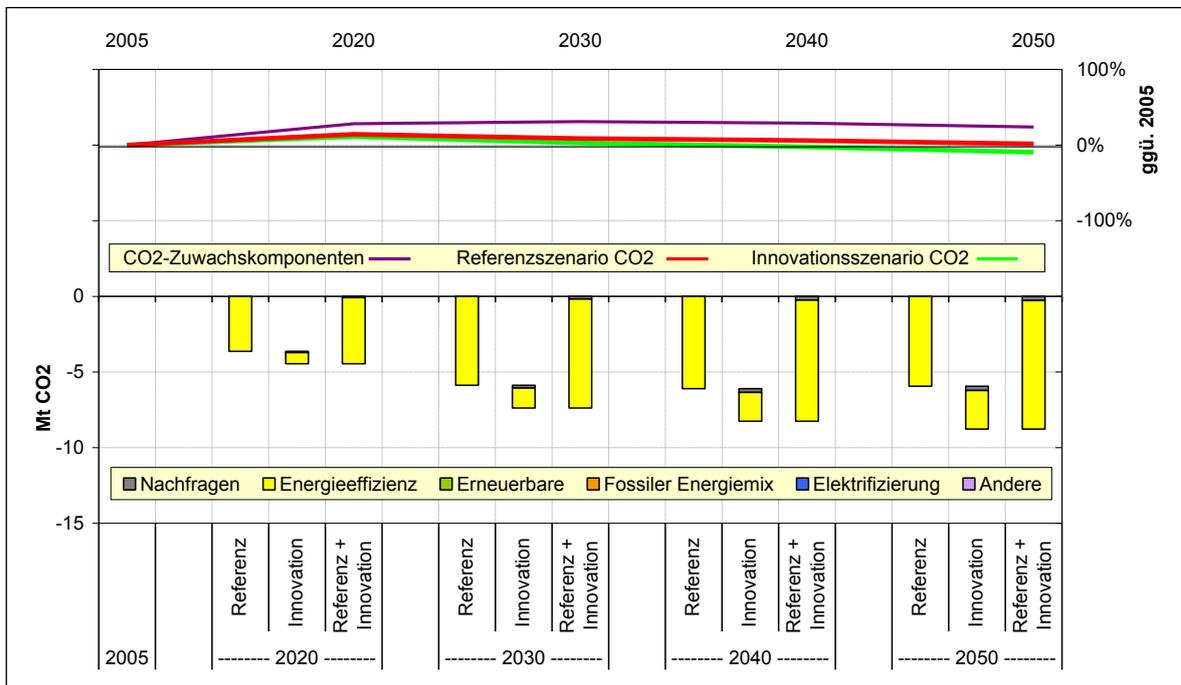
Quelle: Öko-Institut 2009

7.2.6 Ergebnisse der Komponentenerlegung für den Luftverkehr

Mit einem Emissionsniveau von etwa 25 Mio. t CO₂ gehört der Luftverkehr zu einem wesentlichen Verursacherbereich im Verkehrssektor. Der Luftverkehr war in den letzten Jahren durch erhebliche Steigerungsraten der Verkehrsleistung gekennzeichnet. Im Referenzszenario wird bis zum Jahr 2025 ein weiteres Wachstum von 30 % erwartet, gefolgt von einer Stagnation und dann einem leichten Rückgang, so dass im Jahr 2050 ein Luftverkehrsvolumen von etwa 25 % über dem Niveau von 2005 erreicht wird.

Im Referenzszenario steht diesem Wachstumstreiber eine Verbesserung der Energieeffizienz der Flugzeuge in der Größenordnung von knapp 20 % gegenüber, so dass das Emissionsniveau von 2005 zum Ende des Szenarienzeitraums noch um etwa 2 % überschritten wird (Abbildung 7.2-6).

Abbildung 7.2-6: *Komponentenzerlegung für die Emissionsentwicklung des Luftverkehrs, 2005 – 2050*



Quelle: Öko-Institut 2009

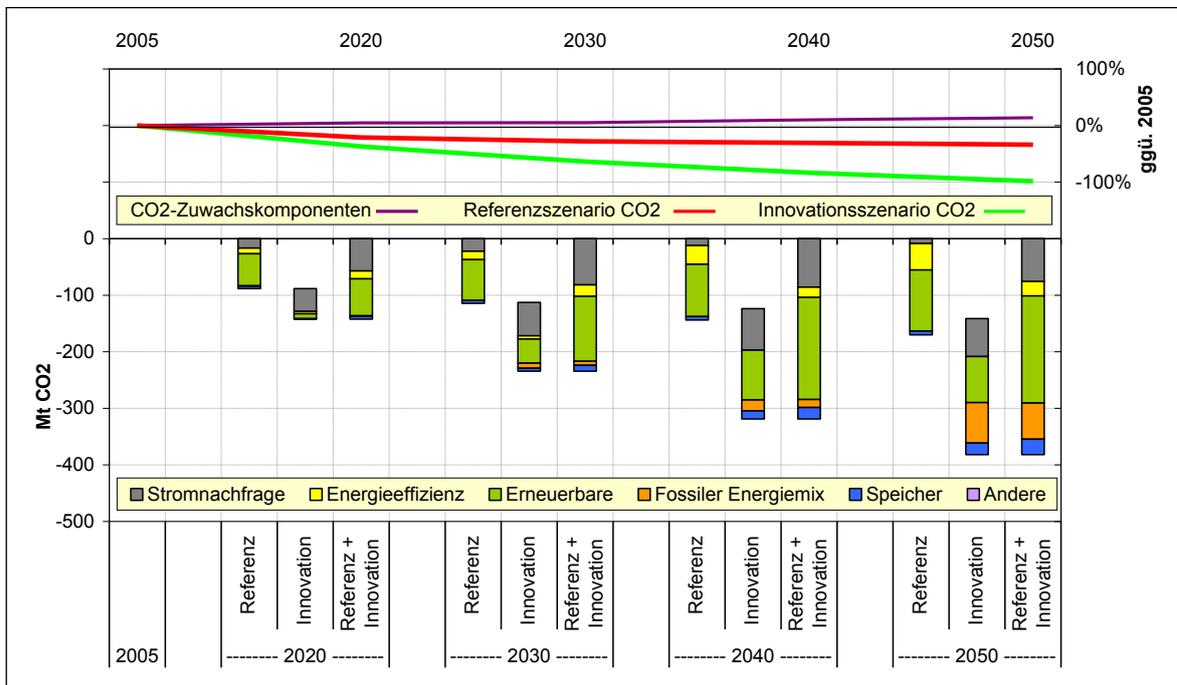
Im Innovationsszenario werden weitere Potenziale zur Erhöhung der Energieeffizienz erschlossen, ein insgesamt kleinerer Minderungsbeitrag entfällt auf die zurückgehende Verkehrsleistung des Flugverkehrs. Insgesamt wird jedoch fast die gesamte Minderungsleistung (98 %) des Flugverkehrs in Höhe von rund 9 Mio. t CO₂ durch Effizienzverbesserungen erzielt.

7.2.7 Ergebnisse der Komponentenzerlegung für die Stromerzeugung

Die Stromerzeugung bildet in Deutschland den größten Verursachersektor für Treibhausgasemissionen. Der Stromverbrauch wird für das Referenzszenario als weitgehend konstant angenommen und geht zum Ende des Szenarienzeitraums leicht zurück. Gleichwohl sind für den Stromsektor kleinere Zuwachskomponenten zu berücksichtigen, die sich in der Komponentenanalyse vor allem aus dem Rückgang des Kernenergie-Anteils ergeben.

Im Referenzszenario (Variante „ohne CCS“) gehen die CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2050 um insgesamt 34 % zurück. Die entsprechende Minderungsleistung von etwa 170 Mio. t CO₂ ergibt sich vor allem aus dem Zuwachs der Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien (63 %). Geringere Anteile entfallen auf die verbesserte Effizienz der fossil gefeuerten Kraftwerke (27 %) sowie auf die geringere Stromnachfrage (5 %) und die Strombereitstellung über Speicher (4 %).

Abbildung 7.2-7: Komponentenzzerlegung für die Emissionsentwicklung der Stromerzeugung, 2005 – 2050



Quelle: Öko-Institut 2009

Das Innovationsszenario ist durch einen erheblichen Minderungsbeitrag der abgesenkten Stromnachfrage gekennzeichnet (Abbildung 7.2-7).

Die indirekten Effekte durch die Stromeinsparungen auf der Nachfrageseite repräsentieren damit einen Anteil von rund 20 % der gesamten Minderungsleistung im Innovationsszenario. Gleichwohl dominiert auch hier der nochmals deutlich gesteigerte Beitrag der erneuerbaren Energien (50 %). Als zusätzlicher Beitrag im Innovationsszenario ergibt sich weiterhin der ausschließliche Verbleib von fossilen Kraftwerkskapazitäten mit wenig CO₂-intensiven Brennstoffen im deutschen Stromerzeugungssystem, der sich in einem erheblichen Minderungsbeitrag aus dem fossilen Kraftwerksmix dokumentiert (17 % der gesamten Minderungsleistung im Innovationsszenario).

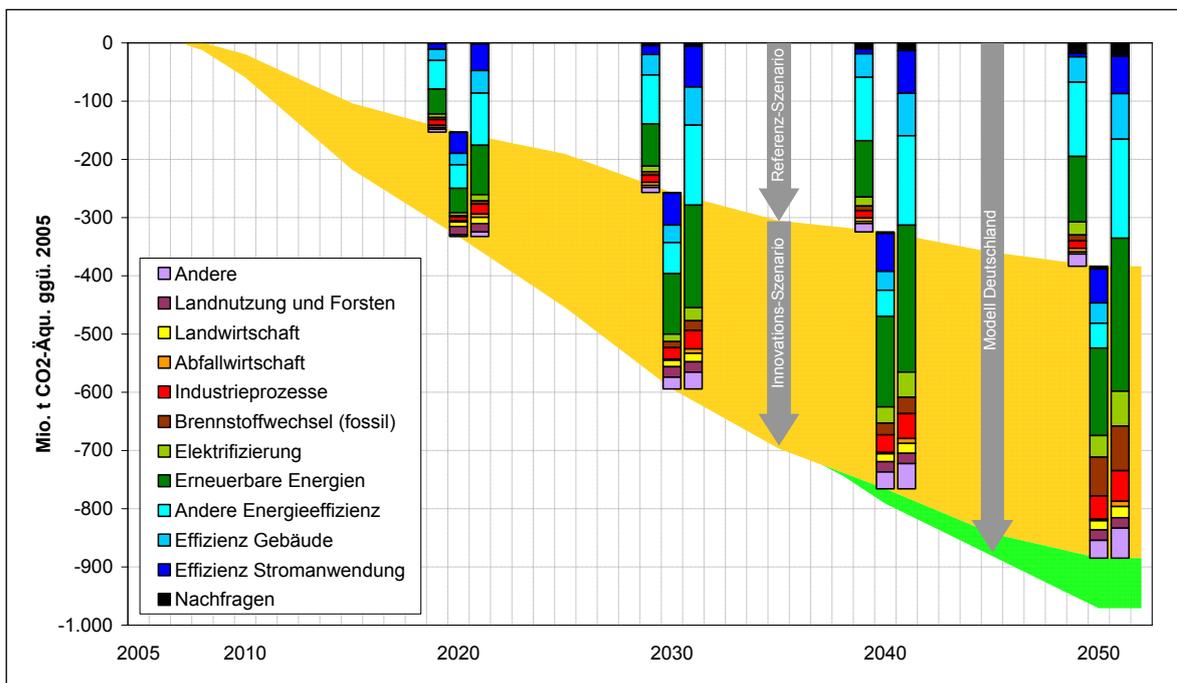
Eine Besonderheit ergibt sich für den Stromerzeugungssektor hinsichtlich des Minderungsbeitrags durch die verbesserte Effizienz der fossilen Kraftwerke. Da im Innovationsszenario deutlich weniger neue Kraftwerkskapazitäten als im Referenzszenario in Betrieb genommen werden, verbessert sich die Effizienz des fossilen Kraftwerksparcs im Innovationsszenario in geringerem Maße als im Referenzszenario. Entsprechend ist der Wirkungsbeitrag aus der verbesserten Effizienz der fossilen Kraftwerke im Innovationsszenario (25 Mio. t CO₂) kleiner als im Referenzszenario (47 Mio. t CO₂).

Für die Erreichung ambitionierter Emissionsminderungsziele in der Stromerzeugung spielen vor allem der Ausbau der erneuerbaren Energien, aber auch die Rückführung der Stromnachfrage und der Brennstoffwechsel zu CO₂-armen fossilen Kraftwerken eine entscheidende Rolle. Unter diesen Handlungsansätzen dominiert klar der Ausbau der erneuerbaren Energien.

7.2.8 Ergebnisse der Komponentenerlegung für die gesamten Treibhausgasemissionen

Unter Berücksichtigung der in den vorstehenden Kapiteln nicht weiter diskutierten Sektoren und Subsektoren (mit kleineren Minderungsbeiträgen) sowie unter Einbeziehung der Minderungsoptionen aus dem Bereich der nicht-energiebedingten bzw. Nicht-CO₂-Emissionen ergibt sich das in Abbildung 7.2-8 gezeigte Gesamtbild.

Abbildung 7.2-8: Komponentenerlegung für die gesamte Emissionsentwicklung im Referenz- und Innovationsszenario, 2005 – 2050



Quelle: Öko-Institut 2009

Die Übersicht verdeutlicht, dass im Referenzszenario etwa die Hälfte (46 %) aller Minderungsbeiträge der Energieeffizienz (bei Strom, Gebäuden etc.) zuzurechnen ist. Auf die erneuerbaren Energien entfallen hier 29 %, auf die Elektrifizierung (v.a. des Verkehrs) rund 6 %. Zu beachten ist, dass vor allem in den ersten Dekaden des Szenarienzitraums 2005 bis 2050 die Wirkungsbeiträge der verschiedenen Handlungsbereiche im Bereich der Energieeffizienz Anteile von über 50 % der gesamten Minderungsleistung repräsentieren und die Beiträge der erneuerbaren Energien bei Werten um 30 % liegen.

Für das Innovationsszenario ergeben sich deutlich andere Akzente:

- Die spezifische Rolle der erneuerbaren Energien ist im Verhältnis zu den Energieeffizienzbeiträgen erheblich größer (35 % im Vergleich zu 30 % im Referenzszenario).
- Im Bereich der Energieeffizienzbeiträge kommt der effizienteren Stromnutzung eine deutlich größere Rolle zu (7 % im Vergleich zu 2 %).
- Der Ersatz von CO₂-intensiven durch weniger CO₂-intensive fossile Brennstoffe (soweit sie 2050 noch genutzt werden) erbringt erhebliche Zusatzbeiträge (9 % im Vergleich zu 2 %).

- Über die Minderung der Treibhausgasemissionen im Bereich der Industrieprozesse werden messbare Zusatzbeiträge erbracht (6 % im Vergleich zu 3 %).
- Der Bereich Landnutzung und Forsten liefert ebenfalls nicht zu vernachlässigende Minderungsbeiträge (2 % exklusiv im Innovationsszenario).

Die Minderungsbeiträge aus der gesamten Palette der Energieeffizienzoptionen sowie eine breite Einführung von erneuerbaren Energien bilden damit zentrale Bausteine sowohl des Referenz- als auch des Innovationsszenarios. Die im Innovationsszenario erreichten massiven Emissionsminderungen (87 % im Vergleich zu 1990 bzw. 73 % gegenüber 2005) erfordern jedoch neben einer verstärkten Erschließung der Energieeffizienzpotenziale eine deutlich größere Rolle der erneuerbaren Energien, der Elektrifizierung des Verkehrs und der fossilen Brennstoffsubstitution wie auch die Erschließung anderer Emissionsminderungsoptionen im Bereich von Industrieprozessen, Landnutzung, Landwirtschaft etc.

Die Übersicht in Abbildung 7.2-8 verdeutlicht schließlich auch, dass die verbleibenden Lücken bei der Emissionsreduktion für das Erreichen des 95 %-Minderungsziels vor allem in den Jahren nach 2040 entstehen. Für diesen – langfristigen – Zeithorizont wären dann zusätzlich Minderungspotenziale zu identifizieren und zu bewerten.

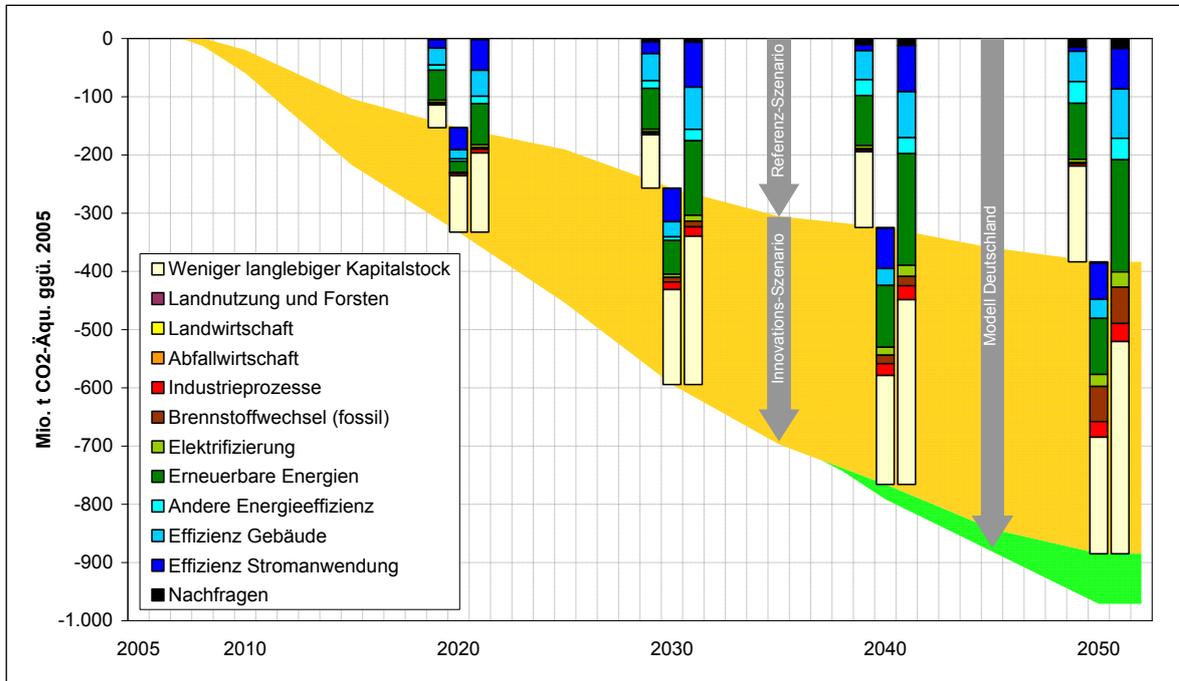
Die über die Komponentenerlegung identifizierten Minderungsbeiträge können auch aus anderen Perspektiven analysiert werden. Eine zentrale Frage für die Umsetzung v.a. der ambitionierten Emissionsminderungsziele besteht beispielsweise darin, welche zeitlichen Handlungsfenster für die Erschließung der Reduktionspotenziale existieren. Gerade für Emissionsreduktionen in Bereichen, die durch einen besonders langlebigen Kapitalstock geprägt sind oder die indirekte Konsequenzen für solche Sektoren haben, bilden rechtzeitig und richtig terminierte Umsetzungsmaßnahmen eine Schlüsselbedingung. Andernfalls würde die Erschließung der Emissionsminderungspotenziale entweder unmöglich gemacht oder sie würde wegen der dann anstehenden Kapitalvernichtung zu vergleichsweise hohen Kosten führen.

Die Abbildung 7.2-9 verdeutlicht das Ergebnis einer entsprechenden Gruppierung der Minderungspotenziale. Als Wirkungsbeiträge mit Bezug zu einem besonders langlebigen Kapitalstock wurden demnach eingruppiert:

- Minderungsbeiträge im Bereich der Gebäude;
- Minderungsbeiträge im Bereich der Stromerzeugung (einschließlich der Nachfrage);
- schienenverkehrsbezogene Minderungsbeiträge;
- Minderungsbeiträge im Bereich der prozessbedingten CO₂-Emissionen.

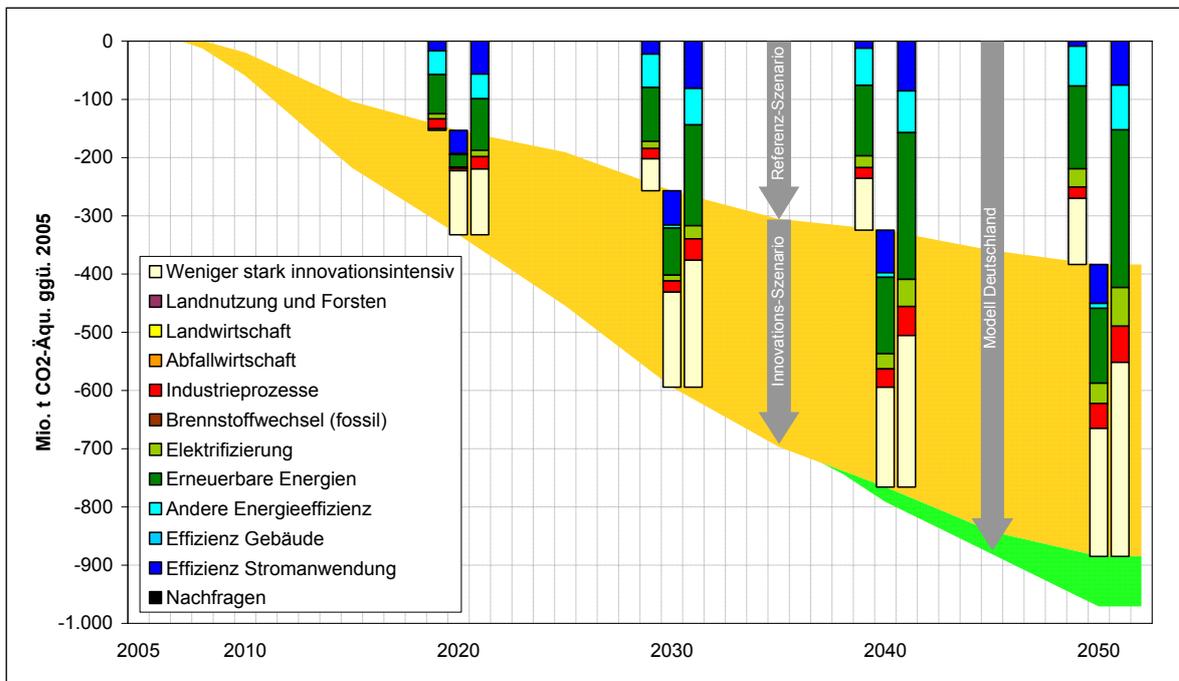
Die Ergebnisse dieser (naturgemäß groben und orientierenden) Analyse zeigen deutlich, dass die Minderungsbeiträge mit Bezug zu einem jeweils besonders langlebigen Kapitalstock auf lange Sicht etwa 60 % der modellierten Emissionsminderungen betreffen. Neben den richtigen Handlungsansätzen kommt damit den richtigen Interventionszeitpunkten zur Erschließung der Minderungspotenziale eine besondere und zunehmende Rolle zu.

Abbildung 7.2-9: Komponentenzzerlegung für die gesamte Emissionsentwicklung im Referenz- und Innovationsszenario unter Berücksichtigung der Langlebigkeit des jeweiligen Kapitalstocks, 2005 – 2050



Quelle: Öko-Institut 2009

Abbildung 7.2-10: Komponentenzzerlegung für die gesamte Emissionsentwicklung im Referenz- und Innovationsszenario unter Berücksichtigung der Innovationsintensität der jeweiligen Minderungsbeiträge, 2005 – 2050



Quelle: Öko-Institut 2009

Eine andere Analysedimension ergibt sich aus der Frage der notwendigen Innovationsintensität. Für eine Reihe von Minderungsbeiträgen bilden erhebliche Innovationen im Bereich von Technik, Kosten, Umweltqualität etc. die Voraussetzung. Abbildung 7.2-10 zeigt eine entsprechende Zuordnung.

Als besonders innovationsintensiv wurden dabei die folgenden Minderungsbeiträge eingeordnet:

- Minderungsbeiträge im Bereich erneuerbare Energien, Elektrifizierung etc. und im Sektor Industrie;
- erhöhte Effizienzstandards bei konventionellen PKW und Elektromobilität im Bereich des motorisierten Individualverkehrs;
- Effizienzverbesserungen im Bereich des Straßengüterverkehrs;
- Bereitstellung von Biokraftstoffen mit hoher Umweltqualität;
- Effizienzerhöhungen bei Flugzeugen;
- Emissionsminderungen bei CO₂ und N₂O aus Industrieprozessen und im Bereich der fluorierten Treibhausgase.

Auch hier zeigt die – orientierende – Zusammenstellung, dass mehr als 60 % der langfristig notwendigen Minderungsbeiträge erhebliche Innovationen als Voraussetzung haben. Zentrale Herausforderungen sind hier die erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung, Biokraftstoffe mit hoher Umweltqualität, Energieeffizienz v.a. bei Stromanwendungen, Elektromobilität sowie Emissionsminderungen bei den nicht-energiebedingten Emissionen aus Industrieprozessen.

7.3 Zusatzanalysen

7.3.1 Abschätzung zusätzlicher Emissionsminderungspotenziale

Im Referenzszenario werden zwar erhebliche Emissionsreduktionen erzielt; mit einer Minderung des Treibhausgas-Ausstoßes von etwa 45 bis 50 % unter das Niveau von 1990 (Varianten „ohne CCS“ bzw. „mit CCS“) sind sie jedoch weit entfernt vom 95 %-Minderungsziel für 2050. Im Innovationsszenario wird die verbleibende Lücke zu erheblichen Teilen geschlossen, bei Emissionsminderungen von 86 % bis 87% verbleiben aber noch zusätzliche Minderungsnotwendigkeiten.

Im Folgenden wird eine Reihe von zusätzlichen Emissionsminderungen betrachtet, diskutiert und bewertet. Dabei geht es nicht um eine integrierte Betrachtung im Rahmen von erneuten Modellierungsarbeiten, sondern um grobe Abschätzungen und Implikationsanalysen.

In einer Reihe von Sektoren werden im Innovationsszenario die Emissionen bereits nahezu vollständig zurückgeführt, so dass zusätzliche Emissionsminderungen in diesen Bereichen keine Option bilden. Dazu gehören:

- der Gebäudesektor;
- der Bereich Gewerbe, Handel, Dienstleistungen;
- die Stromerzeugung;
- der motorisierte Individualverkehr;
- der Straßen-Güterverkehr.

Signifikante Rest-Emissionen verbleiben zunächst vor allem für die Bereiche Industrie und Luftverkehr.

Eine nähere Analyse der Entwicklung von Energieverbrauch und Emissionen im Sektor Industrie zeigt, dass die Rest-Emissionen hier vor allem aus zwei Gründen relativ hoch sind:

- Der Ersatz von Steinkohlen durch andere Energieträger ist im Bereich der Eisen- und Stahlerzeugung nur begrenzt möglich, da diese Energieträger auch als Reduktionsmittel für die Roheisengewinnung benötigt werden (der hier im Bereich der energiebedingten CO₂-Emissionen bilanzierte Einsatz von Kohlen wird daher in den nationalen Treibhausgasinventaren unter den prozessbedingten Emissionen erfasst). Hier kommt als Emissionsminderungsmaßnahme nur die Substitution von Stahl durch andere Materialien, die weitere Einsparung von Stahl oder aber der Einsatz von CCS bei der Roheisenproduktion in Frage.
- Für eine Reihe von Industrieprozessen wird Erdgas zur Prozesswärmeerzeugung benötigt. Hier ist – neben allen Maßnahmen zur Einsparung bzw. in Teilbereichen zum Einsatz von Elektrowärme – perspektivisch der Einsatz von Biomethan als Erdgasersatz möglich.

Mit Blick auf die Emissionen des Flugverkehrs bildet für die Perspektive 2050 vor allem der Einsatz von Biokraftstoffen eine Option, wobei wie auch bei allen anderen Biomasse-einsätzen die Voraussetzung ist, dass hohe Standards zur Gewährleistung der Nachhaltigkeit der Biomasse existieren und durchgesetzt werden. Sowohl im Referenz- als auch im Innovationsszenario wird im Flugverkehr ausschließlich Mineralöl eingesetzt, hier kann – wie im Güterverkehr – der vollständige Ersatz durch Biokraftstoffe angestrebt werden.

Tabelle 7.3-1: Zusätzliche CO₂-Emissionsminderungsoptionen (bezogen auf das Innovationsszenario), 2020 - 2050

		Zusätzliche Emissionsminderungsoptionen			
		2020	2030	2040	2050
Eisen- und Stahlindustrie					
CO ₂ -Emissionen der Eisen- und Stahlproduktion (Reduktionsmitteleinsatz) - Innovationsszenario	Mio. t CO ₂	33	28	22	17
CO ₂ -Emissionen der Eisen- und Stahlproduktion (Kalksteineinsatz) - Innovationsszenario	Mio. t CO ₂	2	2	1	1
Potenzielle CO ₂ -Minderung mit CCS	Mio. t CO ₂		15	16	16
		0%	50%	70%	90%
Prozesswärme in der Industrie					
Gaseinsatz - Innovationsszenario	PJ	606	520	456	445
Öleinsatz - Innovationsszenario	PJ	28	21	17	16
	Mio. t CO ₂	36	31	27	26
Ersatz durch Bio-Methan	PJ		216	378	438
			40%	80%	95%
Potenzielle CO ₂ -Minderung durch Bio-Methan	Mio. t CO ₂	0	12	21	25
Zusätzlicher Primärenergiebedarf Biomasse	PJ		309	541	626
Kraftstoffe im Flugverkehr					
Flugkraftstoffbedarf - Innovationsszenario	PJ	383	354	336	312
	Mio. t CO ₂	28	26	25	23
Ersatz durch Bio-Kraftstoffe	PJ		142	269	296
			40%	80%	95%
Potenzielle CO ₂ -Minderung durch Bio-Kraftstoffe	Mio. t CO ₂	0	10	20	22
Zusätzlicher Primärenergiebedarf Biomasse	PJ		236	448	494
Zusatzoptionen insgesamt					
Potenzielle CO ₂ -Minderung	Mio. t CO ₂		37	58	63
Zusätzlicher Endenergiebedarf Biomasse	PJ		358	647	735
Zusätzlicher Primärenergiebedarf Biomasse	PJ		545	989	1.120

Quelle: Öko-Institut 2009

In der Tabelle 7.3-1 sind die über diese Maßnahmen möglicherweise erzielbaren CO₂-Minderungen (auf Basis des Innovationsszenarios) zusammengestellt. Die Übersicht verdeutlicht, dass für den Zeithorizont 2050 insgesamt eine zusätzliche Emissionsreduktion von etwa 60 Mio. t CO₂ erzielt werden könnte. Für diese Maßnahmen muss jedoch erstens die Voraussetzung erfüllt werden, dass die Option CCS zur Verfügung steht und dass zweitens die entsprechenden Mengen an Biomasse auf der End- oder der Primärenergieebene mit Nachhaltigkeitsstandards verfügbar gemacht werden können.

Gerade die Verfügbarkeit der zusätzlich erforderlichen Biomasse wirft in Bezug auf die einheimischen Potenziale erhebliche Fragen auf. Daher soll in einem weiteren Analyseschritt untersucht werden, in welcher Größenordnung Biomasse aus anderen Sektoren durch anderweitige Maßnahmen verfügbar gemacht werden könnte. Hierzu wurden mit dem Komponentenerlegungsmodell Sensitivitätsanalysen durchgeführt, deren Ergebnisse in Tabelle 7.3-2 zusammengestellt sind. Untersucht wurden vier verschiedene Parametervariationen:

- Eine um 20 % forcierte Einführung elektrischer Antriebe im Bereich des motorisierten Individualverkehrs: Die mit Elektrofahrzeugen bediente Verkehrsleistung steigt im Jahr 2050 von 354 auf 425 Mrd. Pkm.
- Eine Verkehrsvermeidung bzw. Verlagerung von 20 % der Personen- und Verkehrsleistung im motorisierten Individualverkehr sowie im Straßen-Güterverkehr.
- Eine Verbesserung der Energieeffizienz für die konventionellen PKW- und LKW-Antriebe.
- Die Kombination der beiden letztgenannten Parametervariationen.

Die exemplarischen Berechnungen zeigen, dass durch die genannten Sensitivitätsuntersuchungen für den Zeithorizont 2050 etwa 350 PJ Biomasse (auf der Endenergiestufe) für andere Verwendungen frei werden könnten. Diese Größenordnung würde ausreichen, um z. B. den o.g. zusätzlichen Biokraftstoffbedarf für den Flugverkehr abzudecken. Gleichwohl bleibt ein erheblicher Zusatzbedarf an Biomasse zu decken, wenn auch die Ersatzstrategie mit Bio-Methan in der Industrie angestrebt werden soll.

Die anderen Effekte aus der Parameteranalyse hätten ggf. keine wesentlichen Auswirkungen auf die energiewirtschaftlichen Strukturen bzw. die langfristige Emissionsentwicklung. Die zusätzliche Stromnachfrage von 20 PJ (6 TWh) würde die elektrizitätswirtschaftliche Situation nicht nennenswert verändern. Die zusätzlichen Emissionsreduktionen erreichten vor allem für den Zeithorizont 2020/2030 eine deutliche Rolle, sie nehmen aber wegen des danach schnell zunehmenden Anteils regenerativer oder emissionsfreier Energieträger im Zeitverlauf wieder erheblich ab.

Tabelle 7.3-2: *Auswirkungen der Variantenrechnungen für den Verkehrssektor auf den Bedarf an Biokraftstoffen und Elektrizität sowie auf die CO₂-Emissionen, 2020 – 2050*

		Motorisierter Individualverkehr				Straßengüterverkehr			
		2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Biotreibstoffbedarf (PJ)									
Forcierte Elektromobilität	20%	-1	-14	-51	-84	-	-	-	-
Reduzierte Verkehrsleistung	20%	-36	-72	-70	-56	-23	-59	-89	-124
Verbesserte Effizienz konventioneller Antriebe	20%	-36	-72	-70	-56	-23	-59	-89	-124
Reduzierte Verkehrsleistung & verbesserte Effizienz	je 20%	-65	-129	-125	-100	-41	-106	-161	-224
Effekt für Strombedarf (PJ)									
Forcierte Elektromobilität	20%	0	3	12	20	-	-	-	-
Treibhausgasemissionen (Mio. t CO₂-Äquivalent)									
Forcierte Elektromobilität	20%	-	-	-	-	-	-	-	-
Reduzierte Verkehrsleistung	20%	-14	-7	-4	-1	-8	-5	-3	0
Verbesserte Effizienz konventioneller Antriebe	20%	-26	-13	-6	-2	-8	-5	-3	0
Reduzierte Verkehrsleistung & verbesserte Effizienz	je 20%	-26	-13	-6	-2	-14	-9	-5	0

Quelle: Öko-Institut 2009

Eine letzte Möglichkeit zur Erzielung zusätzlicher Emissionsminderung ist die Ablagerung des bei der Biokraftstoffproduktion entstehenden biogenen CO₂ in geologischen Formationen. Mit dieser CCS-Anwendung würde eine Netto-CO₂-Senke geschaffen. Die Tabelle 7.3-3 zeigt eine grobe Abschätzung für das vorstellbare CO₂-Minderungspotenzial einer solchen Option.

Tabelle 7.3-3: CCS-Potenziale für (biogene) CO₂-Emissionen aus der Biokraftstoffproduktion, 2020 – 2050

		Zusätzliche Emissionsminderungsoptionen			
		2020	2030	2040	2050
Biokraftstoffverbrauch					
Bioethanol (Innovationsszenario)	PJ	86	227	258	242
Biodiesel (Innovationsszenario)	PJ	214	442	559	689
Zusätzlicher Biokraftstoffbedarf Flugverkehr	PJ	383	354	336	312
CO₂-Entstehung bei der Produktion					
Bioethanol	Mio. t CO ₂		7	7	7
Biodiesel und Flugkraftstoff	Mio. t CO ₂		23	26	29
CCS für CO₂ aus Biokraftstoffproduktion					
CO ₂ -Abscheidung und Ablagerung - Obergrenze	Mio. t CO ₂		15	23	32
			50%	70%	90%

Quelle: Öko-Institut 2009

Bei konsequenter Erschließung dieser zusätzlichen CO₂-Minderungsoptionen könnte ein Gesamtpotenzial von um die 80 Mio. t CO₂ für den Zeithorizont 2050 erschlossen und damit die Lücke zur Erreichung des 95 %-Minderungsziels geschlossen werden.

Gerade die zusätzlichen Minderungsbeiträge sind jedoch mit erheblichen Unsicherheiten behaftet und bedürften in jedem Fall flankierender Maßnahmen in erheblichem Umfang, vor allem im Bereich der Biomasse und der CCS-Entwicklung.

Die Tabelle 7.3-4 zeigt die Ergebnisse der Zusatzanalysen im Kontext der Ergebnisse des Innovationsszenarios. Mit den erst mittelfristig (d.h. nach 2030) greifenden Maßnahmen im Bereich CCS und Biomasse können die Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 noch einmal um etwa 90 Mio. t CO₂-Äqu. gedrückt werden, so dass sich in der Variante „ohne CCS“ (in der Stromerzeugung) im Vergleich zu 1990 eine Emissionsminderung um rund 95 % und in der Variante „mit CCS“ (in der Stromerzeugung) eine Emissionsreduktion von etwa 94 % ergibt. Wenn für die CO₂-Vermeidung durch den Einsatz von Biomasse in Kombination mit CCS die untere Schätzung in Ansatz gebracht wird, ergeben sich um etwa 1,5 Prozentpunkte geringere Minderungsbeiträge.

Tabelle 7.3-4: „Modell Deutschland“: Treibhausgasemissionen im Innovationsszenario mit den zusätzlich untersuchten Minderungspotenzialen, 1990 – 2050

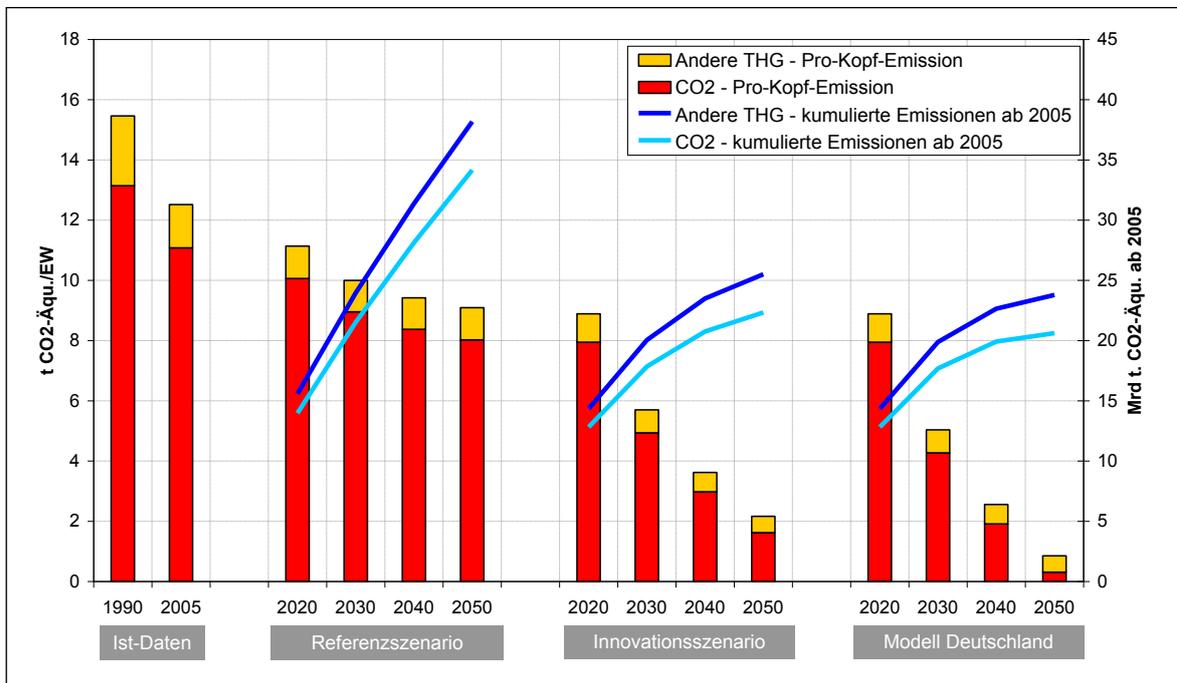
Mio. t CO ₂ -Äqu.	Ist-Daten		Innovationsszenario			
	1990	2005	2020	2030	2040	2050
Szenarienanalysen						
Verbrennungsprozesse ohne CCS in der Stromerzeugung	1.018	843	589	353	199	97
Verbrennungsprozesse mit CCS in der Stromerzeugung	1.018	843	589	357	201	106
Flüchtige und prozessbedingte Emissionen, Produktverwendung	107	84	54	37	23	10
Landwirtschaft	62	53	39	36	33	30
Landnutzung und Forsten	-28	39	21	18	18	18
Abfallwirtschaft	40	13	6	4	3	3
Insgesamt ohne CCS in der Stromerzeugung	1.199	1.031	709	447	276	157
Insgesamt mit CCS in der Stromerzeugung	1.199	1.031	709	451	278	166
Insgesamt ohne CCS in der Stromerzeugung						
Veränderung ggü. 1990	-	-14,0%	-40,8%	-62,7%	-77,0%	-86,9%
Veränderung ggü. 2005	16,3%	-	-31,2%	-56,6%	-73,3%	-84,8%
Insgesamt mit CCS in der Stromerzeugung						
Veränderung ggü. 1990	-	-14,0%	-40,8%	-62,4%	-76,8%	-86,2%
Veränderung ggü. 2005	16,3%	-	-31,2%	-56,3%	-73,1%	-83,9%
Zusatzanalysen "Modell Deutschland"						
CCS für prozessbedingtes CO ₂ aus der Eisen- und Stahlindustrie				-15	-16	-16
Bio-Methan für verbleibende Prozessfeuerungen der Industrie				-12	-21	-25
Biokraftstoffe im Flugverkehr				-10	-20	-22
CCS bei Biokraftstoffherstellung (ohne Sicherheitsabschlag)				-15	-23	-32
Insgesamt ohne CCS in der Stromerzeugung	1.199	1.031	709	395	195	62
Insgesamt mit CCS in der Stromerzeugung	1.199	1.031	709	399	197	71
Insgesamt ohne CCS in der Stromerzeugung						
Veränderung ggü. 1990	-	-14,0%	-40,8%	-67,0%	-83,8%	-94,8%
Veränderung ggü. 2005	16,3%	-	-31,2%	-61,7%	-81,1%	-94,0%
Insgesamt mit CCS in der Stromerzeugung						
Veränderung ggü. 1990	-	-14,0%	-40,8%	-66,7%	-83,6%	-94,1%
Veränderung ggü. 2005	16,3%	-	-31,2%	-61,3%	-80,9%	-93,1%

Anmerkung: Emissionsdaten für 2005 sind Inventardaten; energiebedingte Emissionen inklusive CO₂ aus Rauchgasreinigungsanlagen

Quelle: Prognos und Öko-Institut 2009

Die Szenarien- und Zusatzanalysen zeigen, dass Emissionsreduktionen in der Größenordnung von 95 % für Deutschland technisch-wirtschaftlich darstellbar sind, dass eine Reihe von Entwicklungsvarianten zu ähnlichen Ergebnissen führen, dass aber mit den Bereichen Biomasse und CCS kritische (und umstrittene) Handlungsfelder existieren, die essentiell für die Erreichbarkeit von Klimaschutzzielen in der Größenordnung von 95 % im Vergleich zu 1990 sind, selbst wenn die Minderungspotenziale von Energieeffizienz, erneuerbaren Energien etc. massiv erschlossen werden.

Abbildung 7.3-1: Szenarienvergleich, Pro-Kopf-Emissionen und kumulierte Emissionen (ab 2005), 1990 – 2050



Quelle: Prognos/Öko-Institut 2009

Abbildung 7.3-1 vermittelt einen Überblick zu den Auswirkungen der Zusatzrechnungen für die Variante „Modell Deutschland“ auf die Pro-Kopf- und die kumulierten Treibhausgasemissionen.

Die spezifischen Treibhausgasemissionen verringern sich in der Variante „Modell Deutschland“ auf 0,9 t CO₂-Äqu./EW für alle Treibhausgase sowie auf 0,3 t/EW für CO₂. Dieser sehr geringe Wert erklärt sich auch aus der Tatsache, dass in dieser Szenarienvariante erstmals die Schaffung einer Netto-CO₂-Senke mit einbezogen wurde. Insgesamt werden im Jahr 2050 etwa 0,4 t CO₂/EW aus biogenen Quellen in geologische CO₂-Lagerstätten verbracht und bilden damit eine CO₂-Senke. Zusammen mit den verbleibenden CO₂-Emissionen aus fossilen Quellen in Höhe von knapp 0,8 t/EW ergibt sich im Saldo der o.g. Wert von etwas mehr als 0,3 t CO₂/EW. Im Vergleich zum Ausgangswert des Jahres 1990 ergibt sich eine Reduktion der Pro-Kopf-Emissionen von 96 % für die gesamten Treibhausgasemissionen bzw. 98 % für die CO₂-Emissionen.

Die kumulierten Treibhausgasemissionen für die Periode 2005 bis 2050 betragen in der Variante „Modell Deutschland“ 23,8 Mrd. t CO₂-Äqu., für die CO₂-Emissionen beträgt der entsprechende Wert 20,6 Mrd. t. Damit liegen die kumulierten Emissionen in dieser Szenarienvariante etwa um 7 % unter dem Wert für das Innovationsszenario und 38 % unter dem für das Referenzszenario. Die zusätzlichen Emissionsminderungen, die v.a. zum Ende der Periode 2005 bis 2050 voll wirksam werden, verstärken auch hier noch einmal den Anteil der in den ersten Dekaden des Betrachtungszeitraums kumulierten Emissionen. Von den o.g. kumulierten Treibhausgasemissionen für die Periode 2005 bis 2050 entfällt ein Anteil von etwa 60 % auf den Zeitraum von 2005 bis 2020, der entsprechende Anteil für den Zeitraum 2005 bis 2030 liegt 84 %.

7.3.2 Biomasse-spezifische Analysen

Die Beschränkung der Biomassenutzung auf das in Deutschland nachhaltig gewinnbare Potenzial für die energetische Verwendung war eine der Leitplanken, auf deren Basis die Szenarienentwicklung begann. Die Analysen für das Innovationsszenario zeigten jedoch, dass eine massive Rückführung der CO₂-Emissionen um über 85 % nur gelingen kann, wenn in den Bereichen, in denen es keine erkennbaren emissionsfreien bzw. emissionsarmen Alternativen zur Biomassenutzung gibt (v.a. Straßen-Güterverkehr und der nicht für die Elektromobilität erschließbare Anteil des motorisierten Individualverkehrs), zusätzliche Biomasse eingesetzt werden. Dies gilt umso mehr, wenn auch die Ergebnisse der Zusatzanalysen für die Variante „Modell Deutschland“ berücksichtigt werden. Diese Analysen haben einerseits gezeigt, dass ein zusätzlicher Biomassebedarf entstehen wird, wenn die verbliebenen fossilen Energieträger im Flugverkehr und der Industrie (Flugkraftstoffe und Erdgas für den Einsatz in industriellen Prozessfeuerungen) abgelöst werden sollen. Die Sensitivitätsrechnungen haben aber andererseits auch gezeigt, in welcher Größenordnung Biokraftstoffe durch sehr massive Veränderungen im Bereich der Verkehrsvermeidung/-verlagerung, weitere Effizienzverbesserungen bei konventionellen Fahrzeugantrieben sowie eine nochmals forcierten Ausweitung der Elektromobilität freigesetzt werden können.

Die Tabelle 7.3-5 zeigt eine Biomassebilanz für die beiden Szenarien und die Zusatzrechnungen für die Variante „Modell Deutschland“. Die Summen für den gesamten Primärenergiebedarf an Biomasse enthalten neben den dem Endverbrauch an Biomasse bzw. Biomasse-Produkten und dem Einsatz von Biomasse in der Stromerzeugung auch die Menge an Biomasse, die zur Herstellung von Biokraftstoffen bzw. Biogas in den entsprechenden Umwandlungsprozessen benötigt werden.

Im Referenzszenario erreicht der Primärenergiebedarf an Biomasse im Jahr 2050 einen Wert von knapp 1.090 PJ. Dieser Wert liegt damit nur knapp unter dem Wert, der für das Potenzial an nachhaltiger Biomassebereitstellung in Deutschland angeleitet wurde (vgl. Kapitel 2.5.2). Im Innovationsszenario wird das genannte Gesamtpotenzial um etwa 43 % überschritten, vor allem als Folge des massiven Zusatzbedarfs an Biokraftstoffen und trotz des zurückgehenden Einsatzes von Biomasse in der Stromerzeugung. Diese Tendenz verstärkt sich nochmals in der Variante „Modell Deutschland“. Ohne Berücksichtigung von Biomassefreisetzungen durch gravierende Maßnahmen in den Bereiche Verkehrsvermeidung/-verlagerung, Fahrzeugeffizienz und forciertes Elektromobilität ergibt sich ein Primärenergiebedarf an Biomasse, der den Wert von 1.200 PJ um mehr als 120 % übersteigt. Aber selbst wenn man durch die genannten – und hinsichtlich ihrer vollständigen Realisierbarkeit nicht im Detail geprüften – Biomassefreisetzungen eine gewisse Entlastung erreichen könnte, wird das nachhaltige einheimische Potenzial um etwa 80 % überschritten.

Tabelle 7.3-5: Bilanz des Biomassebedarfs für das Referenz- und das Innovations-szenario sowie die zusätzlichen Maßnahmen des „Modell Deutschland“, 2005 – 2050

PJ	2005	Referenzszenario			
		2020	2030	2040	2050
Endenergieverbrauch					
Biomasse	178	184	188	189	188
Biokraftstoffe	77	193	268	321	340
Biogas	0	7	16	11	5
Stromerzeugung Biomasse	136	486	468	432	415
Primärenergie	414	908	1.042	1.092	1.089
		Innovationsszenario			
Endenergieverbrauch					
Biomasse	178	189	171	122	66
Biokraftstoffe	77	318	708	867	987
Biogas	0	7	16	11	5
Stromerzeugung Biomasse	136	486	444	394	379
Primärenergie	414	1.097	1.608	1.675	1.720
		Modell Deutschland			
Endenergieverbrauch					
Biomasse	178	189	171	122	66
Biokraftstoffe	77	318	850	1.136	1.283
evtl. zusätzliche Biokraftstoffeinsparung		-107	-246	-326	-391
Biogas	0	7	232	389	443
Stromerzeugung Biomasse	136	486	444	394	379
Primärenergie (mit zusätzlicher Biokraftstoffeinsparung)	414	958	1.761	2.099	2.161
Primärenergie (ohne zusätzliche Biokraftstoffeinsparung)	414	1.097	2.099	2.529	2.664
Nationales Biomassepotenzial 2050 (Grobabschätzung)					1.200

Quelle: Prognos und Öko-Institut 2009

Auch eine vollständige – und letztlich angesichts des sich im Innovationsszenario einstellenden Kraftwerksparks kaum realistische – Freisetzung aller Biomassen aus der Stromerzeugung oder eine massive Elektrifizierung der Prozesswärmeverfahren in der Industrie würde nichts an der Situation ändern, dass die Nachfrage das nationale Potenzial nachhaltig bereitstellbarer Biomasse übersteigen wird. Dieser Überblick zeigt, dass eine Strategie zur Minderung der nationalen Treibhausgasemissionen um 95 % für Deutschland nicht nur auf das genannte einheimische Biomassepotenzial abstellen kann. Der Import von Biomasse – in welcher Größenordnung auch immer – und die Schaffung der entsprechenden Rahmenbedingungen wird damit zumindest mittelfristig Teil des strategischen Gesamtkonzeptes für die Emissionsminderung werden müssen.

Vor diesem Hintergrund ergibt sich eine Reihe von Herausforderungen:

- nachhaltig bereitgestellte Biomasse ist im Rahmen ambitionierter Klimaschutzstrategien eine knappe Ressource, die strategisch bewirtschaftet werden muss;
- die Nutzung der Option Biomasseimport bedarf einer sorgfältigen Analyse, inwieweit die erforderlichen Mengen (in den entsprechenden Qualitäten) auch bei ähnlichen Strategien in anderen Ländern aufkommensseitig wirklich gesichert werden können;

- wenn nationale wie auch internationale Märkte für Biomasseprodukte existieren, müssen die Standards und Regelungen, mit denen die Nachhaltigkeit und auch die soziale Verträglichkeit der Biomassebereitstellung abgesichert werden muss, für die jeweils relevanten Märkte verbindlich gemacht werden.

Während die strategische Ressourcenbewirtschaftung sowie die Schaffung von Rahmenbedingungen für die nationalen und internationalen Biomassemärkte die politischen Strategie und die politische Instrumentierung betreffen (siehe Abschnitte 8.4 und 9) kann hinsichtlich der Biomasseverfügbarkeit hier nur eine grobe Schätzung angestellt werden. Werden die Potenziale der nachhaltig gewinnbaren Biomasse für Europa und die Staaten der ehemaligen Sowjetunion zusammen betrachtet, dann könnte sich hier für den Zeithorizont 2050 ein Wert von etwa 20.000 PJ ergeben (EEA 2006, WGBU 2009). Bei einer Gesamtbevölkerung von ca. 770 Mio. für den Gesamttraum und unter Annahme einer ähnlichen energiewirtschaftlichen Entwicklung wie in der Szenarienvariante Modell Deutschland ergibt sich als Orientierungsgröße für Deutschland ein Potenzialanteil von ca. 2.100 PJ jährlich für das Jahr 2050. Vor dem Hintergrund dieser (sehr groben) Abschätzung liegt ein Aufkommen nachhaltig erzeugter Biomasse in der für die Szenarienvariante „Modell Deutschland“ zumindest nicht außerhalb der grundsätzlich vorstellbaren Quantitäten. Die Lage Deutschlands in geographischer Nähe v.a. Polens und der Ukraine kann hier als deutlicher Vorteil zum Tragen kommen.

Schließlich muss aber auch darauf hingewiesen werden, dass die in Tabelle 7.3-5 gezeigten Größenordnungen des Biomassebedarfs nur unter der Maßgabe gelten, dass v.a. für die Herstellung von Biokraftstoffen Technologien zum Einsatz kommen, die ein Höchstmaß von Umwandlungseffizienz und niedrige Treibhausgasemissionen in der Prozesskette erzielen und vor allem in großen Umfang – und letztlich auch prioritär – Restbiomasse als Rohstoff nutzen können (Biokraftstoffe der 2. und folgender Generationen). Ohne diese Innovation werden sowohl die Begrenzung des Primärenergiebedarfs an Biomasse auf die gezeigten Werte wie auch die angestrebten Emissionsminderungen für Treibhausgase verfehlt.

Ein von vornherein offensiver Umgang mit der Frage von Biomasse-Importen und der notwendigen Rahmensetzungen für die Gewährleistung hoher Standards für die Bereitstellung von Biomasse im europäischen und internationalen Raum sowie die gezielte und rechtzeitige Verfügbarmachung von neuen Umwandlungstechnologien für die Erzeugung von Biokraftstoffen und Biomethan bilden damit eine strategisch wichtige Säule einer erfolgreichen Klimaschutzstrategie.

7.3.3 CCS-spezifische Analysen

Die Technologie der CO₂-Abscheidung und sicheren Einlagerung in geologische Formationen (CCS) spielt in den Szenarien- und Variantenrechnungen eine unterschiedliche Rolle.

So bilden die Varianten „mit CCS“ für die **Stromerzeugung** einerseits eine interessante Sensitivitätsanalyse für die Entwicklung der Stromerzeugungskosten sowie den Bedarf an Speichern für das Stromversorgungssystem für den Fall, dass die Rolle von Stromerzeugungsoptionen mit fluktuierender Einspeisung geringer bleibt als in den Varianten „ohne CCS“. Andererseits sind CCS-Kraftwerke sowohl im Referenzszenario (mit durchaus begrenzt ambitionierter Klimapolitik) als auch im Innovationsszenario (mit strikt am 95 %-Ziel ausgerichteten politischen Rahmenbedingungen) vorgabegemäß eine Rückfalloption für den Fall, dass die Entwicklung der erneuerbaren Energien hinsichtlich technologischer Entwicklung, Kostensituation oder Systemintegration oder aber die Umsetzungserfolge im Bereich der Stromeinsparung hinter den in den Szenarien modellierten Erwartungen zurückbleiben.

Keine Option, sondern eine wichtige und im Kontext des 95 %-Minderungsziels unverzichtbare Klimaschutzmaßnahme ist der Einsatz der CCS-Technologie für diejenigen CO₂-Emissionen aus **Industrieprozessen**, die nach Umsetzung aller anderen – absehbaren – Minderungsmaßnahmen (vom Produktersatz über grundlegende Umgestaltung von Produktionsprozessen oder dem Übergang zu regenerativ erzeugtem Wasserstoff für bestimmte Produktionsverfahren) verbleiben. Darüber hinaus ist der Einsatz von CCS in Zusammenhang mit der Biomasseumwandlung bereits mittelfristig eine wichtige Variante um zusätzliche **CO₂-Senken** zu schaffen.

Gleichwohl befindet sich die CCS-Technologie noch im Entwicklungsstadium, die jedoch für die unterschiedlichen Prozessschritte mit unterschiedlichen Herausforderungen konfrontiert ist. Im Bereich der **CO₂-Abscheidung** ist eine Reihe technologischer, vor allem aber wirtschaftlicher Fragen zu klären, bevor CCS durchgängig einsatzfähig ist. Dabei sind diese Herausforderungen für die Stromerzeugung größer als für die anderen Prozesse, bei denen CO₂ im Regelfall schon in konzentrierter Form entsteht. Der **CO₂-Transport** mit Pipelines ist dagegen eine erprobte Technologie, für die die zentralen Herausforderungen in den Kosten bei Überwindung großer Entfernungen in dicht besiedelten Regionen, in der Akzeptanz sowie in der Ausgestaltung und Regulierung des Infrastruktursystems bestehen. Die **CO₂-Lagerung** sieht sich vor allem dem Problem der Akzeptanz, aber auch der Identifikation und Auswahl geeigneter und für lange Zeiträume sicherer Lagerstätten sowie des regulativen Rahmens für alle Langfristfragen (Trägerschaft, Haftung etc.) gegenüber.

In diesem Kontext ist auch die Frage von hoher Relevanz, welche Speicherkapazitäten benötigt werden, um die in den Szenarien und Variantenrechnungen angenommene Entwicklung für CCS ggf. auch umsetzen zu können. Falls hier die Speicherpotenziale im nationalen Rahmen nicht ausreichen würden, würde mit der Frage einer grenzüberschreitenden Verbringung und Einlagerung ein weiteres brisantes Problemfeld entstehen (was zwar auch für den Fall nicht auszuschließen wäre, dass die nationalen Speicherpotenziale ausreichend groß bemessen sind, aber dann die Diskussion etwas entschärfen könnte).

Tabelle 7.3-6: Bilanz der CO₂-Einlagerung im Zuge der Anwendung von CCS für das Referenz- und das Innovationsszenario sowie die zusätzlichen Maßnahmen des „Modell Deutschland“, 2005 – 2050

Mio. t CO ₂	Referenzszenario				
	2020	2030	2040	2050	2100
CO₂-Einlagerung					
Stromerzeugung	-	19	51	73	-
Industrieprozesse	-	-	-	-	-
Biomasse-Umwandlung	-	-	-	-	-
CO₂-Einlagerung (mit CCS-Kraftwerken)	-	19	51	73	-
kumuliert	-	94	445	1.070	2.939
CO₂-Einlagerung					
	Innovationsszenario				
Stromerzeugung	-	23	56	62	-
Industrieprozesse	6	17	27	37	37
Biomasse-Umwandlung	-	-	-	-	-
CO₂-Einlagerung (ohne CCS-Kraftwerke)	6	17	27	37	37
kumuliert	6	117	334	655	2.508
CO₂-Einlagerung (mit CCS-Kraftwerken)	6	39	83	100	37
kumuliert	6	231	844	1.758	5.006
CO₂-Einlagerung					
	Modell Deutschland				
Stromerzeugung (als Variante)	-	23	56	62	-
Industrieprozesse	6	31	43	53	53
Biomasse-Umwandlung	0	15	23	32	32
CO₂-Einlagerung (ohne CCS-Kraftwerke)	6	46	67	85	85
kumuliert	6	264	827	1.588	5.850
CO₂-Einlagerung (mit CCS-Kraftwerken)	6	69	123	148	85
kumuliert	6	378	1.337	2.691	8.348

Anmerkung: Die Werte für 2050 sind grobe Schätzungen und dienen ausschließlich zur Illustration der Größenordnungen des Speicherbedarfs. Unterstellt ist jeweils ein Auslaufen der CCS-Kraftwerke nach einer Betriebsdauer von 40 Jahren.

Quelle: Prognos und Öko-Institut 2009

In der Tabelle 7.3-6 sind die CO₂-Einlagerungsmengen für die verschiedenen Szenarien und Varianten zusammengestellt.

In der Variante „mit CCS“ des Referenzszenarios erreicht die jährlich einzulagernde CO₂-Menge ein Volumen von 73 Mio. t, kumuliert ergibt sich bis zum Jahr 2050 eine Einlagerungsmenge von etwa 1,1 Mrd. t CO₂. Wenn diese Größenordnung der CO₂-Einlagerung langfristig fortgesetzt würde, wären bis zum Jahr 2100 etwa 4,7 Mrd. t CO₂ langfristig und sicher einzulagern. Für den Fall, dass CCS nur für eine Kraftwerksgeneration zum Einsatz kommt (also die CCS-Kraftwerke nach jeweils 40 Jahren außer Betrieb genommen werden, ohne dass sie durch neue CCS-Kraftwerke ersetzt werden) ergibt sich eine kumulierte Einlagerungsmenge von fast 3 Mrd. t CO₂.

Im Innovationsszenario ergibt sich für die Variante „ohne CCS“ im Jahr 2050 eine CO₂-Einlagerung von 37 Mio. t aus Industrieprozessen bzw. eine kumulierte Einlagerung von etwa 0,7 Mrd. t CO₂. Wenn dieses Einlagerungsniveau fortgeführt würde, müssten bis zum Jahr 2100 rund 2,5 Mrd. t CO₂ eingelagert werden. Wenn im Innovationsszenario CCS auch in der Stromerzeugung zum Einsatz kommen soll (Variante „mit CCS“), erhöhen sich die jährlichen Einlagerungsmengen auf etwa 100 Mio. t CO₂ im Jahr 2050, dies entspricht einer kumulierten Einlagerung von knapp 1,8 Mrd. t CO₂ bis 2050. Bei Fortführung der CO₂-Einlagerung aus Industrieprozessen und der Beschränkung von CCS in der Stromerzeugung auf eine Kraftwerksgeneration ergibt sich bis zum Jahr 2100 ein Speicherbedarf von rund 5 Mrd. t CO₂.

In der Variante „Modell Deutschland“ steigt die jährliche Einlagerung von CO₂ für den Fall, dass keine CCS-Kraftwerke zum Zuge kommen, auf 85 Mio. t CO₂ im Jahr 2050. Bis da-

hin wären damit knapp 1,6 Mrd. t CO₂ einzulagern. Eine Fortschreibung bis zum Jahr 2100 ergibt damit einen Speicherbedarf von etwa 5,9 Mrd. t CO₂. Sofern auch in dieser Variante zusätzliche CO₂-Mengen aus CCS-Kraftwerken (entlang des im Innovationsszenario ermittelten Mengengerüsts) eingelagert werden sollen, steigt die jährlich in sichere geologische Formationen zu verbringende CO₂-Menge auf 148 Mio. t im Jahr 2050. Bis zu diesem Zeitpunkt wären dann insgesamt etwa 2,7 Mrd. t CO₂ einzulagern, bei Annahme einer Kraftwerksgeneration für CCS würde sich der Speicherbedarf bis 2100 auf etwa 8,3 Mrd. t CO₂ erhöhen.

Unterstellt man die Untergrenze der derzeitigen Schätzungen für die CO₂-Speicherpotenziale in Deutschland (12 Mrd. t CO₂ für die salinen Aquifere und ca. 2 Mrd. t für ausgeförderte Erdgaslagerstätten) und nimmt nochmals einen Sicherheitsabschlag von 50 % vor (reale Eignung der jeweiligen geologischen Formationen, Nutzungskonkurrenzen etc.), so könnte für alle Varianten mit einem CO₂-Einlagerungsbedarf von unter 7 Mrd. t CO₂ zumindest als grobe Orientierung davon ausgegangen werden, dass eine Einlagerung ohne grenzüberschreitende Verbringung möglich sein könnte. Für den Fall, dass es neben dem Einsatz von CCS für Industrieprozesse und Biomasse auch zu einer signifikanten Stromerzeugung mit CCS-Kraftwerken kommt bzw. kommen muss, wäre auch die Frage der CO₂-Speicher mit hoher Wahrscheinlichkeit nur noch im europäischen Verbund (ausgeförderte Gasfelder unterhalb der Nordsee etc.) zu lösen.

Auch CO₂-Speicher können sich damit als knappe Ressource erweisen, für die neben den unabdingbaren Anstrengungen in den Bereichen Forschung, Pilot- und Demonstrationsvorhaben eine sorgfältige und langfristig angelegte Bewirtschaftung sinnvoll und notwendig ist. Dies gilt auch vor dem Hintergrund der Tatsache, dass für die ohnehin knappe Ressource CO₂-Speicher auch noch zusätzliche Restriktionen entstehen können, wenn in erheblichem Maße Nutzungskonkurrenzen zu berücksichtigen wären oder die sich abzeichnenden massiven Akzeptanzprobleme zu weiteren Einschränkungen führen.

8 Ziele und strategische Ansätze zur Erreichung der Klimaschutzziele

8.1 Vorbemerkungen

Die Szenarien- und Komponentenanalysen liefern eine Fülle quantitativen Materials, auf dessen Basis diejenigen Veränderungen der Rahmenbedingungen und diejenigen politischen Interventionen identifiziert und analysiert werden können, die für eine Umsetzung des 95 %-Emissionsminderungsziels notwendig sind. Politiken und Maßnahmen, die über einen – aus der Perspektive von Politik und Betroffenen – vergleichsweise langen Zeitraum gravierende Emissionsminderungen mit hoher Verbindlichkeit durchsetzen sollen, werden im Zeitverlauf ein hohes Maß an Dynamik aufweisen. Rahmenbedingungen werden sich ändern, Technologien und Märkte werden sich dynamisch und nicht notwendigerweise symmetrisch entwickeln, Veränderungen bei Technologien und Märkten werden neue Akteure hervorbringen und andere Akteursgruppen werden an Bedeutung gewinnen.

Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, die Umsetzungsanalysen auf zwei Ebenen anzustellen. In der langfristigen Perspektive ist es sinnvoll, strategische Linien zu entwickeln. Als Strategien werden dabei diejenigen Ziele und Leitplanken bezeichnet, die zunächst unabhängig von der konkreten Umsetzung und den konkret zum Einsatz kommenden politischen Instrumenten beschrieben werden können und die damit einen übergeordneten Charakter haben (müssen). Strategien dienen einerseits zur Einordnung der notwendigen Aktivitäten, gleichzeitig bilden sie einen geeigneten Rahmen zur Überprüfung der konkreten Umsetzungsschritte hinsichtlich Zielerreichung und ihrer Konsistenz in der längerfristigen Perspektive.

Für die Entwicklung langfristiger Strategien zur Umsetzung der analysierten Klimaschutzmaßnahmen können drei Strategiesegmente unterschieden werden:

- **strategische Ziele**, auf deren Grundlage es möglich ist, die Zielerreichung und die Fortschritte in den verschiedenen Sektoren hinreichend allgemein, aber auch in ausreichendem Maße sektoral differenziert zu bewerten;
- **Umsetzungsstrategien**, mit denen das Zusammenspiel der verschiedenen Handlungsbereiche adressiert wird;
- **Instrumentierungsstrategien**, die langfristige Leitlinien für die politischen Umsetzungsinstrumente beinhalten.

8.2 Strategische Ziele

Mit Blick auf die übergeordneten strategischen Ziele ergeben sich aus der Analyse des Innovationsszenarios und der für das „Modell Deutschland“ untersuchten Zusatzpotenziale die folgenden Leitplanken:

- eine Minderung der gesamten Treibhausgasemissionen um 40 % bis 2020, 60 % bis 2030, 80 % bis 2040 und 95 % bis 2050 (jeweils auf Basis des Emissionsniveaus von 1990);
- eine Verbesserung der gesamtwirtschaftlichen Energieproduktivität von 2,6 % jährlich;
- eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am gesamten Primärenergieverbrauch auf 20 % bis 2020, 35 % bis 2030, 55 % bis 2040 und mehr als 75 % bis 2050.

Diese strategischen Leitziele beschreiben auf sehr hohem Abstraktionsniveau die Eckwerte für den Umbau des Energiesystems und letztlich der gesamten Volkswirtschaft. Die Leitziele bilden auf hohem Aggregationsniveau auch die Indikatoren, auf deren Basis z.B. Umsetzungserfolge bewertet werden können.

Gerade vor dem Hintergrund des kurzen Zeitraums, in dem der beschriebene Umbau vollzogen werden soll, ist es jedoch sinnvoll, auch für die einzelnen Sektoren Indikatoren und Unterziele zu entwickeln, die eine hinreichend konkrete Basis für die Zielkontrolle bzw. die Bewertung der im Zeitverlauf erreichten Fortschritte bilden können. Diese Sektorziele sollten dabei nicht als starres Korsett für die Mikrosteuerung des notwendigen Wandels verstanden werden, die zu einer Überbestimmung des Systems führen und damit der notwendigen Dynamik des Wandels nicht gerecht werden (können). Die nachfolgend beschriebenen Sektorziele bilden robuste Indikatoren für den Umbau, auf deren Grundlage die frühzeitige Erkennung und Eingrenzung von Verzögerungen der notwendigen Veränderungen möglich ist, sowie deren Analyse und ein schnelles Nachsteuern ermöglichen. Auf Grundlage der Szenarienanalysen (Innovationsszenario und Zusatzmaßnahmen des „Modell Deutschland“) lässt sich der folgende, hinreichend robuste Ziel- und Indikatorensatz identifizieren:

Im Gebäudesektor

- sollte für die Raumheizung neuer Gebäude ab etwa 2015 ein durchschnittlicher jährlicher Endenergieverbrauch von 20 kWh/m² erreicht werden, ab 2020 etwa 10 kWh/m², ab 2025 bilden Null- oder Plusenergiehäuser das Ziel;
- sollte der spezifische Endenergieverbrauch des Gebäudebestandes von 2005 bis 2030 um über die Hälfte und bis 2050 um etwa 90 % verringert werden;
- der Anteil von erneuerbaren Energien bzw. emissionsfreien Energieträgern (Fern- und Nahwärme, Strom) am gesamten Energiebedarf für die Raumwärmeerzeugung bis 2030 auf etwa 40 % und bis zum Jahr 2050 auf mindestens 75 % erhöht werden.

Im Sektor Industrie

- sollte die Energieproduktivität von heute bis zum Jahr 2030 etwa verdoppelt und bis zum Jahr 2050 verdreifacht werden;
- sollte der Aufkommensanteil erneuerbarer Energien und emissionsfreier Energieträger (Fern- und Nahwärme, Strom) am gesamten Endenergiebedarf bis 2030 auf etwa 60 % und im Jahr 2050 auf 90 % steigen;

- sollten die CO₂-intensiven Industrieprozesse bis zum Jahr 2050 nur noch in Kombination mit CCS betrieben werden;
- sollten die prozessbedingten Treibhausgasemissionen vom aktuellen Stand bis 2030 um über 50 % und bis zum Jahr 2050 um 90 % zurückgeführt werden.

Im Bereich des **motorisierten Individualverkehrs**

- sollte die Verkehrsleistung durch Verkehrsvermeidung bzw. Verkehrsverlagerung bis 2030 um etwa 20 % und bis 2050 um etwa 30 % zurückgeführt werden;
- sollte der spezifische Endenergieverbrauch der Fahrzeugflotte (einschließlich der Effizienzeffekte durch die Elektromobilität, aber ohne Nullanrechnung von Elektrofahrzeugen) bis 2050 um mehr als 60 % verringert werden;
- sollte ein Anteil elektrischer Antriebe an der Gesamtfahrleistung von 7 % im Jahr 2030 und etwa 50 % im Jahr 2050 angestrebt werden;
- sollte für das Jahr 2050 eine weitgehend vollständige Endenergiebedarfsdeckung durch erneuerbare (Biotreibstoffe) oder emissionsfreie (Strom, Wasserstoff) Energieträger angestrebt werden.

Im Bereich des **Straßen-Güterverkehrs**

- sollte die Verkehrsleistung im Jahr 2050 den aktuellen Wert um nicht mehr als ein Drittel übersteigen;
- sollte der spezifische Energieverbrauch, bezogen auf die Güterverkehrsleistung, von heute bis 2030 um 30 % und bis 2050 um etwa 50 % zurückgeführt werden;
- sollte der gesamte verbleibende Kraftstoffverbrauch bis 2050 vollständig auf erneuerbare Energien (Biotreibstoffe, Wasserstoff) umgestellt werden.

Im Bereich des **Luftverkehrs** sollte

- der spezifische Energieverbrauch der gesamten Flugzeugflotte bis 2030 um 20 % reduziert werden;
- das Treibstoffaufkommen spätestens im Jahr 2050 vollständig auf regenerative Energien (Biotreibstoffe) umgestellt worden sein.

Im **Stromversorgungssystem**

- sollte die Stromnachfrage (einschließlich der neuen Anwendungsbereiche wie Elektromobilität) bis 2030 um mehr als 25 % zurückgeführt und auch danach bis zum Jahr 2050 um weitere 10 Prozentpunkte vermindert werden;
- sollte für den Anteil der erneuerbaren Energien am Stromaufkommen bis 2030 ein Wert von 60 % und bis zum Jahr 2050 ein Niveau von 95 % angestrebt werden;

- sollten die verbleibenden Kapazitäten fossiler Stromerzeugung nach 2040 nur noch betrieben werden können, wenn sie mit CCS ausgerüstet sind;
- sollte zum Ausgleich der massiv steigenden Beiträge fluktuierender Stromerzeugung die Kapazität der existierenden Speicher (bisher v.a. Pumpspeicherkraftwerke) bis 2030 verdoppelt und bis zum Jahr 2050 um den Faktor 4 ausgeweitet werden.

In der **Landwirtschaft** sollten die Treibhausgasemissionen bis 2030 im Vergleich zu 2005 um über 30 % und bis 2050 um über 40 % reduziert werden.

Im Bereich der Emissionen aus **Landnutzung, Landnutzungsänderungen und der Forstwirtschaft** sollte die CO₂-Freisetzung im Zeitraum 2005 bis 2050 um 70 % vermindert werden.

8.3 Umsetzungsstrategien

Eine besondere Herausforderung bei der Spezifikation von Umsetzungsstrategien zur Erreichung des 95 %-Ziels besteht darin, dass sich die Gewichte und die erschließbaren Emissionsminderungen der einzelnen Handlungsbereiche mit Blick auf unterschiedliche Dimensionen (Höhe der Reduktionspotenziale, Zeiterfordernisse und Zeitfenster für die Umsetzung etc.) teilweise stark unterscheiden und im Gesamtsystem eine Vielzahl von Systemzusammenhängen und Wechselwirkungen zu berücksichtigen sind.

Bei der strategischen Ausgestaltung der entsprechenden Klimaschutz- und Energiepolitiken müssen dabei vor allen die folgenden Aspekte berücksichtigt werden.

In **allen Sektoren** müssen signifikante Anstrengungen zur Emissionsminderung unternommen werden. Vor dem Hintergrund der besonderen Größenordnung der notwendigen Wirkungsbeiträge sind aber die Maßnahmen im Stromsektor (Nachfrage und Erzeugung), im Gebäudesektor (Neu- und Bestandsbauten), im motorisierten Individualverkehr, im Straßengüterverkehr, im Flugverkehr, in der Industrie (einschließlich Prozessemissionen), in der Landwirtschaft sowie im Bereich der Landnutzung und der Forstwirtschaft von besonderer Bedeutung.

Ohne gravierende Fortschritte bei der **Energieeffizienz**, aber auch ohne die gleichzeitig massive Erhöhung des Anteils **erneuerbarer Energien** werden die Emissionsminderungsziele bis 2050 nicht erreicht werden können. Die Handlungsnotwendigkeiten im Bereich der Energieeffizienz betreffen dabei sowohl hoch typisierbare Energieanwendungen und Minderungsmaßnahmen (Gebäude, elektrische Geräte, Fahrzeuge etc.), aber auch sehr heterogene Anwendungen (z.B. in der Industrie). Hinsichtlich der erneuerbaren Energien besteht besonders starker Handlungsbedarf vor allem in der Stromerzeugung sowie im Verkehrssektor.

Ein sehr hoher Anteil der zusätzlich notwendigen Emissionsminderungen betrifft jeweils einen **langlebigen Kapitalstock**, einerseits direkt (Gebäude, Kraftwerke, Infrastrukturen etc.), andererseits indirekt (mehr oder weniger effiziente Stromanwendungen mit einem tendenziell weniger langlebigen Kapitalstock haben durchaus signifikante Effekte für den langlebigen Kapitalstock im Bereich von Kraftwerken, Infrastrukturen etc.). Verzögerte

Umsetzungsmaßnahmen führen hier entweder zur Zielverfehlung oder zu stark steigenden Kosten der Klimaschutzpolitik. Im zeitlichen Ablauf sind deshalb Maßnahmen im Bereich der Stromnachfrage (einerseits Effizienz und andererseits Elektrifizierung), der Stromerzeugung, der Gebäude (Neubau und Bestand), der Infrastrukturen (Strom, Gas, Wärme, CO₂, Verkehr) sowie der Verkehrsverlagerung besonders vordringlich.

Ein sehr hoher Anteil der zusätzlich notwendigen Emissionsminderungen wird, vor allem ab 2030, von Emissionsminderungsoptionen erwartet, bei denen noch erhebliche **Innovationen** in Bezug auf Technologie, Kosten und Systemintegration/Infrastruktur sowie Markt- und Geschäftsmodelle oder Nutzerverhalten erzielt werden müssen. Dies betrifft v.a. die Stromerzeugung auf Basis erneuerbarer Energien, die Stromspeicherung und die Strom-Infrastruktur, die Erzeugung nachhaltiger Biokraftstoffe und die Bereitstellung von nachhaltig erzeugtem Biomethan, die Energieeffizienz in der Industrie, die Energieeffizienz bei konventionellen und elektrischen Fahrzeugen sowie die CCS-Technologie.

Fortschritte für eine Reihe von zentralen Emissionsminderungsoptionen können nicht isoliert betrachtet, bewertet oder vorangetrieben werden. Die Erschließung vieler Emissionsminderungspotenziale ist unabdingbar verknüpft mit einer oder mehreren Komplementäroptionen. Vor diesem Hintergrund ist es unabdingbar **systematisch angelegte Strategieansätze** zu entwickeln, ohne die die angestrebten Emissionsminderungen ins Leere laufen:

- Die Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs ist vor allem mit zwei Bereichen gekoppelt: Eine Ausweitung der Elektromobilität ist nur dann sinnvoll (oder nicht kontraproduktiv), wenn es gelingt, die erforderlichen zusätzlichen Stromerzeugungspotenziale – mit einem entsprechenden Angebot sowohl von Stromproduktion als auch mit einer entsprechenden Kapazitätsverfügbarkeit – auf Basis erneuerbarer Energien oder über die Stromerzeugung mit CCS zu erschließen. Zusätzlich erfordert die Elektromobilität ein sehr stark dezentralisiertes Lastmanagement und damit den Ausbau leistungsfähiger intelligenter Verteilnetze für Strom.
- Der selbst im Fall starker Verkehrsverlagerungen, deutlicher Ausweitung der Elektromobilität sowie drastischer Verbesserungen der Fahrzeugeffizienz im Kontext einer 95 %-Minderung in erheblichem Maße erforderliche Einsatz von Biokraftstoffen im Straßen- und Luftverkehr erfordert unabdingbar die Verfügbarkeit von Biokraftstoffen, die mit hoher Umwandlungseffizienz erzeugt werden und die hohen Nachhaltigkeitsstandards genügen. Wenn es z.B. nicht gelingt, die Biokraftstoffe der nächsten Generationen zeitgerecht in großen Mengen bereit zu stellen, läuft die Emissionsminderungsstrategie vor allem im Straßen-Güterverkehr und im Luftverkehr ins Leere.
- Der Einsatz dezentraler Energieangebotstechnologien, die nicht von vornherein auf Basis erneuerbarer Energien betrieben werden (z.B. dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung auf Erdgasbasis), kann mittel- und langfristig Lock in-Effekte der Dezentralität bewirken, die sich dann als hoch problematisch erweisen, wenn mittel- und langfristig die erforderlichen Mengen von Bio-Methan nicht in die Gasnetze eingespeist werden können (aus technisch-wirtschaftlichen Gründen oder wegen anders ausgerichteter Einsatzstrategien und -prioritäten für die knappe Ressource Bioenergie). Eine ähnliche Situation ergibt sich für die fortgesetzte Nutzung bestimmter Prozesstechnologien in der Industrie (Prozesswärmeerzeugung auf Basis Erdgas etc.).

- Die Einführung neuer dezentraler und zentraler Stromerzeugungsoptionen oder die Emissionsminderung bei bestimmten Industrieprozessen erfordern einen sehr langfristigen Vorlauf der jeweiligen Infrastrukturentwicklung (Transport- und Verteilnetz für Strom, CO₂-Infrastruktur für CCS etc.). Der Aus- und Umbau der entsprechenden Infrastrukturen wird sich oft unter erheblichen Unsicherheiten (hinsichtlich Mengen und Verfügbarkeitszeiträumen etc.) vollziehen müssen. Gleiches gilt für die Infrastrukturen des Fern- und Nahverkehrs für Personen und Güter.

Die entsprechenden Prioritäten, Voraussetzungen, Ausschlussstatbestände und Entwicklungsnotwendigkeiten sind dabei im Zeitraum bis 2050 nicht statisch. Für die Perspektive 2030 können durchaus erhebliche Emissionsminderungsbeiträge durch Entwicklungsstrategien erbracht werden, die in der anschließenden Periode keine tragende Rolle mehr spielen. Hier kommt es vor allem darauf an, zu verhindern, dass z.B. durch kapitalintensive oder sehr langlebige Anlageninvestitionen oder Infrastrukturen Lock-in-Tatbestände entstehen, die in der längerfristigen Perspektive zu kontraproduktiven Effekten führen. Für alle auf bestimmte Zeiträume begrenzte Strategien müssen daher auch langfristige und klare Auslaufstrategien und -optionen entwickelt werden. Gleichzeitig können langfristig notwendige Lösungsbeiträge kurz- und mittelfristig zu problematischen Strukturen führen (z.B. Biokraftstoffe bei unzureichenden Nachhaltigkeitsstandards). Unverzichtbare Ansatzpunkte sind in diesen Bereichen gezielte Politik- und Innovationsansätze mit klaren zeitlichen Zielen.

Zumindest für zwei zentrale Emissionsminderungsoptionen, die Nutzung von Biomasse und die Einführung von CCS müssen **Potenzialbegrenzungen** berücksichtigt werden. Da die Szenarienanalysen gezeigt haben, dass diesen Optionen in einer langfristigen Emissionsminderungsstrategie aus unterschiedlichen Gründen und in unterschiedlichen Sektoren bzw. Anwendungsfeldern eine unverzichtbare Rolle zukommt, muss ein aktiver Ansatz für die strategische Ressourcenbewirtschaftung verfolgt werden:

- Wenn die Umgestaltung des Energiesystems sich hinsichtlich der Biomasse vor allem auf – begrenzte – einheimische oder im europäischen Raum (v.a. mit Blick auf Mittel- und Osteuropa) verfügbare Potenziale beschränken soll, müssen neben der Absicherung von hohen Nachhaltigkeitsstandards Nutzungsprioritäten gesetzt und verfolgt werden. Hinsichtlich der Biomasse müssen in der langfristigen Perspektive vor allem diejenigen Anwendungen priorisiert werden, für die nur unzureichende Alternativen verfügbar sind. Dies betrifft einerseits den (nach massiver Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs) verbleibenden Kraftstoffeinsatz im Straßenverkehr sowie den Flugverkehr. Als folgende Priorität sollten Prozesswärmeanwendungen (v.a. in der Industrie) gelten und erst danach die Stromerzeugung aus Biomasse. Aber auch für die Biomassenutzung zur Stromerzeugung gelten erhöhte Effizienzanforderungen, Biomasseverstromung ohne Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung ist nicht konsistent zu einer langfristig angelegten Klimaschutz- und Energiestrategie.
- Die verfügbaren unterirdischen Lagerstätten für CO₂ als Voraussetzung für die CCS-Technologie sind (auch vor dem Hintergrund von Nutzungskonkurrenzen des Untergrundes) eine beschränkte Ressource, für die Nutzungsprioritäten und Bewirtschaftungsansätze entwickelt werden müssen. Erste Priorität haben hier die prozessbedingten CO₂-Emissionen sowie die Nutzung der Speicher für CO₂ aus Biomasse-Umwandlungsprozessen (Biokraftstoffherstellung, Biomasseverstromung). Diese Priorisierung sollte auch bei der Frage berücksichtigt werden,

welcher Beitrag CCS in der Stromerzeugung in der Klimaschutz- und Energiestrategie zugerechnet werden soll. Eine solche Eingrenzung des Klimaschutzbeitrages von CCS ist dabei sowohl die Voraussetzung für die Entwicklung von Nutzungsprioritäten im Bereich der CO₂-Speicherung als auch eine Lösung der Nutzungskonkurrenzen auf eine Art und Weise, die weder den Ausbau der konkurrierenden Nutzungen zu stark beeinträchtigt noch die notwendigen Minderungsbeiträge durch CCS von vornherein ausschließt.

Der klimagerechte Umbau des Energie- und des Verkehrssystems setzt schließlich eine erheblich **verbesserte Effizienz bei der Nutzung energieintensiver Materialien und Produkte** voraus. Eine verbesserte Material- und Ressourceneffizienz bzw. die Substitution von Materialien und Rohstoffen kann dabei nicht nur einen erheblichen Beitrag zur Energieeinsparung leisten sondern ist auch eine wesentliche Möglichkeit zur Rückführung prozessbedingter Emissionen (z.B. aus der Stahl-, Zement- und Kalkproduktion).

8.4 Instrumentierungs- und akteursbezogene Strategien

Auch mit Blick auf die politischen Umsetzungsinstrumente und die Adressierung der Umsetzungsakteure müssen Leitplanken entwickelt werden. Auch wenn sich die Ausrichtung und Spezifikation dieser Leitplanken sowie die Ausgestaltung der notwendigen politischen Instrumente im Zeitverlauf ändern werden und ändern müssen, ist eine Reihe strategischer Ansätze auch hier von übergeordneter und langfristiger Bedeutung.

Die Herausforderungen der massiven Emissionsreduktion sind so groß und so vielfältig, dass es nur gelingen wird, die notwendigen Emissionsminderungen zu erzielen, wenn ein **breites und vielfältiges Spektrum von Akteuren** als Veränderungsagenten gewonnen werden kann. Insbesondere muss die (notwendige) Robustheit der Klimaschutzstrategien insofern abgesichert werden, dass in keinem Bereich die Emissionsminderungen unabdingbar von bestimmten Akteuren bzw. von deren zielgerichtetem Verhalten abhängig sind. Bei der politischen Umsetzung wird stets darauf geachtet werden müssen, dass keine Blockadepositionen entwickelt werden können. Die Schaffung von wettbewerblich orientierten Strukturen mit niedrigen Eintrittsbarrieren ist damit eine wesentliche Voraussetzung für robuste Umsetzungsstrategien. Wettbewerbliche Strukturen und Akteursvielfalt sind weiterhin zentrale Voraussetzungen für die Schaffung eines innovationsfördernden Klimas und die breite Umsetzung von Innovationen als integrierter Prozess von Entwicklung und breiter Kommerzialisierung. Eine unzureichende Akteursvielfalt wird kurz-, mittel- und langfristig die Gefahr von Lock in-Effekten vergrößern und kann die notwendigen Innovationsprozesse behindern oder verzögern.

Alle politischen Umsetzungsmaßnahmen einer ambitionierten Energie- und Klimaschutzstrategie in allen Sektoren und Handlungsfeldern müssen einen **stetigen und gezielten Innovationsprozess** beinhalten. Dabei geht es sowohl darum, inkrementelle Innovationen voranzutreiben, vor allem aber gezielt pfadändernde (radikale) Innovationen zu initiieren. Entsprechend sind verstärkte Anstrengungen im Bereich der Forschung und Entwicklung notwendig, gleichzeitig hat sich die frühzeitige Markteinführung und die gezielte Flankierung von innovativen Technologien und Geschäftsmodellen als ein Weg erwiesen, mit dem umfassende Lernkurveneffekte und nachhaltige Innovationserfolge und eine beschleunigte Marktreife erzielt werden können. Die Kosten so strukturierter Innovationsstrategien sollten explizit als Lernkurveninvestitionen und nicht als effizienzmindernde Faktoren verstanden werden.

Hinsichtlich der Eckpunkte des notwendigen Policy-Mix sind die folgenden Aspekte hervorzuheben:

- Die signifikante **Bepreisung** des Ausstoßes von Treibhausgasen bildet eine notwendige Grundlage einer ambitionierten und erfolgreichen Klimaschutzpolitik. Das Emissionshandelssystem für Treibhausgase (im Bereich der Großemittenten) und Steuern (für diffuse Quellen) sind fundamentale Instrumente zur Erschließung der marktnahen Emissionsminderungsoptionen sowie inkrementeller Innovationen.
- Für sehr homogene und sehr dezentral zum Einsatz kommende Technologien bzw. Klimaschutzoptionen sind, soweit es gesonderter Unterstützungsmaßnahmen bedarf oder besondere strukturelle Hemmnisse zu überwinden sind, strikte **ordnungsrechtliche Ansätze** sinnvoll und notwendig.
- Soweit bestimmte Marktentwicklungen im Bereich sehr langlebiger und gleichzeitig sehr kapitalintensiver Investitionen oder aber nur sehr schwer umkehrbarer Infrastrukturentwicklungen zur Gefahr von **Lock in-Situationen** führen, die langfristig die Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele unmöglich machen oder durch ihre dann extrem hohen Kosten späteres Umsteuern verhindern, sollten entsprechende ordnungsrechtliche Vorkehrungen getroffen werden.
- Für die Entwicklung zukünftig wichtiger Klimaschutzoptionen bedarf es **spezifischer Innovationsansätze**, die sich durch eine Orientierung auf klar definierte Ziele, präzise Meilensteine, aber auch durch eindeutige Ausstiegsoptionen auszeichnen.

Aus den tiefgreifenden Veränderungsnotwendigkeiten, dem beschränkten Zeitraum und der notwendigen systemaren Betrachtung ergeben sich auch Konsequenzen für das **Design von klima- und energiepolitischen Instrumenten**. Gerade in jüngster Zeit entwickelte oder neu strukturierte ordnungsrechtliche Maßnahmen (Gebäude, Fahrzeugeffizienz etc.) beinhalten oft Flexibilisierungstatbestände. Verpflichtungen zur Wärmedämmung können mit dem Einsatz bestimmter Heizungstechniken oder Wärmeversorgungsoptionen verrechnet werden, Elektrofahrzeuge oder der Einsatz von Biokraftstoffen werden auf Effizienzverbesserungen der Fahrzeughersteller angerechnet. Mit solchen flexiblen Ansätzen werden vermeintliche Effizienzvorteile erschlossen.

Bei näherer Analyse wirkt eine ganze Reihe solcher Flexibilisierungsoptionen jedoch kontraproduktiv, wenn sie in den Kontext einer an den langfristigen klimapolitischen Notwendigkeiten ausgerichteten Strategie gestellt werden. Dies gilt insbesondere, wenn Maßnahmen an langlebigen Gütern (Gebäude etc.) oder in innovationsintensiven Bereichen (Fahrzeugeffizienz etc.) durch entsprechende Komplementärmaßnahmen mit weniger langlebigen Komponenten (Heizungsanlagen etc.) oder parallelen Technologielinien (Elektromobilität etc.) kompensiert werden können. Für die Erreichung der langfristigen Klimaziele werden sowohl massive Effizienzverbesserungen an Gebäuden als auch Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien benötigt. Für Fahrzeuge werden sowohl massive Effizienzverbesserungen als auch die Ausweitung der Elektromobilität und die Nutzung von Biokraftstoffen notwendig.

Vor dem Hintergrund der sektorspezifischen Ziele sollten daher zukünftig bei der Ausgestaltung der einschlägigen politischen Instrumente derartige Kompensationsmaßnahmen

ausgeschlossen werden, wenn sie zu den beschriebenen, langfristig kontraproduktiven Effekten führen können.

Vor allem im Bereich gezielter Innovationsstrategien, aber auch bei Klimaschutzoptionen mit hoher Infrastrukturkomponente und damit erheblichem Vorlaufbedarf sowie bei Klimaschutzoptionen, die ihren Beitrag zur Emissionsminderung nur im System erbringen können oder durch lange technisch-wirtschaftliche Lebensdauer charakterisiert sind, sollten neben den breit angelegten **technologieneutralen Instrumentenansätzen** explizit auch **technologiespezifische Strategien** gestärkt werden. Nur in dieser Kombination werden sich Ziel führende Strategien entwickeln lassen.

In den analysierten Pfaden zur Erreichung des 95 %-Minderungsziels werden in erheblichem Umfang Energiequellen nutzbar gemacht werden müssen, die durch fluktuierende, d.h. stark von Wind- oder Einstrahlungssituationen abhängige Produktion charakterisiert sind. Die Wirtschaftlichkeit solcher Energiequellen ist in den derzeit existierenden Märkten oft nur schwer darzustellen (wenn das Windangebot sehr groß ist, sinken am Strommarkt die Preise und damit die Möglichkeiten von Windkraftanlagen, Deckungsbeiträge für ihre Kapitalkosten zu erwirtschaften – selbst für den Fall sehr hoher CO₂-Preise, die in der verbleibenden Zeit den Strompreis stark verteuern). Hier sind möglicherweise Interventionen zur **Veränderung des Marktdesigns** (z.B. Märkte für die Bereitstellung von Leistung durch bestimmte Kraftwerkskapazitäten) oder eine gezielt verfolgte **Marktausweitung** (Schaffung von liquiden Speichermärkten mit hoher Wettbewerbsintensität) notwendig.

Ein elementarer und unverzichtbarer Bestandteil ambitionierter Emissionsminderungsstrategien ist die breite und signifikante Steigerung der Energieeffizienz. Dies wird sich nur umsetzen lassen, wenn es gezielt gelingt, einen massiv ausgeweiteten, robusten und nachhaltig funktionierenden **Markt für Energieeffizienz** zu entwickeln. Dieser Markt muss so gestaltet werden, dass klare Nachfragesituationen geschaffen werden und breit aufgestellte Akteure mit spezifischen Dienstleistungsangeboten neue Geschäftsfelder entwickeln können. Nur wenn sich ein solcher Energieeffizienzmarkt mit all seinen Ausstrahlungseffekten etablieren kann, wird sich die notwendige Erhöhung der Energieeffizienz auf breiter Front umsetzen lassen.

An vielen Stellen sind die im Rahmen einer 95 %-Emissionsminderungsstrategie erforderlichen Maßnahmen abhängig von Infrastrukturen, die umstrukturiert, erweitert oder neu geschaffen werden müssen. Die **Umgestaltung und Erweiterung von Infrastrukturen** erfordern in vielen Fällen lange Vorlaufzeiten und sind unvermeidbar mit Unsicherheiten verbunden, die ein rein privates Engagement massiv erschweren oder verhindern. Gleichzeitig haben die Abhängigkeiten von Infrastrukturen zur Folge, dass politische Strategien – in den einschlägigen Fällen – nicht mehr auf technologieneutrale Instrumente konzentriert werden können. Lange Vorlaufzeiten, umfangreiche Investments und signifikante Unsicherheiten im Bereich der Infrastrukturen erfordern robuste technologische Visionen, ein umfangreiches Vordenken der Entwicklungen auf der Angebots- und Nachfrageseite und geeignete Ansätze bei der Regulierung von Infrastrukturen. Die Erhöhung der analytischen Kapazitäten und schließlich der Mut zu Pfadentscheidungen sind wichtige und trotz aller Risiken in einigen Bereichen unverzichtbare Elemente ambitionierter Umsetzungsstrategien für ehrgeizige Emissionsminderungen im vergleichsweise kurzen Zeitraum von vier Dekaden.

Ein zentrales strategisches Element für die Umsetzungsstrategien ist die klare Bestimmung **staatlicher Aufgaben**. Obwohl dezentral agierende Akteure in wettbewerblichen Strukturen und über Märkte und Preise verarbeitete dezentrale Informationen eine wichti-

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 Innovationszenario 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 Innovationsszenarios 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 Energieeffizienzsteigerungen 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 Effizienzsteigerung mengenmäßig zu steuern. Als Ausgangswert sollte die Verpflichtung zur Effizienzsteigerung 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 anerkennungsfähige 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 Tarifsystem 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 beispielweise 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. Bisher 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 Dieselmotoren 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 aus 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 leistungsärmeren 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 marktbasieren 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 Flexibilitätpotenziale 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 Ökosteuern 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 infrastrukturenspezifische 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 Treibhausgaswirkungen 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 Biomasseinsatz in der längeren Perspektive alternativlos, wo müssen deshalb die Entwicklungsschwerpunkte (Biokraftstoffe für Güter- und Luftverkehr, Einspeisung von Bio-Methan für industrielle Anwendungen)

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. Treibhausgasreduzierung 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 Stromverbrauchszählern 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 Wasserstoffherzeugung, 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 Treibhauspotenzial 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 un bebauten 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 Agrarbiotop, 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.