



for a living planet®

MODELL DEUTSCHLAND Klimaschutz bis 2050

Vom Ziel her denken

Lösungen am Ziel ausrichten

Der Klimawandel muss gebremst werden, um unsere Lebensgrundlagen zu bewahren. Darin besteht weltweit Einigkeit. Um unter der kritischen Temperaturerhöhung von zwei Grad im Vergleich zu Zeiten vor der Industrialisierung zu bleiben, muss der Ausstoß an klimaschädlichen Treibhausgasen global um 80 Prozent gegenüber 1990 sinken. Die Industrieländer müssen ihre Treibhausgase bis 2050 sogar um 95 Prozent reduzieren. Ohne diese drastische Verminderung der Treibhausgase steuern die Menschen in rasantem Tempo auf eine globale Erderwärmung von bis zu sieben Grad Celsius zu. Dies hätte verheerende Folgen.

Ein Umsteuern ist bisher nicht in Sicht. Jedes Jahr steigen die weltweiten Emissionen weiter, statt zu sinken. Es reicht nicht, anspruchsvolle Ziele lediglich als Utopie zu diskutieren. Noch nie wurde aus dieser Utopie ein durchgerechneter Politikentwurf geformt, der bis ins Jahr 2030 mit konkreten Maßnahmen und Instrumenten hinterlegt ist. Dies leistet die vorliegende Studie des WWF Deutschland erstmals. Wir betreten Neuland. Wir denken vom Ziel her. Nur so können wir unsere Stabilität, Sicherheit, Wohlstand und Arbeitsplätze sichern.

Die Studie von Prognos, Öko-Institut und Dr. Ziesing im Auftrag des WWF zeigt, dass der geforderte Wandel von der klimaschädlichen zur klimaverträglichen Wirtschaftsweise möglich und bezahlbar ist. Deutschland könnte dabei zum Entwicklungsmodell für andere Länder werden. Die Studie erhebt nicht den Anspruch, den einzig möglichen Weg aufzuzeigen, aber einen Weg, der begleitet von verstärkten Innovationsanstrengungen nachhaltig zum Ziel führen kann. Es ist unabdingbar, schon heute die richtigen Weichen für die Zukunft zu stellen. Denn die Mehrheit der Minderungspotenziale der Treibhausmissionen ist an sehr langfristige Investitions- und Infrastrukturentscheidungen geknüpft. Darüber hinaus muss anspruchsvoller Klimaschutz ab sofort alle Sektoren erfassen. Politik, die sich kurzfristig auf die vermeintlich preiswerten Minderungsoptionen ausrichtet, führt in die Irre. Die Stromerzeugung, der Gebäudesektor, der Straßenverkehr und die Industrie sind zentrale Handlungsfelder, aber ohne den Einbezug der Landwirtschaft und die Fragen der Landnutzung wird das ambitionierte Minus-95 Prozent-Ziel kaum zu schaffen sein.

Der WWF möchte mit dieser Studie die Diskussion über die Zukunft anstoßen. Die Studie gibt viele interessante neue Antworten, aber sie wirft auch viele neue Fragen auf, die jetzt bearbeitet werden müssen. Für den WWF ist diese Analyse nicht der Abschluss, sondern der Auftakt, sich systematisch diesen Fragen zu stellen und in der nahen Zukunft Antworten vorzulegen. Deshalb wird der WWF diesen Prozess nicht nur begleiten, sondern ihn aktiv vorantreiben.



Eberhard Brandes
Geschäftsführer
WWF Deutschland



Regine Günther
Leiterin Klimaschutz und
Energiepolitik

Erstellt von der Arbeitsgemeinschaft
Prognos AG / Öko-Institut / Dr. Hans-Joachim Ziesing
im Auftrag des WWF.



Inhalt

Einführung	4
Gesamte Treibhausgasemissionen	6
Komponentenanalyse und Zielerreichung für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen	8
Ziele und strategische Ansätze zur Erreichung der Klimaschutzziele von „Modell Deutschland“	10
Rahmendaten	12
Technologieentwicklung	13
Sektor private Haushalte	14
Sektor Dienstleistungen	15
Sektor Industrie	16
Sektor Verkehr	18
Endenergieverbrauch	20
Stromerzeugung	21
Primärenergieverbrauch	23
Kosten und Einsparungen	24
Energiebedingte Treibhausgasemissionen	25
Sonstige Treibhausgasemissionen anderer Sektoren	27
Eckpunkte eines Integrierten Klimaschutz- und Energieprogramms 2030	28
Schlussfolgerungen und Ausblick: Veränderungen in der Energie- und Klimapolitik, Innovation und globale Rahmensetzungen	29
Verzeichnis der Abkürzungen, Akronyme und Symbole	31

Einführung

Um die globale Klimaerwärmung auf einen Wert von unter 2°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau zu begrenzen, sind bis 2050 weltweit drastische Reduktionen der anthropogenen Emissionen an Treibhausgasen notwendig. Ein international abgestimmter Pfad wird nur möglich sein, wenn die Industrieländer ihre Emissionen so weit reduzieren, dass den Schwellenländern etwas „Luft auf dem Treibhausgaskonto“ für die weitere Entwicklung von Wirtschaft und Wohlstand bleibt.

Ein so eingebettetes Ziel für 2050 bedeutet für Deutschland eine Reduktion der Treibhausgase um ca. 95 % gegenüber dem Emissionsniveau von 1990. Dies heißt, dass im Jahr 2050 weniger als eine Tonne Treibhausgase pro Kopf emittiert werden darf. Neueste wissenschaftliche Erkenntnisse gehen davon aus, dass uns von 2005 bis 2050 ein globales Budget von etwa 800 Mrd. t für die CO₂-Emissionen bzw. von 1.230 Mrd. t. CO₂-Äquivalent für die gesamten Treibhausgasemissionen zur Verfügung steht, um die Erhöhung der globalen Mitteltemperatur gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf unter 2°C zu begrenzen.

Wie kann und muss der Umbau einer hoch industrialisierten und technisierten Gesellschaft aussehen, um ein solches Ziel zu erreichen? Welche technischen Maßnahmen und politischen Instrumente sind erforderlich, wenn weiterhin Wirtschaftswachstum, Sicherheit und Komfort gewährleistet werden sollen? Müssen wir auf etwas verzichten oder können wir Quantität durch Qualität ersetzen?

Seit 1990 werden energie- und klimapolitische Ziele verfolgt und entsprechende Instrumente eingesetzt. Eine einfache Betrachtung des Ist-Zustands zeigt deutlich, dass die Entfernung zum 95 %-Ziel noch sehr groß ist (vgl. Abb. K-1).

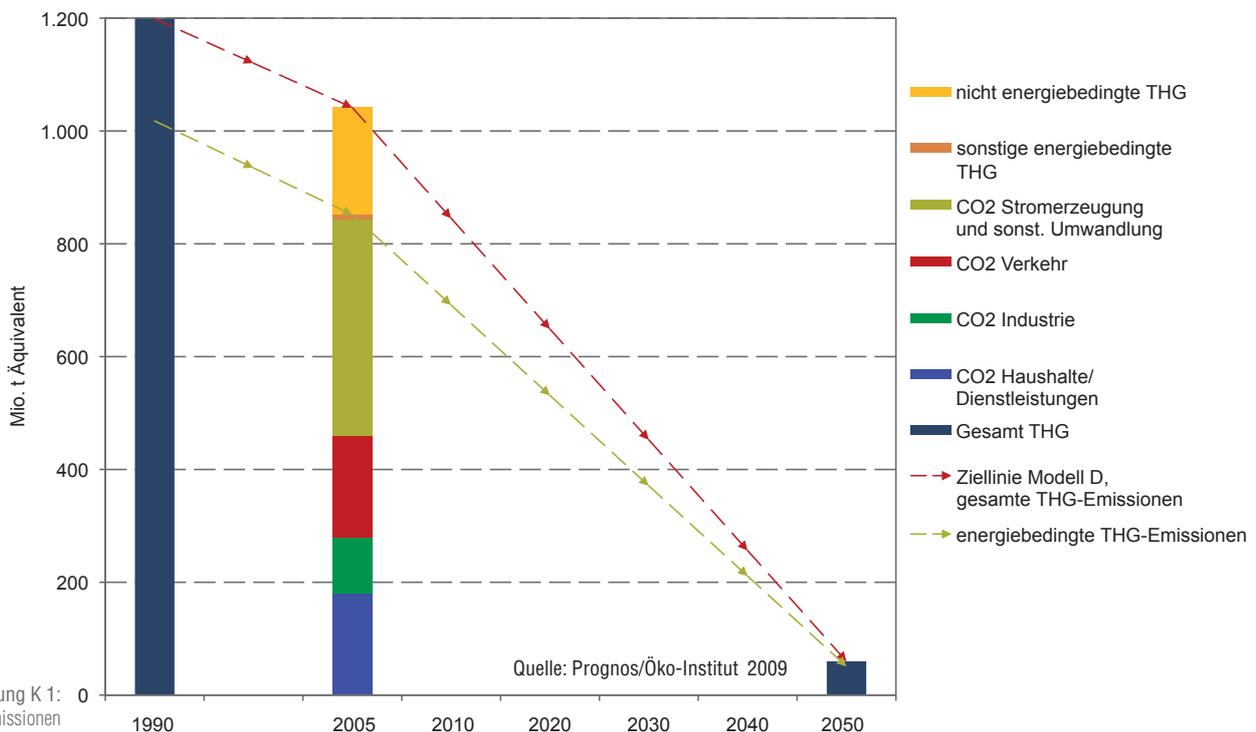


Abbildung K 1:
Treibhausgasemissionen
nach Sektoren, 1990,
2005, und Ziel bis 2050,
in Mio. t CO₂-Äquivalenten

Das Ziel ist so ambitioniert, dass alle Sektoren intensiv zu seiner Erreichung beitragen müssen. Es wird deutlich, dass ein massiver Effizienzschub zur Reduzierung der Energienachfrage und die Ausschöpfung der erneuerbaren Potenziale auf der Angebotsseite notwendig sein werden.

Der WWF beauftragte die Arbeitsgemeinschaft Prognos / Öko-Institut / Dr. Ziesing, diese Fragestellung für Deutschland quantitativ zu untersuchen. Neben der Frage „Was kann und muss technisch passieren und wie muss die zugehörige Politik aussehen?“ ist es wichtig, eine Einschätzung darüber

zu gewinnen, wie weit entfernt diese Lösungen vom derzeit diskutierten Politikpfad sind. Daher wurden zwei quantitative Szenarien entwickelt: Ein Szenario mit ambitionierter Fortsetzung heutiger Energie- und Klimaschutzpolitik (Referenzszenario) sowie ein Innovationsszenario, das den Umbau zur emissionsarmen Gesellschaft vom Ziel der 95 %-igen Reduktion her untersucht. Die Fortsetzung der heutigen Energie- und Klimaschutzpolitik führt im Ergebnis bis 2050 zu einer deutlichen Zielverfehlung (vgl. Abb. K-2). Auf das Referenzszenario wird bei der Berechnung der Kosten und der Ermittlung der Instrumente des Innovationsszenarios Bezug genommen. Ein Vergleich der Emissionsentwicklungen im Referenz- und im Innovationsszenario zeigt, dass im Zeitraum bis 2050 erhebliche Treibhausgas-minderungen in allen Bereichen darstellbar sind. Trotzdem wird das Ziel einer Emissionsreduktion von 95 % gegenüber 1990 mit den in den Szenarien berücksichtigten Maßnahmen nicht erreicht. Die verbleibende Minderungslücke müsste durch Maßnahmen geschlossen werden, die sich jenseits der für die Szenarien vorgegebenen Rahmenbedingungen bewegen. Mit einer Auswahl entsprechender Maßnahmen (siehe Abschnitt „Komponentenanalyse und Zielerreichung für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen“) ist es möglich, eine Variante „Modell Deutschland“ zu beschreiben, in der im Jahr 2050 ein Emissionsniveau erreicht wird, das um 95 % unter dem Vergleichswert von 1990 liegt.

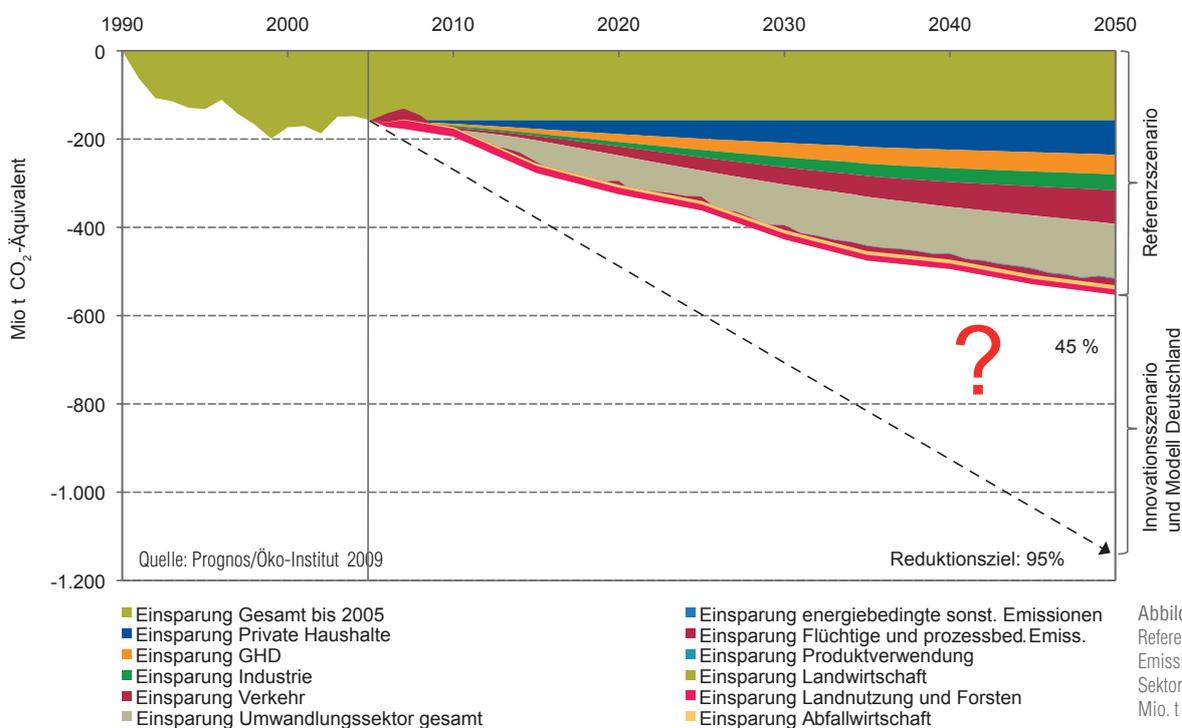


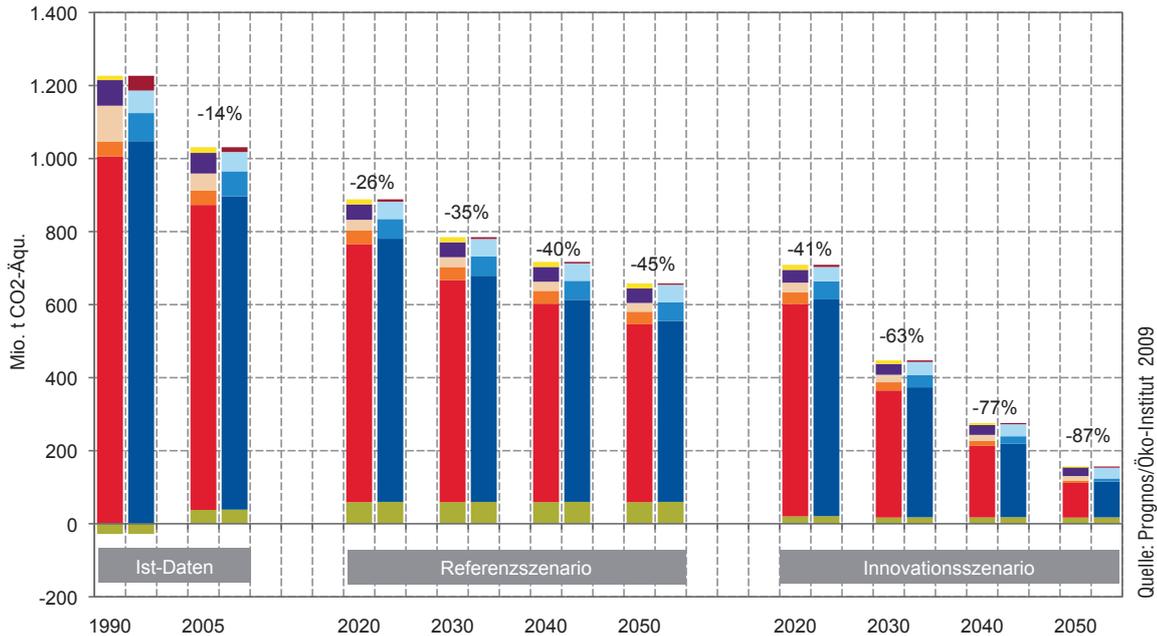
Abbildung K 2:
Referenzszenario:
Emissionsreduktion nach
Sektoren 1990 – 2050, in
Mio. t CO₂-Äquivalenten

Für die Entwicklung langfristiger Strategien zur Umsetzung der in der Variante „Modell Deutschland“ erforderlichen Klimaschutzmaßnahmen werden drei Strategiesegmente unterschieden:

- **strategische Ziele**, auf deren Grundlage es möglich ist, die Zielerreichung bis 2050 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 bis 2050 adressiert wird;
- **Instrumentierungsstrategien**, die langfristige Leitlinien für die politischen Umsetzungsinstrumente beinhalten.

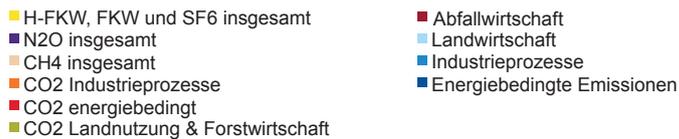
Im Folgenden werden zunächst Emissionsverläufe und Struktur der Treibhausgasentwicklung präsentiert. Danach werden die wesentlichen Wirkungsbeiträge der verschiedenen Sektoren zur Emissionsreduktion aufgeschlüsselt und im Anschluss übergeordnete strategische Ziele benannt. Darauf aufbauend werden die wichtigsten Voraussetzungen und Ergebnisse des Innovationsszenarios sowie die Umsetzungsstrategien und Instrumente Sektor für Sektor vorgestellt. Für den Zeitraum bis zum Jahr 2030 wird darüber hinaus schließlich ein Instrumentenpaket entwickelt, das zu den für diesen Zeithorizont angestrebten Reduktionen der Treibhausgasemissionen führt.

Gesamte Treibhausgasemissionen



Quelle: Prognos/Öko-Institut 2009

Abbildung K 3:
Gesamte Treibhausgas-
emissionen 1990 – 2050



Insgesamt ergeben sich für die **gesamten Treibhausgasemissionen** in den beiden Szenarien sehr unterschiedliche Trends:

- Im **Referenzszenario** werden im Zeitraum 2005 bis 2050 die Treibhausgasemissionen um etwa 36 % zurückgeführt. Im Vergleich zum Emissionsniveau des Jahres 1990 entspricht dies einer Reduktion von rund 45 %. Die Pro-Kopf-Emissionen an den gesamten Treibhausgasen betragen in 2050 noch ca. 9 t, die pro-Kopf-CO₂-Emissionen noch ca. 8 t. Die von 2005 an aufkumulierten CO₂-Emissionen (im Sinne eines Carbon Budget) betragen ca. 34 Mrd. t, die aufkumulierten gesamten Treibhausgasemissionen ca. 38 Mrd. t.
- Im **Innovationsszenario** ergibt sich für den Zeitraum 2005 bis 2050 eine Emissionsreduktion von etwa 85 %, dies entspricht einer Minderung um 87 % in der Periode 1990 bis 2050. Die Pro-Kopf-Emissionen an den gesamten Treibhausgasen betragen in 2050 rund 2,2 t, die Pro-Kopf-Emissionen an CO₂ noch 1,6 t; die aufkumulierten CO₂-Emissionen liegen bei 22 Mrd. t, die gesamten aufkumulierten Treibhausgasemissionen bei 26 Mrd. t.
- In **Modell Deutschland** liegen die Emissionen 2050 um etwa 94 % niedriger als 2005, dies entspricht im Vergleich zum Jahr 1990 einer Minderung von 95 %. Pro Kopf belaufen sich die gesamten Treibhausgase 2050 auf 0,9 t, die CO₂-Emissionen auf 0,3 t, wobei diese Werte die verbleibenden Treibhausgasemissionen und die Schaffung von zusätzlichen Netto-Senken für CO₂ durch CCS im Bereich der Biomasse (-0,4 t CO₂ je Einwohner) saldieren. Die aufkumulierten CO₂-Emissionen betragen für den Zeitraum 2005 bis 2050 ca. 21 Mrd. t, die gesamten aufkumulierten Treibhausgasemissionen rund 24 Mrd. t.

Die Emissionsentwicklung ist hinsichtlich ihrer Struktur nach Verursachersektoren und Treibhausgasen durch die folgenden Entwicklungen charakterisiert:

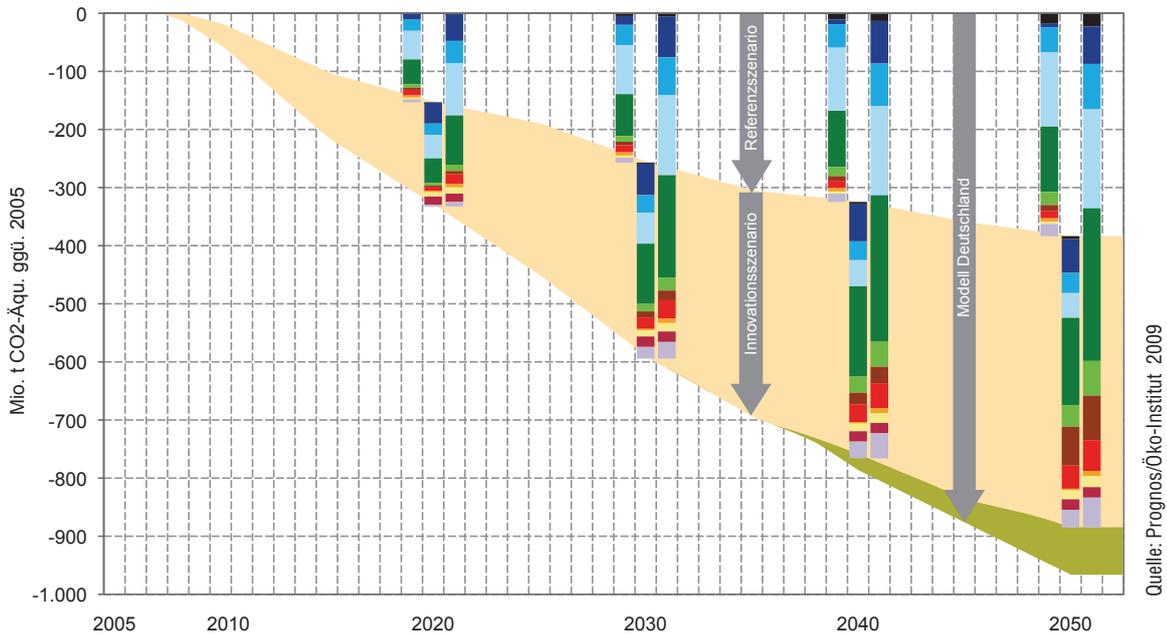
Relevante Verursachersektoren:

- Die **energiebedingten Emissionen** sind und bleiben für das Niveau des Ausstoßes von Treibhausgasen in Deutschland von herausragender Bedeutung. Bei einem Anteil von etwa 82 % an den gesamten Treibhausgasemissionen im Jahr 2005 sinkt dieser Anteil bis 2050 im Referenzszenario auf rund 75 % und auf knapp 62 % im Innovationsszenario. Diese Entwicklungen unterstreichen auch die besondere Rolle des Energiesektors in einer ambitionierten Klimaschutzstrategie.
- Der Beitrag der **prozessbedingten Emissionen** (hier ohne Eisen- und Stahlindustrie) steigt im Referenzszenario im Zeitraum 2005 bis 2050 von 7 % auf knapp 8 %. Im Innovationsszenario sinkt der Beitrag auf etwa 5 %. Dies ist ein Indiz dafür, dass auch im Bereich der prozessbedingten Emissionen mittelfristig erhebliche Reduktionspotenziale erschlossen werden können.
- Die im Zeitverlauf erheblich steigenden Beiträge der **Landwirtschaft** bzw. von **Landnutzung und Forstwirtschaft** weisen darauf hin, dass die in diesen Sektoren vorhandenen Emissionsminderungsoptionen deutlich stärkeren Begrenzungen unterliegen als in den anderen Sektoren. So steigt der Anteil der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft im Referenzszenario von 2005 bis 2050 von 5 % auf 7 %, im Innovationsszenario dagegen auf über 19 %. Die Netto-Emissionsbeiträge aus den LULUCF-Sektoren vergrößern sich im Zeitraum 2005 bis 2050 von 4 % auf rund 9 % im Referenzszenario bzw. auf etwa 11 % im Innovationsszenario.
- Eine untergeordnete Rolle spielt die **Abfallwirtschaft**. Die Beiträge zum gesamten Treibhausgasausstoß liegen hier im Referenzszenario bei unter 1 % und im Innovationsszenario bei unter 2 %.

Relevante Treibhausgase:

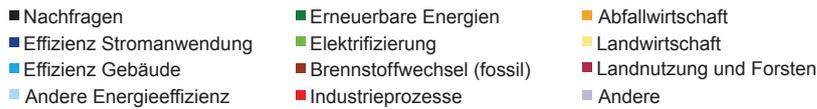
- **Kohlendioxid** bleibt in beiden Szenarien das dominierende Treibhausgas. Im Referenzszenario geht der Anteil von CO₂ an der gesamten Emission von Treibhausgasen nur sehr schwach, d.h. von 89 % auf 88 % zurück. Im Innovationsszenario geht der Anteil im Zeitraum 2005 bis 2050 von 89 % auf 75 % zurück.
- Die Rolle von **Lachgas** nimmt deutlich zu. Im Referenzszenario bleibt der Anteil im Bereich von 5 % bis 6 % stabil, im Innovationsszenario beträgt der Anteil von N₂O an den gesamten Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 knapp 16 %.
- Der Anteil der **Methan**-Emissionen geht im Referenzszenario im Zeitraum 2005 bis 2050 von 4,5 % auf 3,6 % zurück. Im Innovationsszenario steigt der Anteil auf etwa 8,5 % im Jahr 2050.
- Die Emissionsdynamik der **fluorierten Treibhausgase** bleibt mit Anteilen von 1,5 % bis 2 % im Referenzszenario bzw. 1 % im Innovationsszenario von eher untergeordneter Bedeutung.

Komponentenanalyse und Zielerreichung für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen



Quelle: Prognos/Öko-Institut 2009

Abbildung K 4: Beiträge der verschiedenen Handlungsbereiche zur gesamten Treibhausgas-Emissionsentwicklung



Insgesamt werden im **Referenzszenario** bis zum Jahr 2050 Emissionsminderungen von 45 % (bezogen auf 1990) erreicht. Für die Summe der Quellbereiche ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) beträgt die Minderung 51 %.

Im **Innovationsszenario** wird bis zum Jahr 2050 eine Minderung von 87 % (89 % ohne LULUCF) erreicht. Bis zum Jahr 2040 entspricht der Emissionsverlauf im Innovationsszenario etwa dem Trend, der zur Einhaltung des 95 %-Minderungsziels verfolgt werden müsste.

Zum Erreichen des Emissionsniveaus von **Modell Deutschland** verbleibt eine Lücke von ca. 97 Mio. t CO₂-Äquivalent, für die zusätzliche Emissionsminderungsmaßnahmen identifiziert wurden.

Auf Basis einer Komponentenanalyse können die **Wirkungsbeiträge** der verschiedenen Sektoren bzw. Quellbereiche zur Emissionsreduktion in den beiden Szenarien systematisch verglichen werden. Für den Szenarienzeitraum von 2005 bis 2050 ergeben sich für das Referenz- und das Innovationsszenario die folgenden Schlüsselergebnisse:

Im Referenzszenario

- werden die größten Emissionsminderungen durch die verschiedenen Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz erbracht. Bis 2050 sind darauf etwa 46 % der gesamten Emissionsminderung zurückzuführen, wobei vor allem die Effizienzverbesserung im Gebäudesektor und in der Industrie entscheidende Beiträge leistet;
- entfällt ein Anteil von 29 % der gesamten Emissionsreduktion auf den Einsatz erneuerbarer Energien;
- erbringen die Maßnahmen im Bereich der industriellen Prozessemissionen mit einem Anteil von etwa 3 % der gesamten Emissionsminderung einen erheblichen Beitrag, wobei hier vor allem die kosteneffiziente Minderung der N₂O-Emissionen in der chemischen Industrie eine herausragende Rolle spielt.

Im **Innovationsszenario**

- ergibt sich aus der nochmals verstärkten Energieeffizienz ein Beitrag von 27 % der zusätzlich erbrachten Emissionsminderungen. Entscheidend ist dabei vor allem die massiv erhöhte Effizienz bei Stromanwendungen, die etwa die Hälfte der gesamten zusätzlichen Minderungsbeiträge im Bereich der Energieeffizienz repräsentiert;
- sind die zusätzlichen Emissionsminderungen vor allem durch die massive Ausweitung des Einsatzes erneuerbarer Energien geprägt, die einen Anteil von 37 % der gesamten zusätzlichen Emissionsminderung abdeckt. Dabei entfallen 7 Prozentpunkte auf die indirekten Effekte aus der Elektrifizierung des Verkehrs (die im Innovationsszenario auch als Beitrag der erneuerbaren Energien interpretiert werden kann);
- sind die Emissionsminderungen durch die Substitution im Bereich der fossilen Energieträger mit einem Anteil von 13 % der zusätzlichen Emissionsminderungen noch einmal erheblich;
- tragen Maßnahmen im Bereich der CO₂-Senken mit etwa 4 % zur zusätzlichen Emissionsminderung bei.

Im **Innovationsszenario** ergeben sich (als kumulativ betrachtete Beiträge des Referenz- und des Innovationsszenarios) für die gesamte Emissionsminderung etwa gleich große Beiträge aus der Erhöhung der Energieeffizienz und der Ausweitung des Einsatzes erneuerbarer Energien (bis 2050 jeweils in der Größenordnung von 35 %). Darüber hinaus erbringen v.a. der Brennstoffwechsel bei den fossilen Energieträgern (9 %) sowie die Emissionsminderungen bei den Industrieprozessen (6 %) sowie im Bereich der Böden und Forsten (2 %) wesentliche Beiträge. Die Maßnahmen in allen anderen Bereichen (Landwirtschaft etc.) summieren sich auf einen Anteil von 12 % der gesamten Emissionsreduktion.

Etwa die Hälfte der gesamten zusätzlichen Emissionsminderung im Innovationsszenario und etwa zwei Drittel der energiebedingten Emissionsreduktion entfallen bis zum Jahr 2050 auf Maßnahmen, die auf einen **besonders langlebigen Kapitalstock** (Gebäude, Kraftwerke, Infrastrukturen etc.) ausgerichtet sind. In diesem Bereich ist es besonders wichtig, dass die jeweiligen Klimaschutzmaßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden. Ebenfalls etwa die Hälfte der bis zum Jahr 2050 wirksam werdenden Emissionsminderungen des Innovationsszenarios entfallen auf Maßnahmen, für die in den nächsten Jahren noch erhebliche **Innovationen** (Technik, Kosten, Systemintegration) notwendig sind.

Zusätzlich können in „**Modell Deutschland**“:

- der erhebliche Sockel verbleibender industrieller CO₂-Emissionen einerseits durch den flächendeckenden Einsatz von CCS für die einschlägigen Industrieprozesse (Roheisenerzeugung, Zementherstellung) um weitere rund 16 Mio. t CO₂ zurückgeführt werden;
- der verbleibende Prozesswärmebedarf der Industrie sowie die verbliebenen Erdgas- und Heizöl-anwendungen im Dienstleistungssektor durch den Einsatz von Biomethan abgedeckt werden. Dies würde eine zusätzliche Emissionsminderung von ca. 25 Mio. t CO₂ erbringen, erfordert aber – angesichts der Verfügbarkeitsgrenzen – eine Integration in eine übergeordnete Biomassestrategie bzw. entsprechende Komplementärmaßnahmen im Verkehrssektor;
- durch einen weitgehenden Ersatz von konventionellen Kraftstoffen durch Biokraftstoffe im Flugverkehr die Emissionen um zusätzlich ca. 22 Mio. t CO₂ verringert werden. Die damit zusätzlich erforderlichen Kraftstoffmengen müssten entweder durch weitergehende Ansätze im Bereich des Personenverkehrs (Vermeidung/Verlagerung sowie Ausweitung der Elektrifizierung um jeweils etwa 20 %) und des Straßengüterverkehrs (Vermeidung/Verlagerung von etwa 20 %) oder aber durch Biomasseimporte aufgebracht werden.
- mit der Verbringung von CO₂ aus der Biokraftstoffproduktion in geologische Formationen (Biomasse-CCS) eine zusätzliche CO₂-Senke von bis zu 32 Mio. t CO₂-Äqu. erschlossen werden.

Mit diesen zusätzlichen Maßnahmen kann ein Emissionspfad für das „Modell Deutschland“ beschrieben werden, mit dem das 95 %-Minderungsziel erreicht wird. Wenn die Emissionsminderung auf die Emissionsniveaus ohne LULUCF bezogen wird, ergibt sich einschließlich der Zusatzmaßnahmen eine Emissionsminderung von etwa 96 %.

Ziele und strategische Ansätze

zur Erreichung der Klimaschutzziele von Modell Deutschland

Aus der Analyse des Innovationsszenarios und der für das „Modell Deutschland“ untersuchten Zusatzpotenziale ergeben sich für die Zielerreichung die folgenden **strategischen 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 Primärenergieaufkommen auf 20 % bis 2020, 35 % bis 2030, 55 % bis 2040 und über 70 % bis 2050.

Für die verschiedenen Sektoren ist es zur Zielkontrolle bzw. zum Monitoring der erreichten Fortschritte sinnvoll, Leitplanken anzusetzen. Die jeweils sektorspezifischen Ziele werden in den einzelnen Sektorkapiteln benannt.

Zwischen den einzelnen Treibhausgasminderungsoptionen ist im Kontext ambitionierter Klimaschutzstrategien eine Reihe von Systemzusammenhängen und Wechselwirkungen zu berücksichtigen, die bei der strategischen Ausgestaltung der entsprechenden Klimaschutz- und Energiepolitiken berücksichtigt werden müssen:

- In **allen Sektoren** müssen signifikante Anstrengungen zur Emissionsminderung unternommen werden, angesichts der 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.
- Ein sehr hoher Anteil der zusätzlich notwendigen Emissionsminderungen (etwa 60 %) betrifft jeweils einen **langlebigen Kapitalstock** (Gebäude, Kraftwerke, 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 (ebenfalls etwa 60 %) wird, vor allem ab 2030, von Emissionsminderungsoptionen erwartet, bei denen noch erhebliche **Innovationen** in Bezug auf Technologie, Kosten und Systemintegration/Infrastruktur 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 sind unabdingbar **verknüpft mit Komplementäroptionen**, ohne systematisch angelegte Strategieansätze könnten die angestrebten Emissionsminderungen ins Leere laufen:
 - die Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs ist unabdingbar verbunden mit einerseits der Erschließung zusätzlicher Stromerzeugungsoptionen auf Basis erneuerbarer Energien (oder CCS) und andererseits der Schaffung intelligenter Stromverteilungsnetze;
 - der massive Einsatz von Biokraftstoffen im Straßen- und Luftverkehr erfordert unabdingbar die Verfügbarkeit von Biokraftstoffen, die hohen Nachhaltigkeitsstandards genügen;
 - der Einsatz dezentraler Effizienztechnologien, die zunächst auf Basis von Erdgas betrieben werden (z.B. dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung), wie auch die Umstellung der industriellen Prozesswärmeerzeugung auf erneuerbare Energien erfordern mittel- und langfristig die Verfügbarkeit von erheblichen Mengen an Biomethan, das in die Gasnetze eingespeist wird.
- Die Einführung neuer Stromerzeugungsoptionen wie auch die Schaffung der Kapazitäten für Verkehrsverlagerungen bedingen einen langfristigen Vorlauf der jeweiligen **Infrastrukturentwicklung** (Transport- und Verteilnetz, CO₂-Infrastruktur für CCS, Schienennetz).
- Zumindest für zwei zentrale Emissionsminderungsoptionen, die Nutzung von Biomasse und die Einführung von CCS, müssen Potenzialbegrenzungen berücksichtigt und ein entsprechend aktiver Ansatz für die **strategische Ressourcenbewirtschaftung** verfolgt werden:
 - Wenn die Umgestaltung des Energiesystems sich hinsichtlich der Biomasse vor allem auf – begrenzte – einheimische oder in Europa verfügbare Potenziale beschränken soll, müssen Nachhaltigkeitsstandards gesichert sein. Der Einsatz von Biokraftstoffen ist nur unter der Voraussetzung verantwortbar, dass diese nach bindenden Regelungen und gesetzlichen Standards sozial und ökologisch nachhaltig angebaut wurden. Die Einhaltung der Mindeststandards für Nachhaltigkeit muss durch Zertifizierungssysteme überprüft und

- garantiert werden. Eine Ausweitung des Einsatzes von Biokraftstoffen kann nur beschritten werden, wenn international abgestimmte verpflichtende Mindeststandards die Nachhaltigkeit von allen Agrarrohstoffen gewährleisten. Bei Vorliegen dieser Voraussetzungen müssen Nutzungsprioritäten gesetzt und verfolgt werden. Neben den Nutzungsprioritäten sind im Rahmen einer umfassenden Biomassestrategie auch Prioritäten für die Erschließung des Biomasseaufkommens von besonderer Bedeutung. So sollte der energetischen Nutzung von biogenen Abfällen und Reststoffen vor allem im zeitlichen Verlauf ein Vorrang vor der Nutzung von Energiepflanzen zukommen.
- Hinsichtlich der Biomasse müssen 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 Effizianzforderungen, Biomasseverstromung ohne Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung ist nicht konsistent zu einer langfristig angelegten Klimaschutz- und Energiestrategie.
 - Die verfügbaren Speicher für CCS 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 sollte.
 - Der klimagerechte Umbau des Energie- und des Verkehrssystems setzt eine erheblich verbesserte Effizienz bei der Nutzung energieintensiver **Materialien und Produkte** voraus.

Mit Blick auf die **politischen Umsetzungsinstrumente**, deren Ausrichtung und Ausgestaltung sich im Zeitverlauf ändern wird und ändern muss, sind folgende strategischen Ansätze von übergeordneter und langfristiger Bedeutung:

- Die Sicherung einer ausreichenden **Akteursvielfalt** und **wettbewerblicher Märkte** bildet eine Schlüsselbedingung zur Entwicklung robuster und effizient gestalteter Klimaschutzpfade. Unzureichende Akteursvielfalt vergrößert die Gefahr von Lock-in-Effekten und kann

die notwendigen Innovationsprozesse behindern oder verzögern.

- In allen Bereichen müssen die politischen Umsetzungsmaßnahmen auch einen stetigen und gezielten **Innovationsprozess** fördern, mit dem Klimaschutzoptionen schnellstmöglich zur Marktreife gebracht werden. Die Flankierung frühzeitiger Markteinführungsprozesse spielt hier eine besondere Rolle.
- Die signifikante **Bepreisung** des Ausstoßes von Treibhausgasen bildet eine notwendige Grundlage einer ambitionierten und erfolgreichen Klimapolitik.
- Soweit Klimaschutzoptionen mit einem signifikanten Lösungspotenzial nicht kompatibel mit den geltenden **Marktstrukturen** sind (wie z.B. die fluktuierende Einspeisung großer Strommengen aus erneuerbaren Energien), sollten die Marktstrukturen schrittweise angepasst werden.
- Für sehr **homogene** Technologien bzw. Klimaschutzoptionen sind, soweit es gesonderter Unterstützungsmaßnahmen bedarf, ordnungsrechtliche Ansätze sinnvoll und notwendig.
- Soweit bestimmte Marktentwicklungen im Bereich langlebiger Kapitalstöcke zur **Gefahr von Sackgassen-Situationen** führen, die langfristig die Erreichung ambitionierter Klimaschutzziele verhindern, sollten entsprechende ordnungsrechtliche Vorkehrungen getroffen werden.
- Speziell zur breiten und signifikanten Erhöhung der Energieeffizienz ist die Schaffung eines robusten und nachhaltigen **Energieeffizienzmarktes** unabdingbar.
- Die Entwicklung von **Infrastrukturen** für die Umgestaltung des Energie- und Verkehrssystems muss mit langem Vorlauf und damit mit erheblichen Unsicherheiten geplant und vorangetrieben werden. Hier entsteht ein besonderes (neues) Feld staatlicher Verantwortung und Zuständigkeit.

Schließlich muss eine sorgfältige Analyse der langfristigen Umsetzungsstrategien und der kurz- bis mittelfristig angelegten politischen Instrumente die Konsistenz von kurz- und mittelfristigen sowie langfristigen Lösungsbeiträgen berücksichtigen. Nicht alle Lösungsansätze, die in den langfristigen Zielstrukturen keine Rolle mehr spielen können, sind auch kurz- bis mittelfristig problematisch (z.B. die Dezentralisierung der fossilen Energieerzeugung bei langfristig begrenzten Biogaspotenzialen). Zentrale Aspekte sind hier die mittelfristigen Umstiegsstrategien und die Voraussetzung, dass kurz- und mittelfristig keine kontraproduktiven Strukturen geschaffen 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.

Rahmendaten

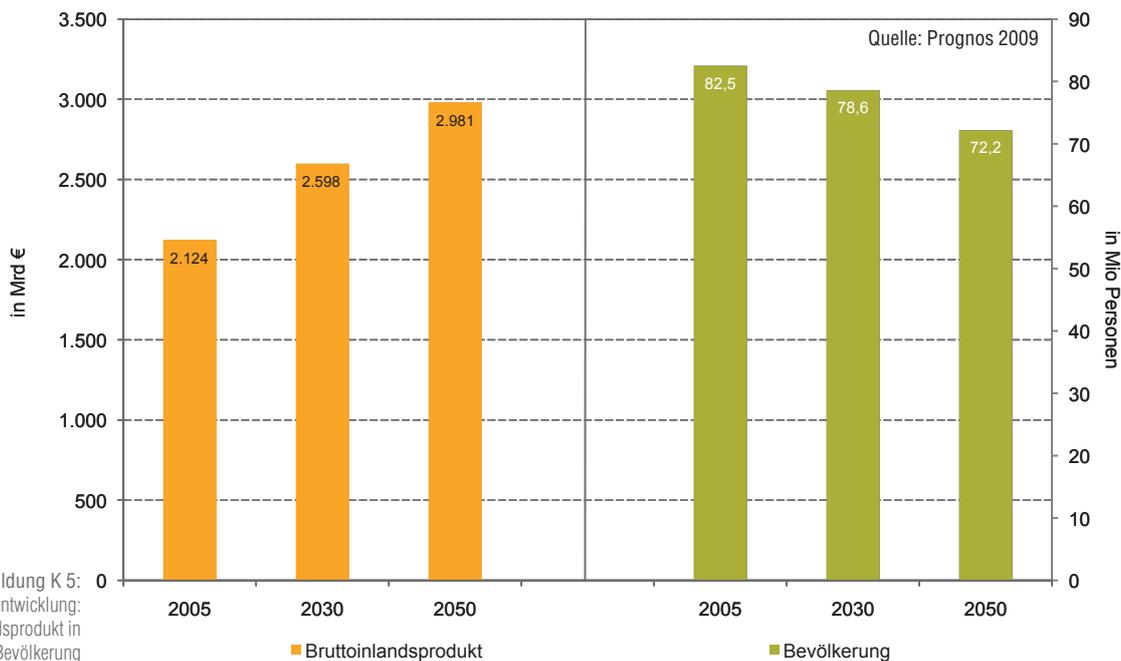


Abbildung K 5:
Rahmenentwicklung:
Bruttoinlandsprodukt in
Mrd. € und Bevölkerung
in Mio. 2005 – 2050

Die **Bevölkerung** nimmt trotz einer durchschnittlichen Nettozuwanderung von ca. 150.000 Personen p.a. im Zeitraum von 2005 bis 2050 um 12,5 % ab.

Die Alterung schreitet voran: Die Gruppe der über 65-jährigen wächst um 6,2 Mio., während die Zahl der unter 65-jährigen insgesamt um 16,5 Millionen zurück geht. Im Jahr 2050 gibt es 12,5 Mio. weniger Personen im Erwerbsalter (20 bis 65 Jahre) als 2005.

Die durchschnittliche **Haushaltsgröße** verringert sich von 2,10 auf 1,86 Personen je Haushalt. Die Ein- und Zweifamilienhaushalte nehmen um 3,2 Mio. zu, die Zahl der größeren Haushalte geht deutlich zurück.

Die durchschnittliche **Wohnfläche** pro Kopf steigt weiter moderat an, insgesamt nimmt die Wohnfläche um 253 Mio. m² zu. Neue Wohnungen entstehen vor allem in Ein- und Zweifamilienhäusern. Bis 2030 überwiegt der Zugang an Wohnfläche durch Neubauten die altersbedingten Abgänge. Danach kehrt sich der Trend um, pro Jahr nimmt die Wohnfläche dann im Saldo um durchschnittlich 6,6 Mio. m² ab.

Das **Bruttoinlandsprodukt** (BIP) liegt 2050 um rund ein Drittel über dem Niveau des Jahres 2005. Nach dem krisenbedingten Einbruch 2009 wird der zuvor beschriebene Wachstumspfad nicht mehr ganz erreicht. Bei rückläufiger Einwohnerzahl sind die mittleren **BIP-Zuwächse** zwischen 2020 und 2040 moderat. Pro Kopf fällt das BIP-Wachstum höher aus, es liegt zwischen 0,6 % p.a. im Zeitraum 2025 bis 2030 und 1,4 % p.a. zwischen 2045 und 2050.

Die **Arbeitslosigkeit** geht bis 2050 erheblich zurück, weil das Arbeitskräfteangebot aufgrund der demografischen Entwicklung deutlich schneller abnimmt als die Zahl der Arbeitsplätze.

Für das Wirtschaftswachstum hat der **Dienstleistungssektor** eine zunehmende Bedeutung. Zwischen 2005 und 2050 wird die Bruttowertschöpfung hier um rund 46 % ausgeweitet. Die **Industrie** wächst im Zeitraum 2005 bis 2050 um knapp 20 %. Die energieintensiven Industrien, die 2005 ca. 14 % zur gesamten Industrieproduktion beitrugen, reduzieren ihren Output bis 2050 um mehr als 20 %. Die übrigen Industriezweige wachsen bis dahin um rund 44 %. Damit setzt sich der seit den 1980er Jahren bestehende Strukturwandel weiter fort.

Die Industrie sichert angesichts der Herausforderungen ihre internationale Wettbewerbsfähigkeit durch technischen Fortschritt, innovative und wissensbasierte Produkte sowie durch international abgestimmte Technologiekooperationen.

Der **Personenverkehr** ist und bleibt stark vom motorisierten Individualverkehr geprägt. Wegen der rückläufigen Bevölkerung verringert sich die Personenverkehrsleistung insgesamt von 2005 bis 2050

um 10 %. Die **Güterverkehrsleistungen** nehmen aufgrund der Wirtschaftsentwicklung sowie der weiter steigenden internationalen Verflechtungen zwischen 2005 und 2050 um 86 % zu. Ein erheblicher Teil des Zuwachses findet auf der Schiene statt, der Güterverkehr auf der Schiene wird um 191 % ausgeweitet, während die Güterverkehrsleistungen auf der Straße um 67 % zunehmen, die Transportleistung der Binnenschifffahrt erhöht sich um 47 %. Der Anteil der Schiene an den Güterverkehrsleistungen steigt von knapp 17 % im Jahr 2005 auf 26,5 % im Jahr 2050.

Die **Luftverkehrsleistungen** steigen im Betrachtungszeitraum um 7 % an, damit liegt das Wachstum weit unter dem des Straßengüterverkehrs.

Die nachhaltig zu gewinnenden **Potenziale an Biomasse** (ohne Konkurrenzen zur Nahrungsmittelproduktion oder eine Verringerung der ökologischen Qualität von zuvor hochwertigen Flächen zu erzeugen) in Deutschland sind sehr begrenzt; sie werden auf ca. 1.200 PJ Primärenergie abgeschätzt. Damit verbietet sich der Ansatz, fossile Energieträger allgemein und durchwegs durch biogene Energieträger zu ersetzen. Vielmehr werden strategische Setzungen notwendig, um die Biomasseprodukte dort zu verwenden, wo keine Alternativen bestehen.

Technologieentwicklung

Die aktuellen Technologieentwicklungen auf der Nachfrageseite in Richtung Energie- und Materialeffizienz werden fortgesetzt. Das Referenzszenario zeigt, dass mit diesen Technologien, in vorhandenen Strukturen angewendet und ambitioniert fortgeschrieben, die Klimaschutzziele nicht zu erreichen sind. Um die Ziele zu erreichen, sind deshalb auch bei der Entwicklung von Produkten, Materialien und Produktionsprozessen **systemische Veränderungen** notwendig. Insbesondere sind die Schlüsseltechnologien (Nano-, Bio-, Mikrosystemtechnologie) gezielt unter dem Aspekt der Energie- und Materialeffizienz zu entwickeln. Diese neuen Technologien können Risiken mit sich bringen. Jede einzelne Technologie muss daher auf ihre Nachhaltigkeit geprüft werden, bevor sie zum Einsatz kommt. Andererseits ist ohne solche qualitativen neuen Technologieentwicklungen und -einsätze eine über das Referenzszenario weit hinausgehende Effizienzentwicklung nicht denkbar.

Die **wesentlichen neuen Technologiefelder**, in denen Innovationen benötigt und im Innovations-szenario als realisiert unterstellt werden, sind z.B. (illustrative, nicht vollständige Aufzählung):

- **neue Werkstoffe:** energieeffiziente und nach spezifischen Eigenschaften maßgeschneiderte Materialien, die den Einsatz von Metallen für statische Funktionen (z.B. tragende Skelettgerüste bei Gebäuden oder widerstandsfähige Hüllen bei Fahrzeugen) vermindern;
- **Hochleistungswärmedämmstoffe**, die problemlos umfassend im Gebäudebestand einsetzbar sind; spezifische reaktionsfähige Fensterbeschichtungen, mit denen starke Einsparung von Raumwärme im Winter und Reduktion von Strahlungseinträgen im Sommer möglich werden;
- **neue Baustoffe** auf Kunststoff- und Verbundwerkstoffbasis;
- **biologische Produktionsprozesse** in der Chemie, z.B. mit Hilfe spezialisierter Bakterien oder Enzyme zur Synthetisierung von Substanzen; Verwendung katalytischer Prozesse zur Reduktion von Anregungsenergie;
- **Mikroprozesse** zur Produktion von Spezialprodukten „auf dem Chip“ (z.B. Pharma);
- **Optoelektronik** zur Erhöhung von Bandbreite, Geschwindigkeit und Leistungsdichte elektronischer Anwendungen; Reduktion von Abwärme bei immer leistungsfähigeren IT-Anwendungen;
- **Miniaturisierung** von Displays (Visoren statt Bildschirme);
- optimierte und effiziente **Batteriesysteme** und **Stromspeicher**;
- hocheffiziente Produktion von **Biokraftstoffen** der zweiten (und dritten) Generation;
- **Prozess- und Gebäudebetrieboptimierung** durch Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik;
- **Netzoptimierung** und **demand side management** zum Ausgleich von Lastspitzen, zur Reduktion von Speichereinsatz und -verlusten sowie zur Einbindung von fluktuierenden erneuerbaren Energien in das Stromsystem;
- **Photovoltaik** der dritten Generation (auf organischer Basis);
- durch Informations- und Kommunikationstechnik leistungsfähiger gemachte **Verkehrsinfrastrukturen**;
- die CO₂-Abscheidung und langfristige Ablagerung in sicheren geologischen Formationen (**CCS**).

Sektor private Haushalte

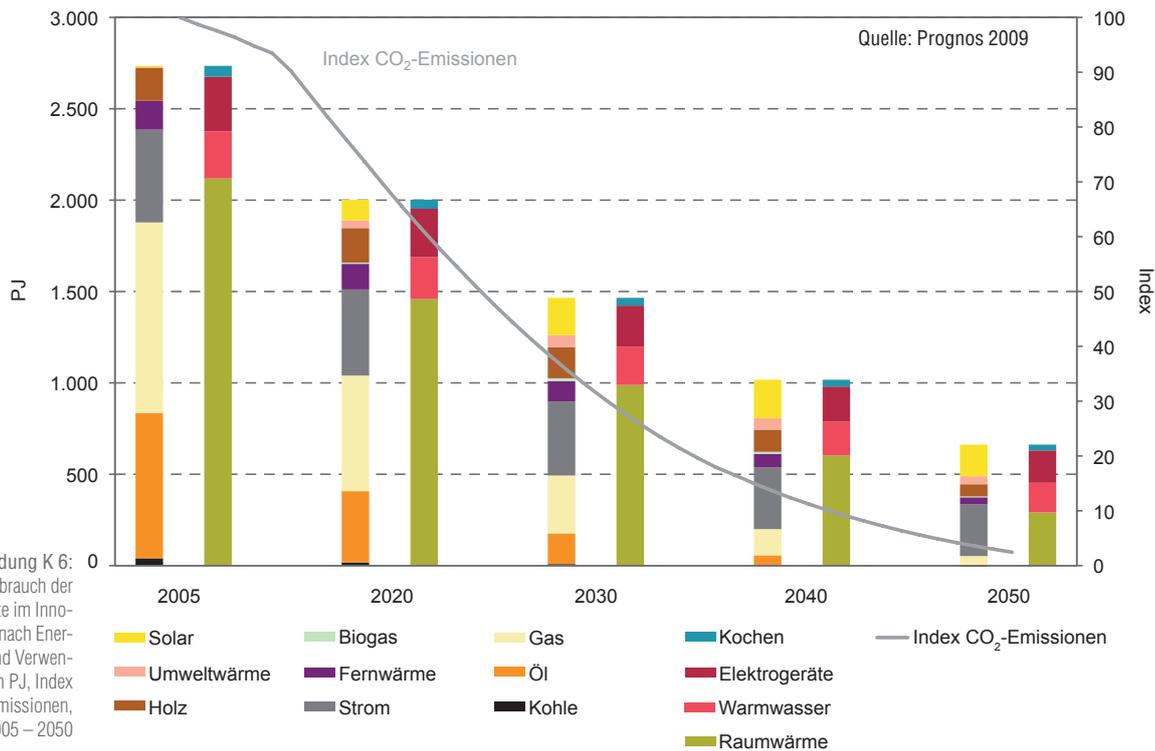


Abbildung K 6: Endenergieverbrauch der privaten Haushalte im Innovationsszenario nach Energieträgern und Verwendungszwecken in PJ, Index direkte CO₂-Emissionen, 2005 – 2050

Im Sektor private Haushalte sinken die direkten **CO₂-Emissionen** vom Jahr 2005 bis zum Jahr 2050 von 212 Mio. t auf 3 Mio. t um 98 %.

- Zentrale Stellschraube zur Reduzierung der Emissionen in diesem Sektor ist die Minderung des Raumwärmebedarfs. **Raumwärme** ist derjenige Verwendungszweck, bei dem durch Effizienzmaßnahmen absolut und relativ der mit Abstand größte Anteil Endenergie eingespart werden kann. Der spezifische Raumwärmebedarf von Gebäuden wird sowohl im Neubau als auch bei bestehenden Gebäuden durch bauliche Maßnahmen (Wärmedämmung der Gebäudehülle und der Fenster) nahezu auf Null reduziert. Hierfür stehen ab etwa 2025/2030 geeignete Materialien für die Serienanwendung bereit. Die Sanierungsrate bestehender Gebäude wird ab 2012 von knapp 1 % auf ca. 2 % verdoppelt, der energetische Standard der Sanierungen entspricht ab 2025 einem ambitionierten Neubaustandard. Der spezifische Raumwärmebedarf von Neubauten wird sukzessive in Schritten um ca. 50 % abgesenkt, bis er ab 2030 nahezu Null beträgt.
- Durch den Einsatz von weiter entwickelten Wasser sparenden Armaturen sinkt der Pro-Kopf-Verbrauch an **Warmwasser** bei steigendem Komfort um über 10 %. Der Energiebedarf zur Erzeugung von Warmwasser wird dadurch bis 2050 um 37 % gegenüber dem Verbrauch des Jahres 2005 abgesenkt.
- Die Effizienzentwicklung von **Haushaltsgroßgeräten** wird massiv vorangetrieben, so dass bis 2050 die durchschnittlichen spezifischen Energieverbräuche um 70 % bis 80 % sinken. Magnetkühlschränke werden Standard, ebenso die wasserlose Waschmaschine, Wäschetrockner werden dadurch überflüssig. Trotz der Konvergenz der (elektronischen) Medien führen weitere elektrische Anwendungen zu einer Erhöhung der Geräteanzahl in Haushalten. Der spezifische Energieverbrauch elektronischer Geräte sinkt vor allem aufgrund der Displaytechnologien um 70 % bis 80 %, der Strombedarf für Elektrogeräte verringert sich bis 2050 insgesamt um 40 %.

Um die geforderten Minderungen zu erreichen, müssen folgende **strategische Leitplanken** gesetzt werden:

- 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. (direkt) emissionsfreien Energieträgern (Fern- und Nahwärme) am gesamten Energieaufkommen für die restliche Raumwärme- und Warmwassererzeugung bis 2030 auf etwa 40 % und bis zum Jahr 2050 auf mindestens 75 % erhöht werden.

Daraus leiten sich für den Zeithorizont 2030 die folgenden **Umsetzungsinstrumente** ab:

- **Gebäudespezifische Instrumente** zur Erhöhung der Energieeffizienz
 - Verschärfung der Neubaustandards auf einen maximalen jährlichen Endenergieverbrauchswert für Raumwärme von 20 kWh/m² ab 2015, 10 kWh/m² ab 2020 und ab 2025 auf den Nullenergie- bzw. Plushausstandard;
 - Fortsetzung und Forcierung der Förderprogramme zur Gebäudesanierung zur Absicherung von Sanierungsraten größer 2 % pro Jahr und einer Sanierungseffizienz von langfristig 90 %.
- **Stromspezifische Energieeffizienzprogramme**
 - durchgängige Verschärfung der Verbrauchsgrenzwerte für alle elektrischen Geräteklassen nach dem Toprunner-Prinzip (Verbrauchswerte der Bestgeräte als Mindeststandards für einen Abstand von 5 Jahren);
 - Verbot von Nachtstromspeicherheizungen nach einer Übergangszeit von 5 Jahren (flankiert durch Förderprogramme).

Sektor Dienstleistungen

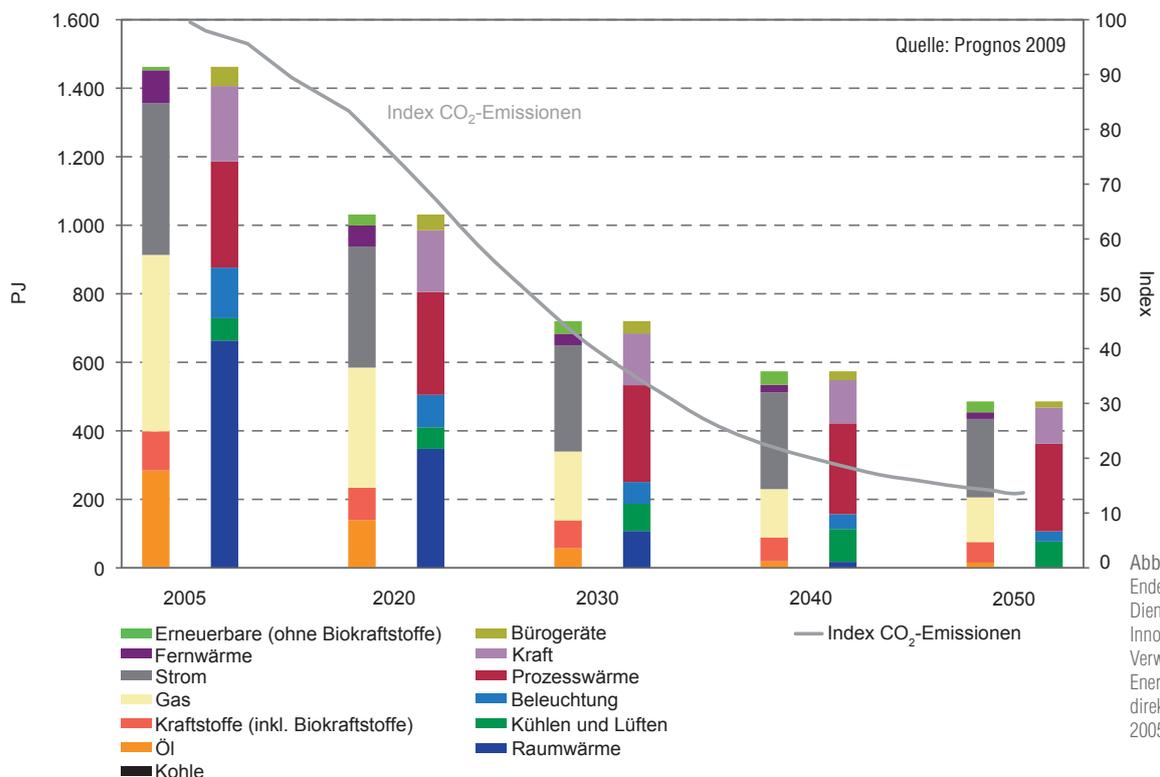


Abbildung K 7:
Endenergieverbrauch des Dienstleistungssektors im Innovationsszenario nach Verwendungszwecken und Energieträgern in PJ, Index direkte CO₂-Emissionen, 2005 – 2050

Die direkten energiebedingten **CO₂-Emissionen** im Dienstleistungssektor verringern sich von 58 Mio. t im Jahr 2005 bis 2050 um 85 % auf 8 Mio. t.

- Der größte Teil dieser Reduktion findet im **Raumwärmebereich** statt. Der spezifische Raumwärmebedarf von Dienstleistungsgebäuden sinkt bis zum Jahr 2050 sowohl bei Neubauten als auch im Bestand auf nahezu Null. Da im gewerblichen Sektor Gebäude eher abgerissen und neu gebaut als saniert werden, ist der Umschlag der Gebäude höher als im Bereich der privaten Haushalte.



- Aufgrund des durch die Klimaerwärmung zunehmenden **Kühlungsbedarfs** steigt der Endenergiebedarf für die Erzeugung von Klimakälte. Dieser wird durch hocheffiziente Kälteproduktion (z.B. mit Wärmepumpen und Nutzung erneuerbarer Energien sowie Abwärme) im Rahmen gehalten.
- Bei der Bereitstellung von **Prozesswärme** und **Kraft** sind die Möglichkeiten zur Energieeinsparung physikalisch begrenzt. Hier tragen Technologieverschiebungen sowohl bei der Prozessgestaltung als auch bei der Organisation von Dienstleistungen dazu bei, dass der Prozesswärmebedarf trotz einer um knapp 50 % steigenden Wertschöpfung um 17 % zurück geht. Beispiele für Einsparungen sind Sterilisation mit UV-Licht, wasserfreie Waschmaschinen etc.
- Bei **Kraftanwendungen** werden grundsätzlich die effizientesten Querschnittstechnologien bei Elektromotoren, Pumpen und Druckluft genutzt. Darüber hinaus werden gezielt materialeffiziente Prozesse und veränderte Materialien (z.B. im Fahrzeugbau) eingesetzt, die den spezifischen Bedarf an mechanischer Energie je Wertschöpfungseinheit um bis zu 80 % reduzieren. Damit sinkt der Energiebedarf für Kraftanwendungen um knapp 52 %.
- Der **gesamte Endenergiebedarf** im Dienstleistungssektor liegt 2050 um 66 % unter dem Niveau des Jahres 2005. Der verbleibende Bedarf wird fast zur Hälfte durch Strom gedeckt. Vor allem für die Bereitstellung von Prozesswärme bleibt Gas mit 26 % vom gesamten Mix ein wichtiger Energieträger. Den restlichen Bedarf decken erneuerbare Energieträger (Umweltwärme, Solarwärme sowie in sehr geringem Maße Biokraftstoffe).

Die sich hieraus für den Zeithorizont 2030 ergebenden **Ziele** und **Instrumente** entsprechen im Gebäudebereich denjenigen des Haushaltssektors. Hinzu kommen hohe Effizianzorderungen an Kühlgeräte (ab ca. 2030 nur noch über Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, Wärmepumpen oder mit erneuerbaren Energien zu betreiben). Bei hoch typisierten Geräten sind die für den Sektor der privaten Haushalte einschlägigen Instrumente ebenfalls übertragbar.

Sektor Industrie

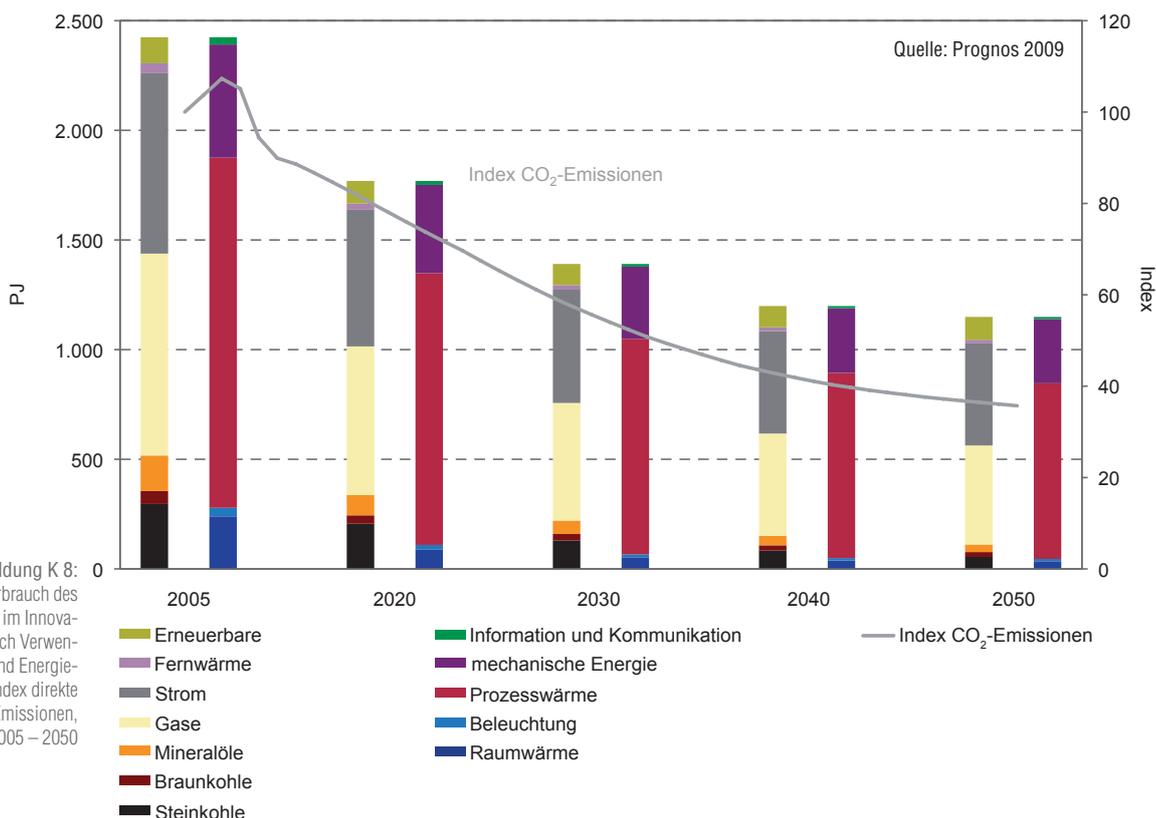


Abbildung K 8:

Endenergieverbrauch des Industriesektors im Innovationsszenario nach Verwendungszwecken und Energieträgern in PJ, Index direkte CO₂-Emissionen, 2005 – 2050

Die direkten **CO₂-Emissionen** des Industriesektors gehen im Innovationsszenario im Zeitraum von 2005 bis 2050 von 101 auf 36 Mio. t zurück, das entspricht einer Reduktion um 64 %.

- Der wesentliche Minderungsbeitrag wird durch die Senkung des **Prozesswärmebedarfs** geleistet. Prozesswärme war 2005 mit 66 % Anteil am Endenergieverbrauch der wesentliche Verwendungszweck für Energie in der Industrie. Durch konsequente Technologie- und Prozessverschiebungen wird der spezifische Prozesswärmeverbrauch bis 2050 um ca. 68 % gesenkt. Durch neue Produktionsverfahren und Verschiebungen von den energieintensiven (z.B. Metallerzeugung) zu den weniger energieintensiven Industriezweigen reduziert sich der absolute Prozesswärmebedarf um 50 % bei einer Produktionssteigerung von knapp 20 %.
- An zweiter Stelle beim Energieeinsatz in der Industrie stehen **Kraftanwendungen** mit 21% in 2005. Hocheffiziente Querschnittstechnologien und spezifisch entwickelte Werkstoff-, Produkt- und Prozessoptimierungen verringern hier den Endenergieeinsatz. Insgesamt nimmt der Energiebedarf für diese Anwendungen zwischen 2005 und 2050 um 43 % ab.
- Der spezifische **Raumwärmebedarf** von Industriegebäuden verringert sich bis zum Jahr 2050 sehr stark.
- Im Industriesektor gibt es für Emissionsminderungen **physikalische Grenzen** bei den spezifischen Verbräuchen von Prozessen mit Wärme- und Krafteinsatz. Deshalb wird im Industriesektor 2050 insgesamt nur rund 53 % weniger Energie verbraucht als 2005.
- Der **Energiemix** in der Industrie wird von Strom (41 %) und Gas (39 %) dominiert.

Um die im Innovationsszenario und darüber hinaus im „Modell Deutschland“ geforderten Minderungen zu erreichen, müssen folgende **strategische Leitplanken** gesetzt werden:

- Die **Energieproduktivität** sollte von 2005 bis zum Jahr 2030 etwa verdoppelt und bis zum Jahr 2050 verdreifacht werden;
- Der Aufkommensanteil **erneuerbarer Energien** und emissionsfreier Energieträger (Fern- und Nahwärme, Strom) am gesamten Endenergiebedarf sollte bis 2030 auf etwa 60 % und bis 2050 auf 90 % steigen;
- Die CO₂-intensiven **Industrieprozesse** sollten bis zum Jahr 2050 nur noch in Kombination mit CCS betrieben werden;
- Die prozessbedingten Treibhausgasemissionen sollten vom aktuellen Stand bis 2030 um über 50 % und bis zum Jahr 2050 um 90 % zurückgeführt werden.

Daraus leitet sich für den Zeithorizont 2030 neben den im Abschnitt „Eckpunkte eines Integrierten Klimaschutz- und Energieprogramms 2030“ genannten politischen Maßnahmen zur Schaffung eines flexiblen Mengensteuerungssystems für Energieeinsparungen sowie der steuerlichen Absetzbarkeit von Energiesparmaßnahmen vor allem das folgende **sektorspezifische Umsetzungsinstrument** ab:

- Verbindliche Einführung von **Energiemanagementsystemen** in der Industrie.

Flankierend hierzu sind Anreize für die Entwicklung und den Einsatz effizienter Technologieinnovationen zu setzen. Dies betrifft insbesondere die anwendungsorientierte Forschung.

Sektor Verkehr

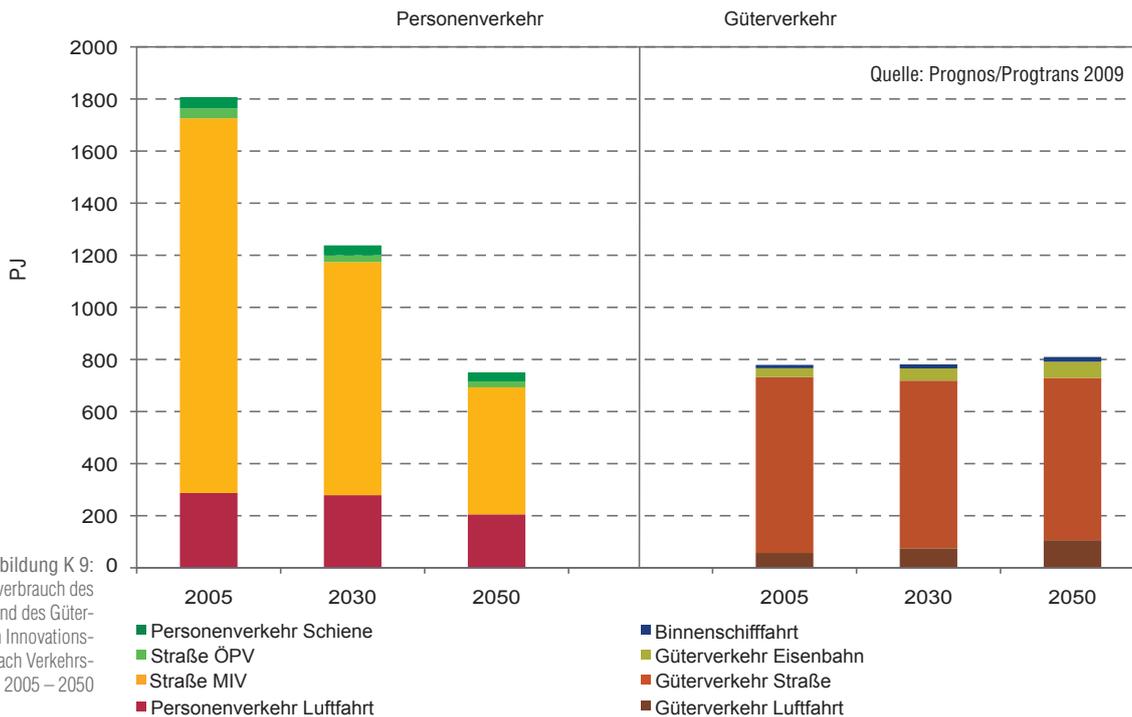


Abbildung K 9: Endenergieverbrauch des Personen- und des Güterverkehrs im Innovationsszenario nach Verkehrsträgern in PJ, 2005 – 2050

Die direkten **CO₂-Emissionen** des Verkehrssektors werden im Innovationsszenario im Zeitraum von 2005 bis 2050 von 180 Mio. t auf 30 Mio. t und damit um 83 % abgesenkt.

- **Zentrale Elemente** für die Minderungen im Verkehrssektor sind die Fahrzeugeffizienz im motorisierten Individualverkehr, die Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs und die Umstellung des Güterverkehrs auf erneuerbare Energien.
- **Elektromobilität** wird in die PKW-Flotte eingeführt. Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ohne Hybridanteil spielen ab 2045 im Bestand keine Rolle mehr. Hybrid-PKW machen in 2050 rund 36 % des Bestands aus, Plug-in-Hybride 28 % und reine Elektrofahrzeuge 18%.
- Der durchschnittliche **spezifische Verbrauch** neuer PKW mit Verbrennungsmotoren verringert sich bis 2040 um ca. 60 %. Der spezifische Verbrauch der Flotte (gemittelt über den gesamten Fahrzeugbestand und die Fahrleistungen) sinkt bis 2050 um 64 %; die spezifischen CO₂-Emissionen je Fahrzeugkilometer gehen auf ca. 40 g/km zurück.
- Im **Güterverkehr** wird ein großer Teil des Verkehrswachstums auf die Schiene verlagert. Von der Elektrifizierung der LKW-Flotte wird aufgrund der benötigten Leistungsdichten, für die keine Batterietechnologien in Sicht sind, nicht ausgegangen. Die spezifischen Verbräuche der LKW sinken um ca. 25 %.
- Die **Flugverkehrsleistungen** (Inlandsprinzip) nehmen sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr zu. Die Energieeffizienz erhöht sich zwischen 2005 und 2050 um ca. 40 %. Dadurch sinkt der Energieverbrauch des Luftverkehrs insgesamt um 10 %.
- Aufgrund der effizienteren Fahrzeuge sowie des Endenergieeffizienzvorteils der Elektromobilität und der Schiene verringert sich der **Endenergieverbrauch** des Verkehrssektors im Betrachtungszeitraum insgesamt um 41 %.
- Der Endenergiebedarf des Verkehrs wird somit 2050 hauptsächlich (zu 59 %) durch **Biokraftstoffe** der zweiten und dritten Generation sowie durch **Strom** (12 %) gedeckt. Wasserstoff- und Gasantriebe spielen eine kleine Rolle.

Bis 2050 werden im Innovationsszenario alle Kraftstoffe auf Mineralölbasis durch Biokraftstoffe der zweiten und dritten Generation ersetzt. Damit sind die in Deutschland zur Verfügung stehenden nachhaltigen Biomassepotenziale nahezu vollständig ausgeschöpft. (Dies erfordert eine strategische Entscheidung zum gerichteten Einsatz der Biomassepotenziale im Verkehrssektor, und nicht zur Erzeugung von Niedertemperaturwärme).

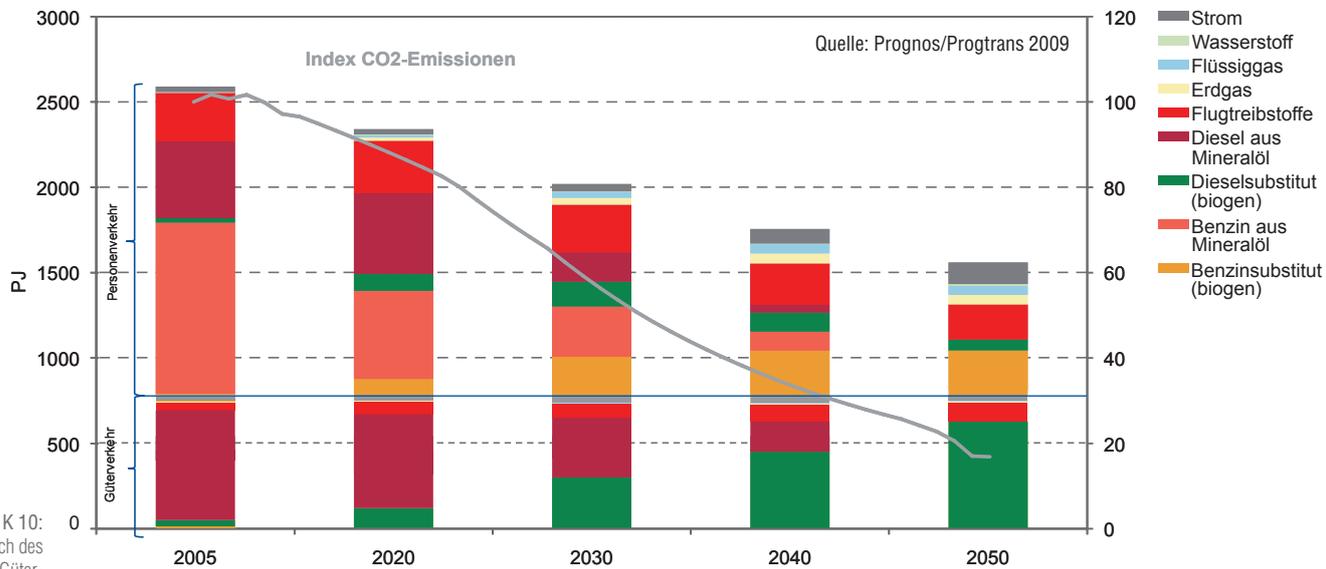


Abbildung K 10:
Endenergieverbrauch des
Personen- und des Güter-
verkehrs im Innovations-
szenario nach Energieträgern
in PJ, Index direkte CO₂-
Emissionen, 2005 – 2050

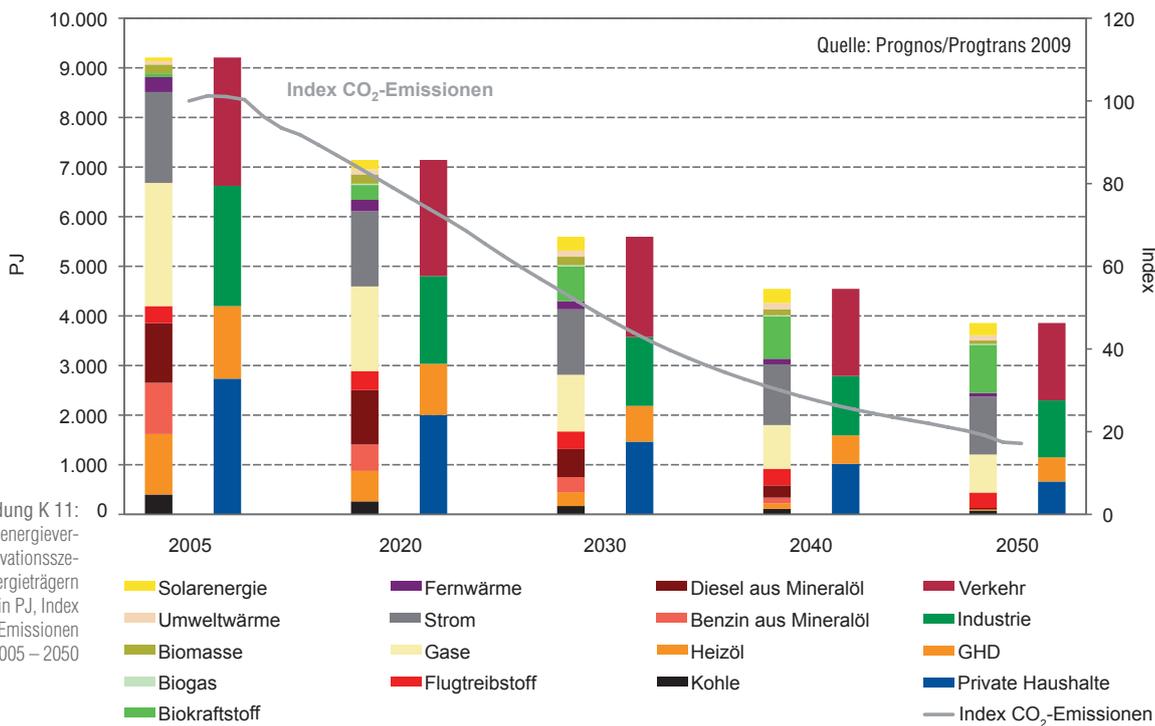
Um „Modell Deutschland“ im Verkehrssektor zu erreichen müssen folgende **strategische Leitplanken** gesetzt werden:

- Im Bereich des **motorisierten Individualverkehrs**
 - sollte die Fahrleistung 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) 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 (Biokraftstoffe) 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 (Biokraftstoffe, Wasserstoff) umgestellt werden.
- Im Bereich des **Luftverkehrs** sollte
 - der spezifische Energieverbrauch der gesamten Flugzeugflotte bis 2030 um 20 % reduziert werden;
 - das Kraftstoffaufkommen spätestens im Jahr 2050 vollständig auf regenerative Energien (Biokraftstoffe) umgestellt worden sein.

Hinsichtlich der **politischen Instrumente** zur Umsetzung für den Zeithorizont 2030 bedeutet dies das folgende Maßnahmenpaket:

- **Investitionsprogramm** zur Verdoppelung der Kapazität des deutschen **Schiennetzes** bis 2030;
- **Investitionsprogramm** zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit des **öffentlichen Nahverkehrs** um 25 % bis 2030 (und der Attraktivität des öffentlichen Nahverkehrs);
- Verschärfung der **CO₂-Flottengrenzwerte** für Personenkraftwagen auf 70 g CO₂/km in 2030 (ohne Anrechnung von Biokraftstoffen und ohne Nullanrechnung von Elektrofahrzeugen);
- Schaffung von **LKW-Flottengrenzwerten** auf einem Niveau von 30 % unter den aktuellen Werten bis 2030 (inklusive der Etablierung einer geeigneten technischen Berechnungsgrundlage);
- Erhöhung der **LKW-Maut** auf 50 ct/km in 2030, Gewährung eines Effizienzbonus und Ausweitung auf alle LKW;
- Erhöhung der **Mineralölsteuer** auf ein Niveau, das im Jahr 2030 einen Preis von konventionellem Otto-Kraftstoff von 2,50 € /l bewirkt;
- deutliche Erhöhung des Anteils von Biokraftstoffen durch eine Kombination von hohen und verlässlich überprüfbaren Nachhaltigkeitsstandards für Biomasse und einer auf Grundlage der umfassenden Biomassestrategie fortentwickelten **Biokraftstoffquote** (deren Höhe sich aus den Nachhaltigkeitsstandards und insbesondere den spezifischen Treibhausgasminderungen ergibt) bis 2030;
- Einführung eines **Tempolimits** von 120 km/h auf Autobahnen.

Endenergieverbrauch

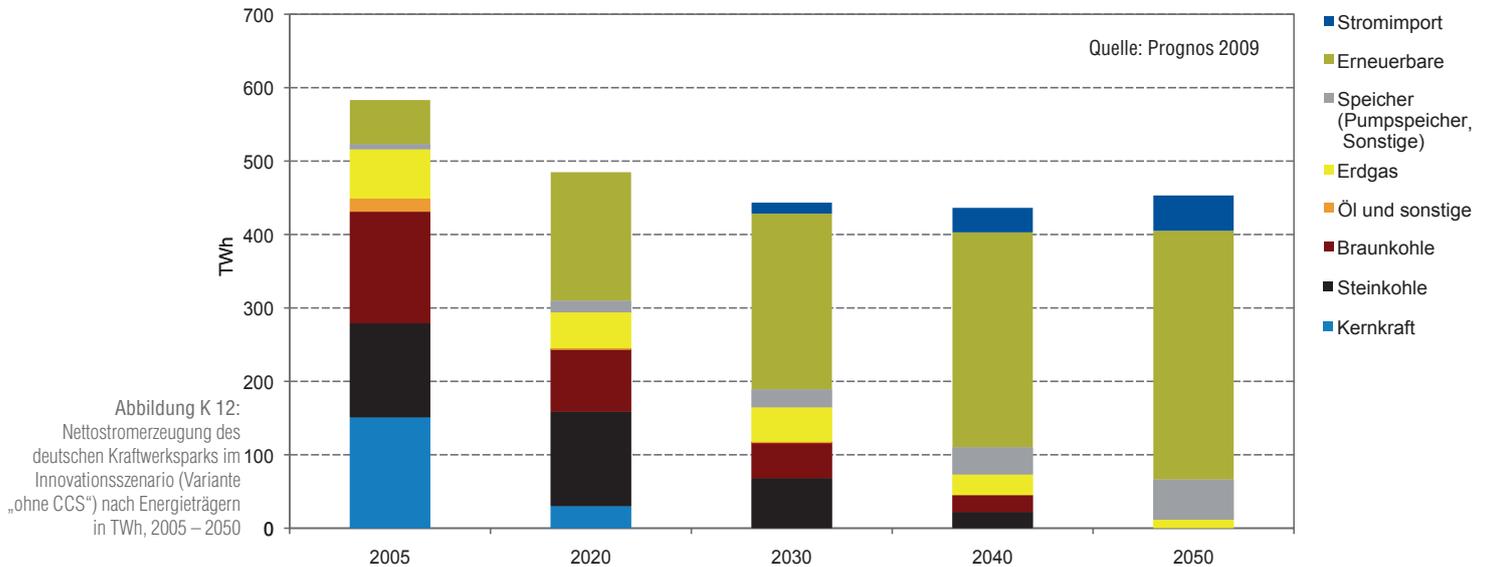


Die **CO₂-Emissionen** aus der direkten energiebezogenen Verbrennung fossiler Energieträger reduzieren sich im Innovationsszenario von 2005 bis 2050 von 459,4 auf 77,7 Mio. t und somit um 85 %.

- Der **Endenergiebedarf** insgesamt sinkt zwischen 2005 und 2050 um knapp 59 %.
- Hierzu tragen alle **Sektoren** mit erheblichen **Verbrauchseinsparungen** bei. In den Sektoren private Haushalte (-76 %) und Dienstleistungen (-67 %) werden die größten Einsparungen realisiert, da die Raumwärme (im Basisjahr 2005) hier den Verbrauch dominiert und dieser durch Energieeffizienzmaßnahmen praktisch vollständig eingespart werden kann. Im Sektor Industrie werden 53 % eingespart. Gegenüber dem Referenzszenario (Einsparung 2005 bis 2050: 21 %) werden durch Innovationen und Branchenverschiebungen erhebliche zusätzliche Verbrauchsabsenkungen erreicht. Im Verkehrssektor liegt der Verbrauch 2050 um 41 % unter dem Ausgangsniveau.
- **Mineralölprodukte** werden im Jahr 2050 vor allem im Luftverkehr und in der Binnenschifffahrt eingesetzt und zu einem sehr geringen Teil zur Erzeugung von Prozesswärme in der Industrie. Am Gesamtenergiemix haben sie noch einen Anteil von knapp 10 %. Im motorisierten Personen- und Güterverkehr werden sie systematisch durch hocheffizient erzeugte Biokraftstoffe der zweiten und dritten Generation abgelöst.
- **Erdgas** wird in 2050 vor allem zur Prozesswärmeerzeugung in Industrie- und Dienstleistungsbetrieben, in geringem Maße in innovativen Technologien zur gekoppelten Erzeugung von Wärme und Strom, von Wärme und Kälte sowie in PKW eingesetzt. Der Erdgasanteil im Energiemix liegt 2050 bei 20 %.
- **Strom** wird in allen Sektoren für zusätzliche Zwecke und Anwendungen genutzt sowie im Verkehrssektor für Personenkraftwagen eingeführt. Die konsequente Umsetzung von Effizienztechnologien sowie Technologieverschiebungen führen trotz dieser Nutzungsausweitung insgesamt zu einem Rückgang des Stromverbrauchs im Betrachtungszeitraum um 37 %. Der Anteil am Endenergiemix steigt von 20 % auf 30 %.
- Die Nutzung **erneuerbarer Energien** (Solarwärme, Umgebungswärme, Biokraftstoffe) verdreifacht sich im Betrachtungszeitraum. Ihr Anteil am Mix steigt aufgrund sinkender Nachfrage von 4,3 % auf 36,6 %. Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Maßnahmen im „Modell Deutschland“ erreicht der Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Endenergieverbrauch (in einer gewissen Bandbreite – je nach unterstellter Komplementärentwicklung im Bereich der Verkehrsvermeidung, zusätzlicher Elektromobilität bzw. zusätzlicher Fahrzeugeffizienz) ein Niveau von etwa 30 % im Jahr 2030, rund 40 % im Jahr 2040 bzw. etwa 50 % im Jahr 2050.

Stromerzeugung

Ohne CCS



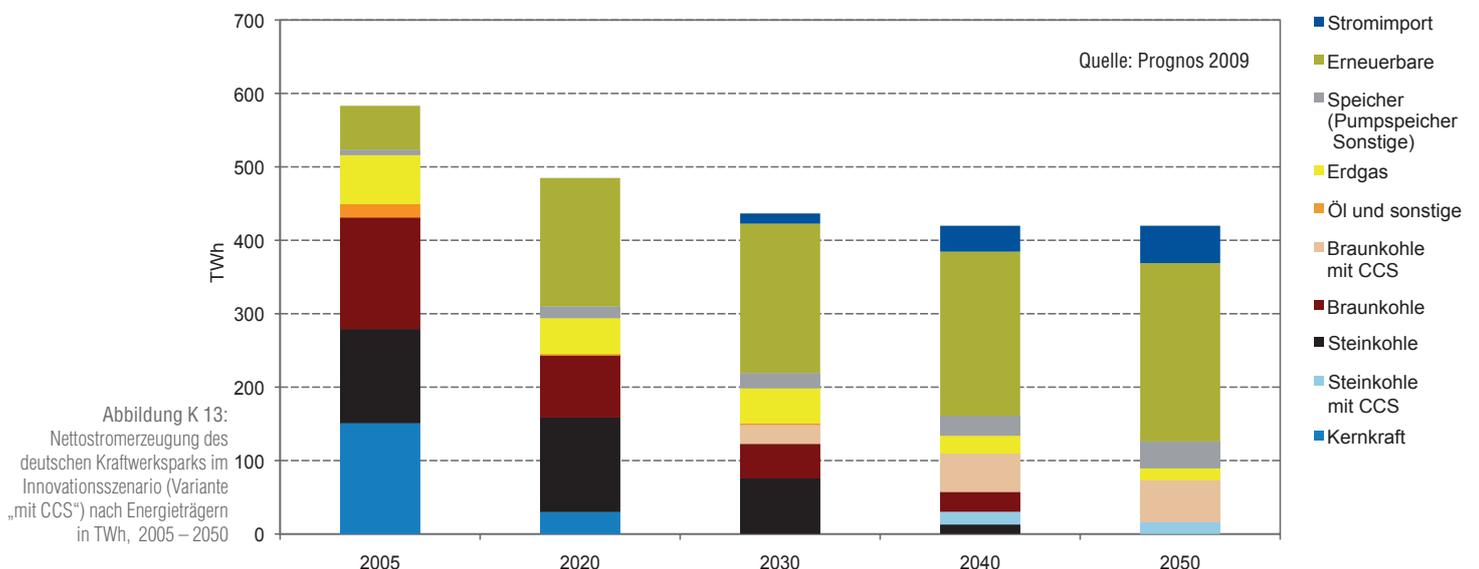
Die **CO₂-Emissionen** aus der Stromerzeugung sinken zwischen 2005 und 2050 von 323 auf 14 Mio. t und somit um 96 %.

Die insgesamt **sinkende Stromnachfrage** (vgl. Abschnitt „Endenergieverbrauch“) ist eine Voraussetzung für die fortschreitende Dekarbonisierung der Stromerzeugung.

Mit einem Anteil von 84 % (339 TWh) decken die **erneuerbaren Energien** im Jahr 2050 den weitaus größten Teil der Stromerzeugung ab. Da ein hoher Anteil davon (237 TWh) durch unregelmäßig anfallende Windenergie und Photovoltaik bereit gestellt wird, sind erhebliche Kapazitäten an Zwischenspeichern und Regenergie notwendig. Hierzu bedarf es einiger Gaskraftwerke und des massiven Ausbaus von Speichern. Die infrastrukturellen Voraussetzungen dafür sind die Bereitstellung von Netzkapazitäten zur Integration und zum Transport der Leistungen der Offshore-Windenergiekapazitäten (38 GW) sowie in Echtzeit reaktionsfähige Netze zur Integration der dezentralen Einspeisung (29 GW Photovoltaik, 34 GW Wind Onshore) sowie zur Einbindung und Regelung der Speicher.

Die **Importbilanz** (Strom aus erneuerbaren Energien) beträgt maximal 48 TWh im Jahr 2050 und liegt somit unterhalb der in der Leitstudie 2008 als möglich eingeschätzten Menge. Grundsätzlich werden in allen Szenarien Importe nicht ausgeschlossen.

Stromerzeugung mit CCS





In der Variante „mit CCS“ sinken die **CO₂-Emissionen** von 323 auf 23 Mio. t und somit um 93 %.

In dieser Variante wird die großtechnische Verfügbarkeit und **Umsetzung der CCS-Technologie** ab 2025 unterstellt. Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien nicht schnell genug erfolgt. In diesem Fall können weiterhin neue, mit CCS-Technologie ausgestattete fossile Kraftwerke gebaut werden.

In der Variante „mit CCS“ wird unterstellt, dass diese Technologie ab 2025 serienmäßig zunächst in neuen Braunkohlekraftwerken und ab 2035 auch in neuen Steinkohlekraftwerken eingesetzt wird und dass die **Speicherung des CO₂** nachhaltig und sicher ist. Ab 2025 werden keine neuen Kohlekraftwerke ohne CCS-Technologie mehr gebaut. Die „alten“ Kohlekraftwerke ohne CCS gehen bis 2046 aus Alters- und Wirtschaftlichkeitsgründen aus dem Mix.

Im Jahr 2050 sind keine **Kohlekraftwerke** ohne CCS mehr im Mix, aber noch 3 GW Steinkohlekapazitäten und 10 GW Braunkohlekapazitäten mit CCS-Technologie.

Zur Produktion von Spitzenenergie stehen noch ca. 17 GW **Gaskraftwerke** zur Verfügung.

Die Strommenge aus **erneuerbaren Quellen** ist gegenüber der Variante „ohne CCS“ verringert und macht 2050 mit 243 TWh etwa 66 % der insgesamt erzeugten Nettostrommenge aus. Außerdem existieren konventionelle Grundlastkraftwerke. Daher ist der **Speicherbedarf** geringer als in der Variante „ohne CCS“, er muss gegenüber 2005 dennoch um das Fünffache steigen. Die Anforderungen an den Aus- und Umbau der infrastrukturellen Voraussetzungen (Übertragungsnetze, Smart Grids) entsprechen denjenigen in der Variante „ohne CCS“ und folgen dem etwas langsameren Ausbau der erneuerbaren Energien.

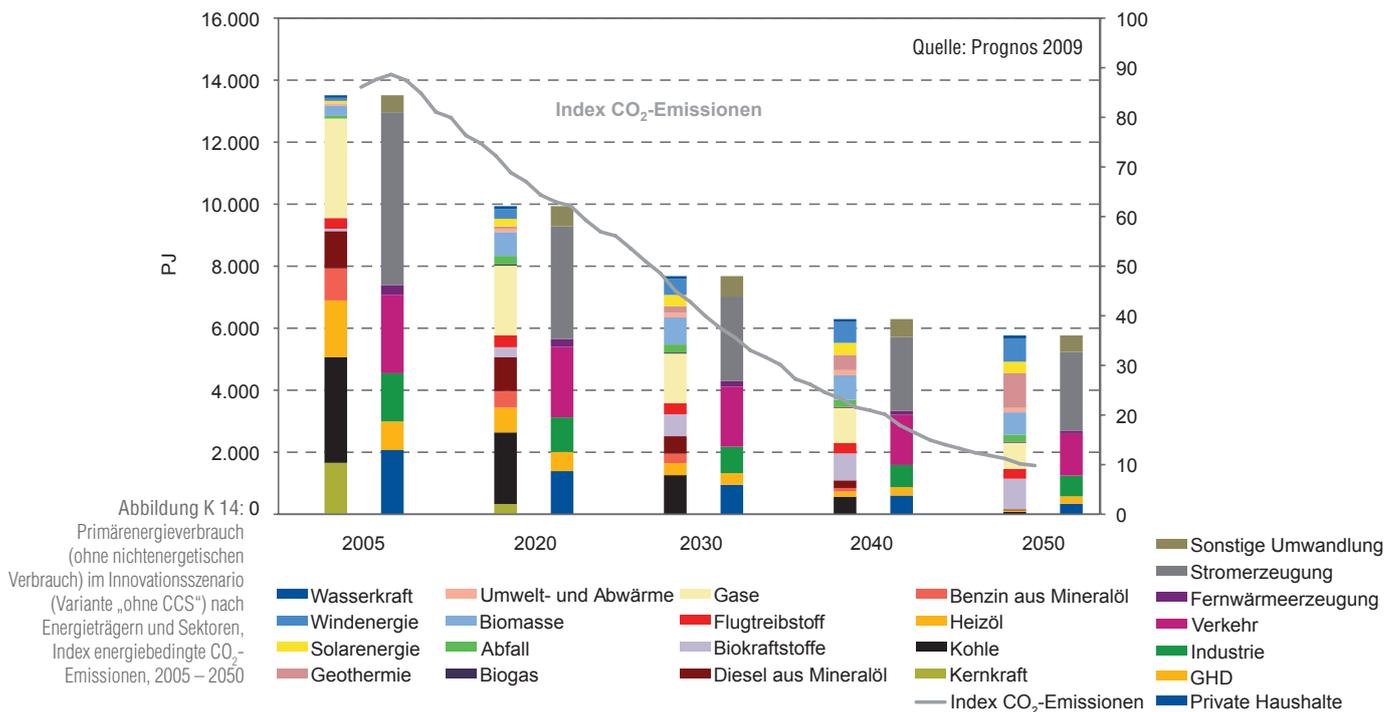
Um „**Modell Deutschland**“ im Stromsektor zu erreichen, müssen folgende **strategische Leitplanken** gesetzt werden:

- Die **Stromnachfrage** (einschließlich der neuen Anwendungsbereiche wie Elektromobilität) sollte bis 2030 um etwa 25 % zurückgeführt und danach bis zum Jahr 2050 um weitere 10 Prozentpunkte abgesenkt werden.
- Für den Anteil der **erneuerbaren Energien** am Stromaufkommen bis 2030 sollte ein Wert von 60 % und bis zum Jahr 2050 von 95 % angestrebt werden.
- Die verbleibenden Kapazitäten **fossiler Stromerzeugung** sollten spätestens ab 2040 nur noch betrieben werden können, wenn sie mit **CCS** ausgerüstet sind.
- Zum Ausgleich der massiv steigenden Beiträge fluktuierender Stromerzeugung sollten die Kapazität der existierenden **Speicher** (bisher v.a. Pumpspeicherkraftwerke) bis 2030 verdoppelt und bis zum Jahr 2050 um den Faktor 4 ausgeweitet werden.

Um die Ziele zu erreichen, wird das folgende **Instrumentenpaket** vorgeschlagen:

- Einführung eines **Moratoriums** für **Kohlekraftwerke ohne CCS**;
- **Weiterentwicklung des EEG** (Erhaltung des Einspeisevorrangs, innovationsorientierte Kostendegression, Förderung der Biomasseverstromung nur noch in Kraft-Wärme-Kopplung);
- Schaffung **zusätzlicher Marktanreize** (Marktmodelle) für die Bereitstellung von **Leistung** und **Regelenergie** für die verschiedenen (Groß- und Klein-) Verbrauchergruppen;
- Erarbeitung eines langfristigen **Stromspeicher-Ausbauprogramms**, das mittel- und langfristig die ebenfalls notwendige stärkere Verknüpfung des deutschen Stromsystems mit den Nachbarstaaten und -regionen ergänzen kann.

Primärenergieverbrauch



Die direkten energiebezogenen **CO₂-Emissionen** werden in der Variante „ohne CCS“ des Innovationsszenarios zwischen 2005 und 2050 um 757 Mio. t oder 89 % reduziert, in der Variante „mit CCS“ um 748 Mio. t oder 88 %.

Der **Primärenergieverbrauch** (ohne nichtenergetischen Verbrauch) wird von 2005 bis 2050 um 57 % von 13.546 PJ auf 5.766 PJ reduziert. Die konventionellen Energieträger erfahren dabei einen Verbrauchsrückgang von 85 %, während sich die Nutzung Erneuerbarer insgesamt nahezu um einen Faktor 6 erhöht. Kernkraft und Kohle kommen in der Stromerzeugung (in der Variante „ohne CCS“) nicht mehr vor, Kohle wird noch in geringem Maße in der Metallherzeugung eingesetzt.

Mineralölprodukte werden im Innovationsszenario nur noch als Flugtreibstoffe sowie in Restmengen für die Produktion von Prozesswärme eingesetzt; ihr Verbrauch reduziert sich um 91 %. Erdgas und sonstige Gase sind die einzigen fossilen Energieträger, die noch eine gewisse Rolle im Mix spielen. Mit ihnen wird in den Sektoren Dienstleistungen und Industrie Prozesswärme erzeugt. Außerdem werden Gase zur Erzeugung von Spitzen- und Regelenergie eingesetzt und in geringem Umfang zur Produktion von KWK-Strom (begleitet von Nieder temperaturwärme) genutzt.

In der **Stromerzeugung** wird der Primärenergieeinsatz um 49 % reduziert. Dazu tragen die erneuerbaren Energien mit ihren definitionsgemäß höchsten Wirkungsgraden erheblich bei. Der um 74 % rückläufige Energieeinsatz zur **Fernwärmeerzeugung** ist hauptsächlich eine Folge der abnehmenden Nachfrage. Im sonstigen Umwandlungsbereich gehen aufgrund des verringerten Einsatzes von Mineralölprodukten die damit verbundenen Umwandlungseinsätze zurück. Im Gegenzug erfordert die ausgeweitete Produktion von Biogas und Biokraftstoffen den vermehrten **Einsatz von Biomasse**. In der Summe verändert sich der Energieträgereinsatz in der sonstigen Umwandlung nur wenig (-3 %). Die Substitution von Kraftstoffen auf fossiler Basis durch Biokraftstoffe sowie der (geringe) Einsatz von Biomasse und Biogas in der Strom- und Wärmeerzeugung führen dazu, dass primärenergetisch insgesamt rund 1.700 PJ Biomasse eingesetzt werden. Diese Menge übersteigt das in der Bundesrepublik strikt nachhaltig zu erzeugende Potenzial. Als Voraussetzung für die Nutzung aus der Region Europa oder von globalen Märkten importierter Biomasse müssen bindende Regelungen und gesetzliche Standards zur Sicherung der ökologischen und sozialen Verträglichkeit geschaffen und durchgesetzt werden. Unter Berücksichtigung der zusätzlichen Maßnahmen im „Modell Deutschland“ erreicht der **Anteil erneuerbarer Energien** am gesamten Primärenergieverbrauch ein Niveau von rund 43 % im Jahr 2030, etwa 65 % im Jahr 2040 bzw. etwa 85 % im Jahr 2050.

Kosten und Einsparungen

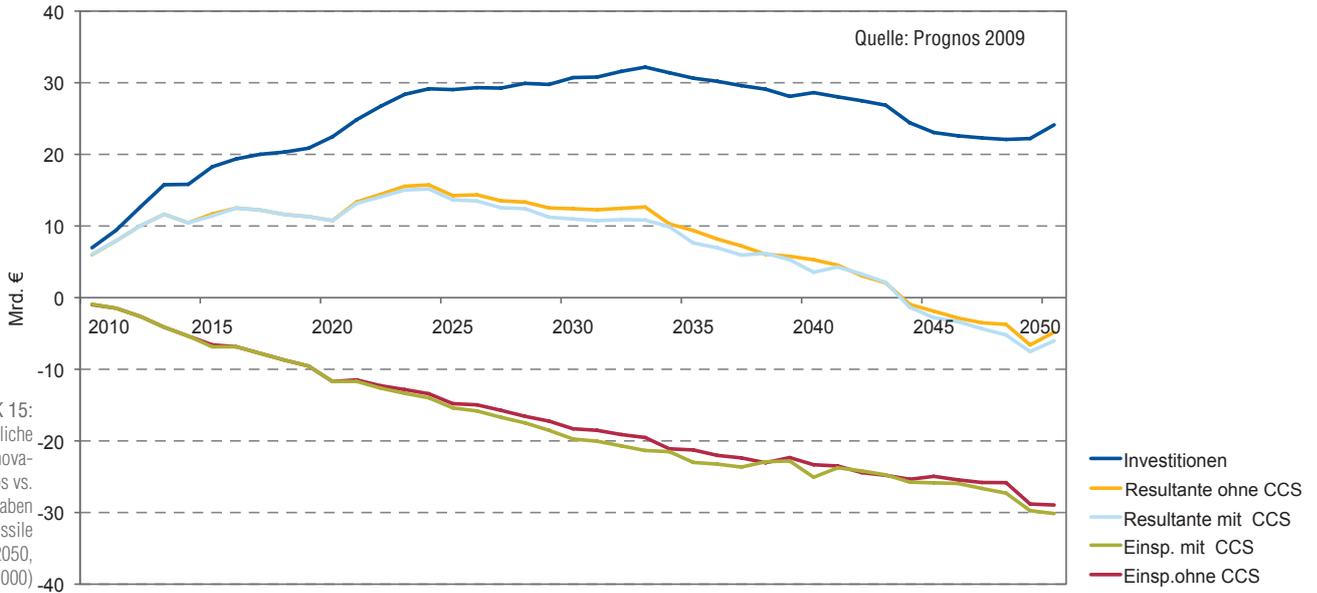


Abbildung K 15: Volkswirtschaftliche Mehrkosten des Innovationsszenarios vs. eingesparte Ausgaben für importierte fossile Energieträger 2010 – 2050, in Mrd. € (real, 2000)

Das Innovationsszenario beinhaltet Investitionen und strategische Entscheidungen, die zu **Mehrkosten** gegenüber dem Referenzszenario mit einer Fortschreibung bekannter Energiepolitik führen. Im Gegenzug werden vor allem durch die verringerte Nutzung fossiler Energieträger **volkswirtschaftliche Einsparungen** erzielt. Insgesamt zeigt sich, dass die integrierten Kosten mit maximal 0,6 % des BIP vergleichsweise niedrig und wirtschaftsverträglich sind.

Mehrinvestitionen und damit **Mehrkosten** entstehen durch

- die verstärkten Sanierungen im Gebäudebestand und die insgesamt sehr anspruchsvollen energetischen Gebäudestandards, vor allem im Sektor private Haushalte;
- die Einführung von Elektromobilität im PKW-Bereich samt Infrastruktur sowie durch die Verbesserung der Güterverkehrslogistik samt Umschlagszentren;
- die Umstellung der Prozesse im Industrie- und Dienstleistungssektor sowie die Technologieentwicklung;
- die Umstellung des Kraftwerksparks auf erneuerbare Energien, den Ausbau der Speicherkapazitäten und die Einführung der CCS-Technologie.



Abbildung K 16: Elemente der volkswirtschaftlichen Mehrkosten des Innovationsszenarios 2010 – 2050, in Mrd. € (real, 2000)

Gegengerechnet werden die eingesparten Ausgaben für **importierte fossile Energieträger**, bewertet zu Grenzübergangspreisen.

Unter der Annahme, dass ab 2010 eine gezielte Investitionstätigkeit beginnt, steigen die **jährlichen Mehrkosten** von ca. 6 Mrd. € im Jahr 2010 auf maximal gut 32 Mrd. € im Jahr 2033; danach sinken sie langsam auf ca. 22 Mrd. € pro Jahr.

Die **jährlichen Einsparungen** durch die geringere Nutzung fossiler Energieträger wachsen aufgrund der Einsparinvestitionen und der steigenden Energiepreise stetig bis auf 29 Mrd. € pro Jahr, in der Variante „mit CCS“ auf ca. 30 Mrd. €.

Ab dem Jahr 2044 überwiegen die Einsparungen die Investitionen. Die **Nettoeinsparung** steigt bis auf 6,6 Mrd. € pro Jahr.

Im Jahr 2024 resultieren daraus **maximale gesamtwirtschaftliche Nettokosten** in Höhe von knapp 16 Mrd. € (ca. **0,6 % des BIP**), danach verringert sich die Belastung.

Aufsummiert über den **gesamten Betrachtungszeitraum** (und mit einem volkswirtschaftlichen Zinssatz von 1,5 % abdiskontiert) ergibt sich eine Belastung in Höhe von ca. **0,3 % des BIP**.

Energiebedingte Treibhausgasemissionen

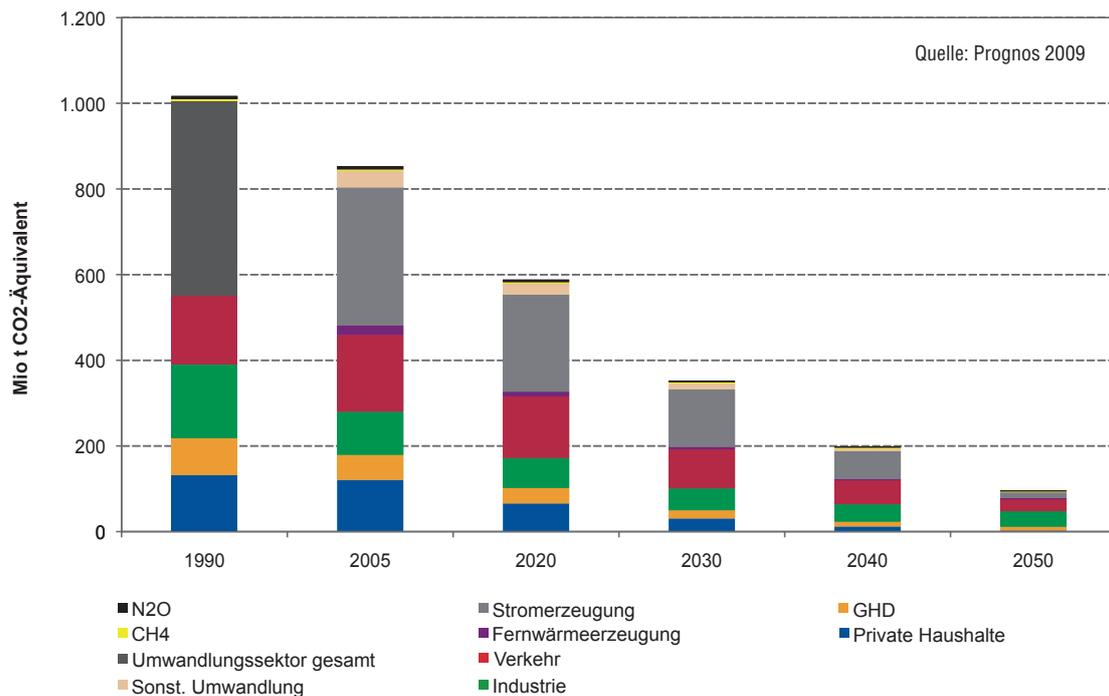


Abbildung K 17: Energiebedingte Treibhausgasemissionen im Innovationsszenario (Variante „ohne CCS“) in Mio. t CO₂-Äquivalenten, 1990–2050



Die **energiebedingten Treibhausgasemissionen** liegen 2050 (in der Variante „ohne CCS“) bei 96,6 Mio. t CO₂-Äquivalenten und damit um 91 % niedriger als 1990. Hierzu tragen alle Sektoren bei, wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß (da ein konsistenter Vergleich der Emissionen zu 1990 nicht möglich ist, werden die Minderungsraten hier gegenüber 2005 ausgewiesen).

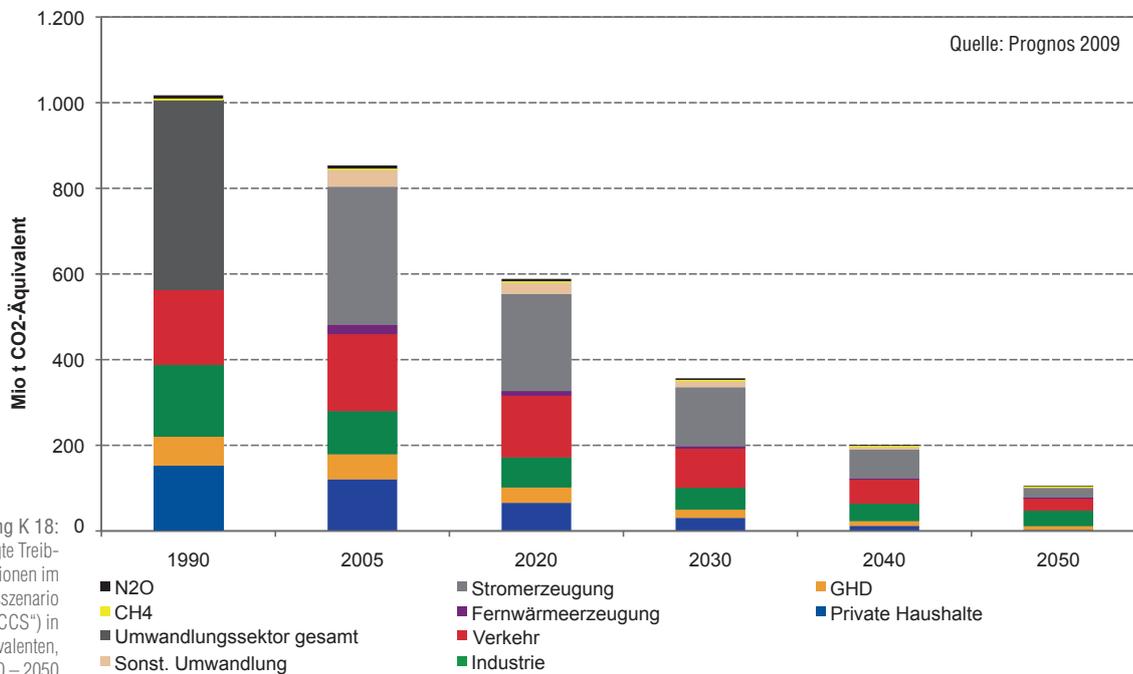
Den relativ stärksten Beitrag leisten die **privaten Haushalte**, hier reduzieren sich die Emissionen im Zeitraum 2005 bis 2050 um 98 %. Der Heizenergiebedarf für die Raumwärme wird praktisch auf Null reduziert.

Der Sektor **Dienstleistungen** kann aufgrund des hohen Raumwärmeanteils und des hohen Stromanteils seine direkten Emissionen ebenfalls sehr stark reduzieren (um ca. 85 %).

Die Sektoren **Verkehr** und **Industrie** reduzieren ihre Emissionen zwar ebenfalls erheblich (Industrie 64 %, Verkehr 83 %), emittieren jedoch 2050 aufgrund des Einsatzes fossiler Brennstoffe zur Prozesswärmeerzeugung (auch Reduktion im Metallurgiebereich) sowie fossiler Flug- und Schiffs-kraftstoffe noch Treibhausgase.

Aufgrund des hohen Anteils an erneuerbaren Energien in der **Stromerzeugung** verringern sich die Emissionen bis 2050 hier um 98 % auf 14 Mio. t. Die Emissionen aus dem sonstigen Umwandlungssektor werden vor allem aufgrund der rückläufigen **Fernwärmeerzeugung** sowie der stark reduzierten Herstellung von Mineralölprodukten auf rund 3 Mio. t verringert.

Die **sonstigen energiebedingten Treibhausgasemissionen** (N₂O und CH₄), die hauptsächlich mit dem Transport und der Verbrennung fossiler Bren- und Kraftstoffe zusammenhängen, gehen von 2005 bis 2050 um 81 % auf knapp 2 Mio. t CO₂-Äquivalente zurück.



Mit der **Option CCS** werden die **energiebedingten Treibhausgasemissionen** zwischen 1990 und 2050 um 88 % auf 106 Mio. t CO₂-Äquivalente verringert. Im Vergleich zur Option ohne CCS verändert sich die Struktur der Stromerzeugung. Die CO₂-Emissionen der fossilen Kraftwerke werden um 93 % reduziert, verschwinden jedoch nicht vollständig. Es werden noch 23 Mio. t CO₂-Äquivalente aus Erdgaskraftwerken beziehungsweise mit CCS-Technologie ausgerüsteten Stein- und Braunkohlekraftwerken emittiert.

Sonstige Treibhausgasemissionen anderer Sektoren

Neben den verbrennungsbedingten CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen tragen eine Reihe anderer Sektoren zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei.

Hierbei handelt es sich um

- die flüchtigen Treibhausgasemissionen des Energiesektors,
- die CO₂-Emissionen aus Industrieprozessen,
- die CH₄-Emissionen aus Industrieprozessen,
- die N₂O-Emissionen aus Industrieprozessen,
- die Emissionen der fluorierten Treibhausgase,
- die Treibhausgasemissionen aus der Abfallwirtschaft,
- die Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft,
- die CH₄-Emissionen aus der Landwirtschaft,
- die N₂O-Emissionen aus den landwirtschaftlichen Böden,
- die Treibhausgasemissionen aus Landnutzung und Forstwirtschaft (LULUCF – land use, land use change and forestry).

Insgesamt nehmen diese Emissionen durch eine Vielzahl sehr heterogener sektorspezifischer Maßnahmen im Innovationsszenario von 2005 bis 2050 von 188 Mio. t auf 60 Mio. t CO₂-Äquivalente ab. Dies entspricht einer Minderung von 68 % im Vergleich zu 2005 und von 67 % gegenüber 1990.

Um „**Modell Deutschland**“ in den nicht-Energiesektoren zu erreichen, müssen folgende **strategische Leitplanken** gesetzt werden:

- In der **Landwirtschaft** sollten die Treibhausgasemissionen von 2005 bis 2030 um 30 % und bis 2050 um 40 % reduziert werden.
- Im Bereich der Emissionen aus **Landnutzung, Landnutzungsänderungen und der Forstwirtschaft** sollte die CO₂-Freisetzung von 2005 bis 2050 um 70 % vermindert werden.

Ähnliches gilt für die **Instrumentenpakete**. Als wichtigste sektorspezifische Instrumente sollen hier genannt werden:

- Instrumente im Bereich der **Industrie**:
 - Komplette verbindliche Einführung von CCS für die prozessbedingten Emissionen im Bereich der Stahl-, Zement- und Kalkindustrie, soweit eine solche Maßnahme nicht bereits über das CO₂-Preissignal des Emissionshandels umgesetzt wird;
 - Initiierung eines Maßnahmenpakets zur Minderung der fluorierten THG; bestehend aus ordnungsrechtlichen Vorgaben wie einem Verbot des Einsatzes von F-Gasen als Kältemittel ab 2015 und einer von dem Treibhausgaspotenzial abhängigen Steuer für den Einsatz von F-Gasen.

• **Abfallwirtschaftliche Maßnahmen**

- Förderung von Abfallvermeidung und -verwertung sowie des sparsamen Materialeinsatzes für energieintensive Produkte;
- Fördermaßnahmen zur energetischen Verwertung, insbesondere Ausbau der Vergasungs- und Vergärungskapazitäten auf ca. zwei Drittel des anfallenden organischen Abfalls.

• **Landwirtschaftliche Maßnahmen**

- Erhöhung des Anteils des ökologischen Landbaus an der landwirtschaftlich genutzten Fläche auf 25 % bis spätestens 2030;
- Initiierung eines Maßnahmenpakets Düngermanagement, bestehend aus einer Abgabe auf Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft auf Betriebsebene, sowie Fördermaßnahmen für effizientere Düngertechnik; sowie zielgerichtete Fortbildung und Forschung für klimafreundlichere Anbaumethoden;
- Initiierung eines Maßnahmenpakets Klimaschutz und Gesundheit mit ordnungsrechtlicher Beschränkung des Viehbestandes je Fläche bzw. entsprechenden steuerlichen Anreizmaßnahmen sowie Durchführung einer Informations- und Motivationskampagne zur Reduzierung des Fleischkonsums;
- ordnungsrechtliche Regelung der gasdichten Lagerung von Gülle und Fördermaßnahmen zur Verstärkung der energetischen Verwertung von Gülle sowie von Ernterückständen in Biogasanlagen.

• **Maßnahmen im Bereich der Landnutzung**

- Förderung von Maßnahmen in der Forstwirtschaft, die auf eine nachhaltige Waldbewirtschaftung und den Erhalt, bzw. die Erhöhung der Senkenwirkung des deutschen Waldes (Einbindung von CO₂ in die Waldbiomasse) abzielen;
- Ordnungsrechtliche Beschränkung des Flächenverbrauches zur Umwandlung von unversiegelten Flächen in Wohn-, Verkehrs- und Siedlungsflächen;
- Initiierung eines Maßnahmenpaketes Flächentransformation, bestehend aus Fördermaßnahmen für die Renaturierung von Mooren und entwässerten Grünlandböden, der ordnungsrechtlichen Festlegung einer Alternativnutzung und der Umsetzung von Zielen der Biodiversitätsstrategie der Bundesregierung;
- Verschärfung der Regelungen zum Flächenschutz als Voraussetzung für die Zahlungen im Rahmen einer neuen EU-Agrarpolitik.

Eckpunkte eines

Integrierten Klimaschutz- und Energieprogramms 2030

In Ergänzung und Erweiterung der Maßnahmen im „Integrierten Energie- und Klimaprogramm“ der Bundesregierung aus dem Jahr 2008 kann ein „Integriertes Klimaschutz- und Energieprogramm 2030“ skizziert werden, das sich an den folgenden Eckpunkten orientieren sollte.

1. Rechtlicher Rahmen für langfristige Klimaschutzpolitik

- **verbindliche** Festlegung langfristiger **Ziele**;
- **Monitoringverfahren** auf Grundlage der strategischen Ziele;
- **Sanktions- und Anpassungsmechanismen** für den Fall von Zielverfehlungen.

2. Übergreifende Instrumente

- Weiterentwicklung des **EU-Emissionshandelssystems** mit einem Cap, das für 2020 um 35 % und für 2030 um 60 % unter dem Niveau von 2005 liegt und mit einer deutlich stärkeren Begrenzung der Emissionsminderungen, die außerhalb der vom Emissionshandels-system erfassten Sektoren erbracht und als Verpflichtungsnachweis angerechnet werden können;
- Einführung einer **CO₂-Steuer** für die nicht dem EU-Emissionshandels-system unterliegenden Energieträger für den stationären Einsatz.

3. Übergreifende Instrumente zur Erhöhung der Energieeffizienz

- Schaffung eines **flexiblen Mengensteuerungssystems** für Energieeinsparungen, in dem die Lieferanten von Energie auf Grundlage einer Positivliste für Energiesparprojekte (mit festgelegten Baseline-Methoden etc.) jedes Jahr mit frei handelbaren Einsparzertifikaten einen bestimmten Energiesparbeitrag nachweisen müssen, der sich als Prozentsatz ihres Absatzes bemisst (ab 2010 jährlich um einen Prozentpunkt steigend);
- Wiedereinführung der **steuerlichen Absetzbarkeit** von Energieeffizienzinvestitionen.

4. Innovations- und infrastrukturspezifische Maßnahmen

- Überarbeitung und Erweiterung der deutschen **Biomassestrategie**, die langfristige Priorisierungen und konkrete Schritte in den Bereichen Biokraftstoffe (einschließlich Spezifikation von Flugkraftstoffen auf Biomassebasis), Biomethan-Einspeisung und Biomasseverstromung beinhaltet;

- **Innovationsprogramm für Biokraftstoffe** der zweiten Generation mit dem Ziel, ab 2020 nur noch Biokraftstoffe mit dieser Qualität im Markt zu haben;
 - **Innovations- und Markteinführungsprogramm für elektrische PKW**, einschließlich effizienzorientierter Markteinführungsprämien;
 - **Innovationsprogramm** zur Entwicklung und Verbreitung intelligenter **Verteilungsnetze** mit intelligenten Laststeuerungsoptionen;
 - Schnellstmögliche Umsetzung der CCS-Pilot- und Demonstrationsvorhaben und ggf. Erarbeitung eines „**Deutschen CCS-Entwicklungsplans**“, in dem Lösungsbeiträge von CCS unter verschiedenen Rahmenbedingungen, die notwendige Infrastruktur, eine Untertage-Raumordnung zur Lösung von Nutzungskonkurrenzen im Untergrund sowie Nutzungs-Priorisierungen definiert werden;
 - Erarbeitung eines „**Deutschen Energie-Infrastruktur-Umbauprogramms**“, auf dessen Grundlage Investitionsanreize und -verpflichtungen für die Übertragungsnetze sowie der Ausbau der CO₂-Infrastruktur etabliert werden können, Umsetzung im Rahmen der Deutschen Netz AG;
 - **Verstärkte Forschungsförderung** mit Meilensteinen im Bereich der Energieeffizienzverbesserungen durch Weiterentwicklung und Anwendung der neuen Schlüsseltechnologien, z.B. bei Prozessen und Materialien. Gezielte Markteinführungsinitiativen, um diese Technologien in die breite Umsetzung und Optimierung zu bringen.
5. Die **sektorspezifischen Instrumentenbündel** wurden in den jeweiligen Sektorkapiteln beschrieben.

Schlussfolgerungen und Ausblick:

Veränderungen in der Energie- und Klimapolitik, Innovation und globale Rahmensetzungen

Mit einer – auch ambitionierten – Fortschreibung **heutiger Energie- und Klimapolitik**, einer Fortschreibung der heute üblicherweise eingesetzten Technologien sowie der heutigen 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 müssen ab sofort erhebliche Anstrengungen zur massiven **Erhöhung der Energieeffizienz** unternommen werden. Ohne eine Steigerung der Energieproduktivität von mindestens 2,6 % jährlich ist das Erreichen dieses Klimaschutzziels äußerst unwahrscheinlich.
- In allen Sektoren muss die verbleibende Energienachfrage nahezu vollständig mit **erneuerbaren Energien** abgedeckt 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.
- 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 müssen.
- 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.

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 des Strombedarfs** auf ein Niveau von 25 % bis 2030 und mehr als 35 % bis 2050 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 von 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 Verdoppelung 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 Abdeckung des verbleibenden Kraftstoffbedarfs im Personen-, Güter- und Luftverkehr auf 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 Abdeckung des verbleibenden **Prozesswärmebedarfs** in der Industrie durch nachhaltig erzeugtes **Biomethan**;
- Der frühzeitige Einsatz der **CCS-Technologie** bei der Umwandlung von Biomasse;
- **massive Emissionsminderungen** in der **Landwirtschaft** und bei der **Landnutzung**.



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

- Die vielfältigen Veränderungen auf der Energienachfrage und -angebotsseite erfordern eine **massive 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 und im europäischen Raum und der Forderung nach einem möglichst effizienten Einsatz auch an der Frage ausrichten, wo der Biomasseeinsatz 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 Innovationszenario 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 daher weitaus ambitioniertere Instrumente 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 der zur 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, wird eine vorrangige Aufgabe der Politik sein müssen.

Die Umsetzung der Emissionsreduktionen in ihrer ganzen Bandbreite erfordert neben politischen Rahmensetzungen auch eine Vielzahl neuer Akteure. Eine an ambitionierten Klimaschutzziele ausgerichtete Energie- und Klimapolitik 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.

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.

Verzeichnis der Abkürzungen, Akronyme und Symbole

BIP	Bruttoinlandprodukt	LKW	Lastkraftwagen
bzw.	beziehungsweise	LULUCF	Land use, land use change, forestry (Landnutzung, Landnutzungsänderungen, Forstwirtschaft)
ca.	circa	m ²	Quadratmeter
CCS	Carbon Dioxide Capture and Storage (CO ₂ -Abscheidung und Speicherung)	Mio.	Millionen
CH ₄	Methan	MIV	Motorisierter Individualverkehr
CO ₂	Kohlendioxid	Mrd.	Milliarde(n)
ct.	Cent	N ₂ O	Lachgas
d.h.	das heißt	NO _x	Stickoxide
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz	O ₂	Sauerstoff
etc.	et cetera	ÖPV	Öffentlicher Personenverkehr
F-Gase	fluorierte Treibhausgase	p.a.	pro anno
ggf.	gegebenenfalls	PJ	Petajoule
ggü.	gegenüber	PKW	Personenkraftwagen
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (Dienstleistungssektor)	t	Tonne
GV	Güterverkehr	THG	Treibhausgase
GW	Gigawatt	TWh	Terawattstunde
IT	Informationstechnologie	u.a.	unter anderem
J	Joule (Physikalische Einheit für Arbeit)	usw.	und so weiter
Kap.	Kapitel	UV-Licht	Ultraviolett-Licht
km	Kilometer	vs.	versus
kWh	Kilowattstunde	z.B.	zum Beispiel

Vorsatzzeichen

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

Energieeinheiten (Umrechnungsfaktoren)

von \ zu	J	TJ	kWh
J	1	1x10 ⁻¹²	0.2778x10 ⁻⁶
TJ	1x10 ¹²	1	0.2778x10 ⁶
kWh	3.6x10 ⁶	3.6x10 ⁻⁶	1
GWh	3.6x10 ¹²	3.6	1x10 ⁶

Abbildungsverzeichnis

- 4 **Abbildung K 1:** Treibhausgasemissionen nach Sektoren, 1990, 2005, und Ziel bis 2050, in Mio. t CO₂-Äquivalenten
- 5 **Abbildung K 2:** Referenzszenario: Emissionsreduktion nach Sektoren 1990 – 2050, in Mio. t CO₂-Äquivalenten
- 6 **Abbildung K 3:** Gesamte Treibhausgasemissionen 1990 – 2050
- 8 **Abbildung K 4:** Beiträge der verschiedenen Handlungsbereiche zur gesamten Treibhausgas-Emissionsentwicklung
- 12 **Abbildung K 5:** Rahmenentwicklung: Bruttoinlandsprodukt in Mrd. € und Bevölkerung in Mio. 2005 – 2050
- 14 **Abbildung K 6:** Endenergieverbrauch der privaten Haushalte im Innovationsszenario nach Energieträgern und Verwendungszwecken in PJ, Index direkte CO₂-Emissionen, 2005 – 2050
- 15 **Abbildung K 7:** Endenergieverbrauch des Dienstleistungssektors im Innovationsszenario nach Verwendungszwecken und Energieträgern in PJ, Index direkte CO₂-Emissionen, 2005 – 2050
- 16 **Abbildung K 8:** Endenergieverbrauch des Industriesektors im Innovationsszenario nach Verwendungszwecken und Energieträgern in PJ, Index direkte CO₂-Emissionen, 2005 – 2050
- 18 **Abbildung K 9:** Endenergieverbrauch des Personen- und des Güterverkehrs im Innovationsszenario nach Verkehrsträgern in PJ, 2005 – 2050
- 19 **Abbildung K 10:** Endenergieverbrauch des Personen- und des Güterverkehrs im Innovationsszenario nach Energieträgern in PJ, Index direkte CO₂-Emissionen, 2005 – 2050
- 20 **Abbildung K 11:** Gesamter Endenergieverbrauch im Innovationsszenario nach Energieträgern und Sektoren in PJ, Index direkte CO₂-Emissionen 2005 – 2050
- 21 **Abbildung K 12:** Nettostromerzeugung des deutschen Kraftwerksparks im Innovationsszenario (Variante „ohne CCS“) nach Energieträgern in TWh, 2005 – 2050
- 21 **Abbildung K 13:** Nettostromerzeugung des deutschen Kraftwerksparks im Innovationsszenario (Variante „mit CCS“) nach Energieträgern in TWh, 2005 – 2050
- 23 **Abbildung K 14:** Primärenergieverbrauch (ohne nichtenergetischen Verbrauch) im Innovationsszenario (Variante „ohne CCS“) nach Energieträgern und Sektoren, Index energiebedingte CO₂-Emissionen, 2005 – 2050
- 24 **Abbildung K 15:** Volkswirtschaftliche Mehrkosten des Innovationsszenarios vs. eingesparte Ausgaben für importierte fossile Energieträger 2010 – 2050, in Mrd. € (real, 2000)
- 24 **Abbildung K 16:** Elemente der volkswirtschaftlichen Mehrkosten des Innovationsszenarios 2010 - 2050, in Mrd. € (real, 2000)
- 25 **Abbildung K 17:** Energiebedingte Treibhausgasemissionen im Innovationsszenario (Variante „ohne CCS“) in Mio. t CO₂-Äquivalenten, 1990 – 2050
- 26 **Abbildung K 18:** Energiebedingte Treibhausgasemissionen im Innovationsszenario (Variante „mit CCS“) in Mio. t CO₂-Äquivalenten, 1990 – 2050

Erstellt von der Arbeitsgemeinschaft
Prognos AG / Öko-Institut / Dr. Hans-Joachim Ziesing
im Auftrag des WWF.

prognos

Prognos AG
Dr. Almut Kirchner (Projektleitung)
Dr. Michael Schlesinger
Dr. Bernd Weinmann
Peter Hofer
Vincent Rits
Marco Wunsch
Marcus Koepp
Lucas Kemper
Ute Zweers
Samuel Straßburg
Redaktionsassistentz: Andrea Ley



Dr. Felix Chr. Matthes (Projektleitung)
Julia Busche
Verena Graichen
Dr. Wiebke Zimmer
Hauke Hermann
Gerhard Penninger
Lennart Mohr

Dr. Hans-Joachim Ziesing



Impressum:

Herausgeber WWF Deutschland, Frankfurt a.M.
Stand: Oktober 2009
Koordination: Regine Günther, Viviane Raddatz



Der WWF Deutschland ist Teil des World Wide Fund For Nature (WWF) – einer der größten unabhängigen Naturschutzorganisationen der Welt. Das globale Netzwerk des WWF ist in fast 100 Ländern aktiv. Weltweit unterstützen uns rund fünf Millionen Förderer.

Der WWF will der weltweiten Naturzerstörung Einhalt gebieten und eine Zukunft gestalten, in der Mensch und Natur in Harmonie leben.

Deshalb müssen wir gemeinsam

- die biologische Vielfalt der Erde bewahren,
- erneuerbare Ressourcen naturverträglich nutzen und
- die Umweltverschmutzung verringern und verschwenderischen Konsum eindämmen.

WWF Deutschland

Reinhardtstraße 14
10117 Berlin
Tel.: 030 308742-0
Fax: 030 308742-50
E-Mail: info@wwf.de
www.wwf.de

Bank für Sozialwirtschaft
Konto 2000
BLZ 550 205 00