

5.3 Vergleichende Bewertung der Szenarien unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeitsindikatoren

(1480) Von den direkten Resultaten der Modellrechnungen –Energieverbrauch und Energiemix entsprechend den Vorgaben – können Aussagen über wichtige, im Ersten Bericht identifizierte ökologische Nachhaltigkeitsparameter wie Emissionen von Klimagasen und Schadstoffen oder anfallende radioaktive Abfälle abgeleitet werden. In diesem Abschnitt werden die Szenarien zunächst quantitativ, bezogen auf die verschiedenen Emissionen, verglichen und bewertet. Im Anschluss daran wird anhand von qualitativen Einschätzungen bewertet, inwieweit die einzelnen Zielszenarien in der Lage sind, auch Beiträge in den anderen ökologischen, sozialen und ökonomischen Dimensionen der Nachhaltigkeit zu leisten, deren Entwicklung im Rahmen der Energiesystemmodelle der Institute nicht berechnet werden konnte.

5.3.1 Emissionen und Abfälle

5.3.1.1 CO₂- und andere Treibhausgasemissionen

(1481) Zentrale Anforderung an die Szenarien ist, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 um 80 % gegenüber dem Niveau von 1990 zu senken. Diese Vorgabe war ein elementarer Bestandteil des im Einsetzungsbeschluss so spezifizierten Auftrags der Kommission.¹ Um dieses Ziel mit Zwischenzielen zu operationalisieren, hat die Kommission vorgegeben, dass in allen Szenarien bis zum Jahr 2010 die THG-Emissionen um 21 % reduziert werden sollen, wie es dem völkerrechtlich verbindlichen Beitrag Deutschlands im Rahmen der Kyoto-Verpflichtung für die erste Verpflichtungsperiode 2008-2012 entspricht.² Von diesem Zeitpunkt an sollen die THG-Emissionen annähernd linear weiter sinken, und zwar pro Jahrzehnt um etwa 15 % des Niveaus von 1990. Diese Vorgabe von Stichwerten in den Stützjahren der Simulation war für die Modellierung notwendig, auch wenn die eigentlich relevante Größe für das Ausmaß des Treibhauseffektes die Konzentration der Klimagase in der Atmosphäre, mithin die kumulierten Emissionen sind.

(1482) Wie die zusammenfassende Abbildung 5-32 für alle Treibhausgase zeigt, sind die ehrgeizigen Reduktionsziele der deutschen Klimapolitik mit allen gewählten Hauptstrategien und in allen Varianten gleichermaßen einzuhalten. Da sowohl die demographische als auch die wirtschaftliche Entwicklung bei allen Zielszenarien als identisch unterstellt wurden und die CO₂-Reduktionsziele

¹ Deutscher Bundestag (2000) BT-Drs. 14/2687.

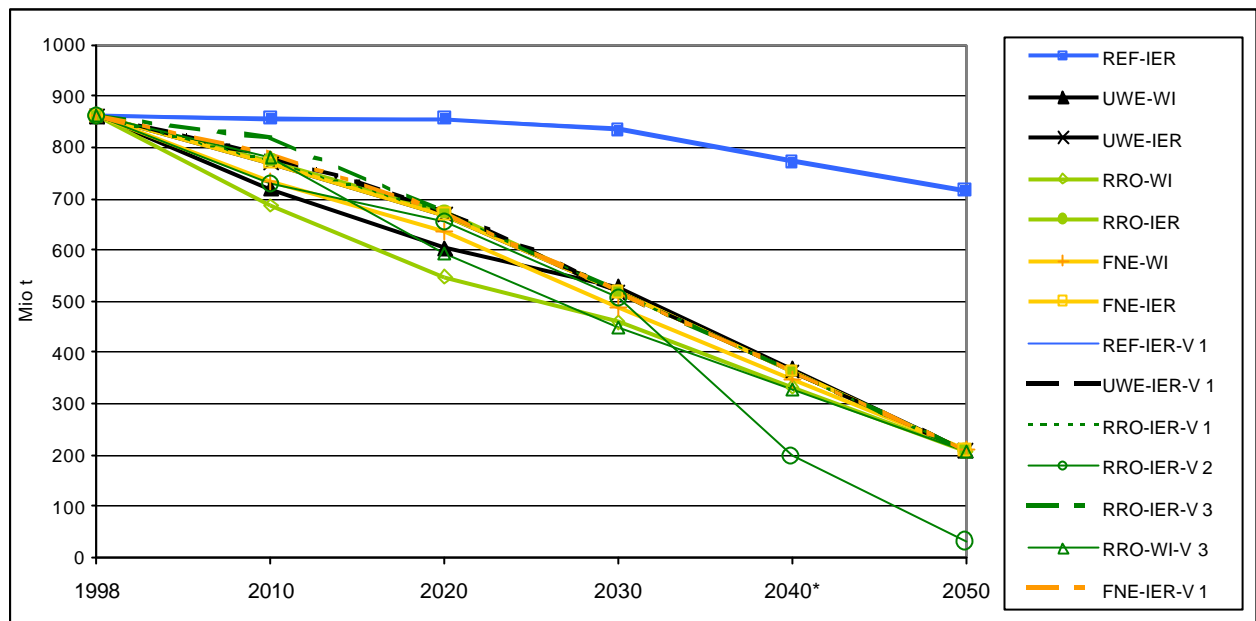
² Mit der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls durch die EU und Deutschland sind die Verpflichtungen des sogenannten Burden Sharings der EU unter dem Dach des Kyoto-Protokolls notifiziert worden und damit verbindlich.

Zielgrößen für die Szenarienmodellierung bilden, verlaufen die Zielszenarien sehr ähnlich. In den Simulationen des Wuppertal-Instituts wird an einigen Stellen nicht genau der angestrebte Zielwert erreicht, da der Modellierungsprozess iterativ strukturiert ist. Das gewählte Modellierungsverfahren des Wuppertal-Instituts ermöglicht, Entscheidungen, die sich mit Blick auf spätere Zeitpunkte aus infrastrukturellen oder gesamtsystemaren Gründen als wichtig bzw. zielführend erweisen, frühzeitig in den Simulationsverlauf einzubeziehen. Daher werden bei WI manche infrastrukturellen Weichenstellungen früher getroffen und bestimmte Technologiepfade früher eingeschlagen, was sich auch bei den Treibhausgasemissionen auswirken kann, so dass in den Szenarien „Umwandlungseffizienz“ und „Fossil-nuklearer Energiemix“ die Emissionslimits insbesondere im Jahr 2030 unterschritten werden. Die IER-Resultate reflektieren dagegen weitgehend eine auf die Emissionsvorgaben der jeweiligen Stützjahre bezogene Punktoptimierung.

(1483) Am Ende, im Jahr 2050, wird das Ziel der 80-prozentigen Emissionsreduktion bei beiden Verfahren stabil erreicht. Dies gilt ohne Einschränkung für die beiden Szenarien „REG/REN-Offensive“ und „Fossil-nuklearer Energiemix“, die dies durch eine strukturelle Umgestaltung der Energieversorgungs- und -verbrauchssektoren erreichen. Im Szenario „Umwandlungseffizienz“ verschafft die Möglichkeit CO₂ zu deponieren, genügend Spielräume, um die Limits sicher einzuhalten – freilich nur unter der Voraussetzung, dass genügend Speicherraum zur Verfügung steht.

(1484) Im Jahr 2010 werden sogar in allen Zielszenarien weniger Treibhausgase emittiert als durch die Vorgaben definiert. Verglichen mit dem Ausgangsjahr der Berechnungen 1998 verbleibt für das für 2010 angepeilte Reduktionsziel nur noch eine zusätzliche Reduktionsverpflichtung um 4 Prozentpunkte bezogen auf 1990.

Abbildung 5-32: Treibhausgasemissionen in allen Szenarien und Varianten in Millionen Tonnen CO₂-Äquivalent pro Jahr

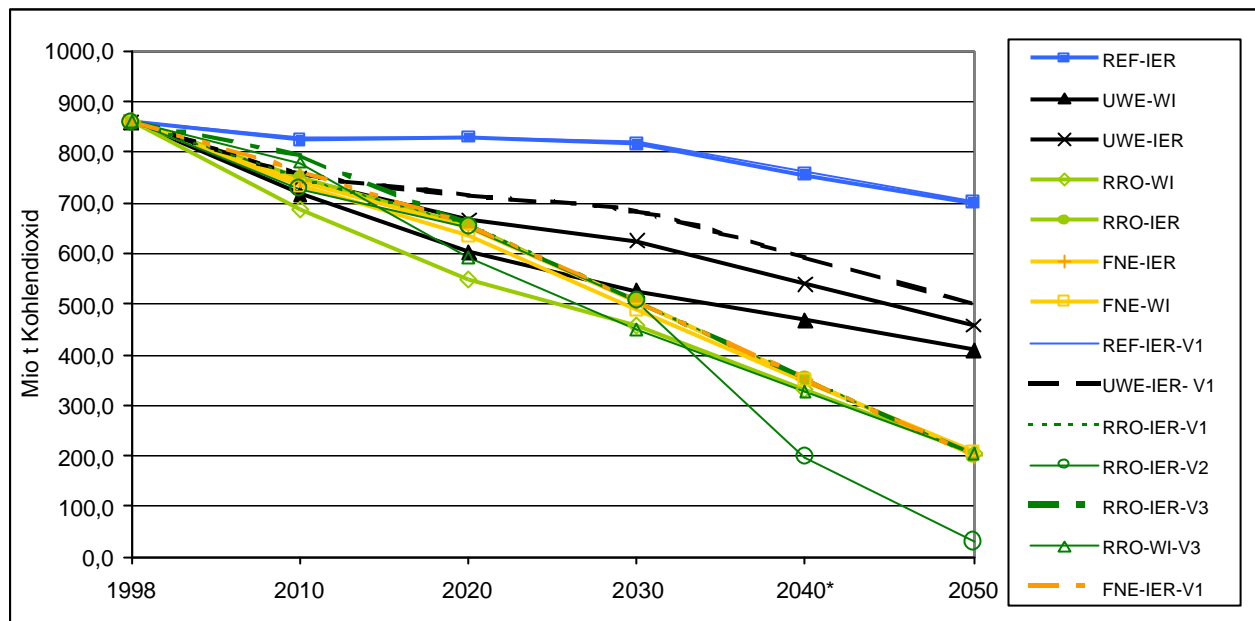


(1485) Ein Vergleich der Szenarien zeigt im weiteren zeitlichen Verlauf auch einige deutliche Unterschiede. Die klimafreundlichste Variante ist die vollständige Versorgung auf der Basis regenerativer Quellen („REG/REN-Offensive Variante 2“). Hier wird das Klimaschutzziel im Jahr 2050 weit unterboten. Der Energiesektor verursacht in dieser Variante überhaupt keine Treibhausgasemissionen mehr, nur noch in der nicht-energetischen Nutzung fossiler Brennstoffe und evtl. bei der Produktion von Biomasse entstehen klimaschädliche Gase. Aber auch diese ließen sich durch treibhausgasfreie Verfahren einsparen.

(1486) Besonders klimafreundlich ist es außerdem, emissionssparende Investitionen möglichst frühzeitig zu tätigen, da dadurch die eigentliche Zielgröße des Klimaschutzes, der kumulierte Ausstoß von klimaschädlichen Gasen, minimiert wird.

(1487) Abbildung 5-33 stellt die CO₂-Emissionen aus den verschiedenen Szenarien- und Variantenrechnungen zusammen. Da der größte Teil der Treibhausgasemissionen, insbesondere im Energiesektor, in der Form von CO₂ ausgestoßen wird, und die Emissionsreduktionsziele für die Szenarien limitierende Randbedingungen darstellen, verlaufen die Zielszenarien hier sehr ähnlich den Treibhausgasen insgesamt.

Abbildung 5-33: Aufkommen an energiebedingtem Kohlendioxid in allen Szenarien und Varianten in Millionen Tonnen pro Jahr



(1488) Die Varianten mit dem alternativen Kostendatensatz erreichen tendenziell höhere CO₂-Emissionen als die Hauptszenarien. In den Szenarien "REG/REN-Offensive" und "Fossil-nuklearer Energiemix" werden die Klimaziele durch Substitution der Kohle und später auch der Gaskapazitäten durch CO₂-freie Technologien erreicht. Im Szenario "Umwandlungseffizienz" verschafft erst die Deponierung von Kohlendioxid ausreichende Spielräume, um auch hier die Limits einzuhalten. Dafür muss gewährleistet sein, dass genügend Speicherraum vorhanden ist. Die Mengen, in denen dies notwendig ist, sind aus Tabelle 5-19 ersichtlich. Im Modell des IER wird mit der CO₂-Abspaltung und Einlagerung begonnen, sobald diese kostengünstiger ist als andere technische Substitutions- oder Effizienzmaßnahmen, was bereits im Jahr 2020 der Fall ist. In der Simulation des WI erfolgt dieser Schritt erst später; mit der Folge, dass in 2030 das Klimaziel um knapp 2 % verfehlt wird. Der frühzeitige Einstieg in die CO₂-Entsorgungsinfrastruktur, um das Minderungsziel im Jahr 2030 sicher zu erreichen, hätte hier vorübergehend Maßnahmen notwendig gemacht, die bei späterem Einstieg nicht mehr zwingend benötigt werden. Ein Vorziehen der Maßnahmen zur CO₂-Entsorgung, um das Reduktionsziel im Jahr 2030 genau zu erreichen, hätte Mehrkosten von kumuliert 26,8 Mrd. Euro ergeben. CO₂-Speicherung kommt hier folglich aus Kostengründen erst zum Einsatz, wenn parallel eine Pipeline-Infrastruktur zur Entsorgung und genügend Nachfrage nach dem Koprodukt Wasserstoff, z.B. im Verkehrssektor, geschaffen wurde. Insgesamt würden die zu deponierenden CO₂-Mengen die nach heutiger Einschätzung in Deutschland verfügbaren Speichervolumina um den Faktor 2 bis 3 überschreiten. Werden die Speichervolumina anderer europäischer Staaten mit in Anspruch genommen, so werden über die Lebenszeit der jeweiligen Kraftwerke ca. 10 % der europäischen Lagerkapazitäten in Anspruch genommen (vgl. Kapitel 4.3.5). Die Problematik der regionalen Verteilung der Kraftwerke (z.B. der fossilen KWK-Anlagen), der regionalen Verteilung der La-

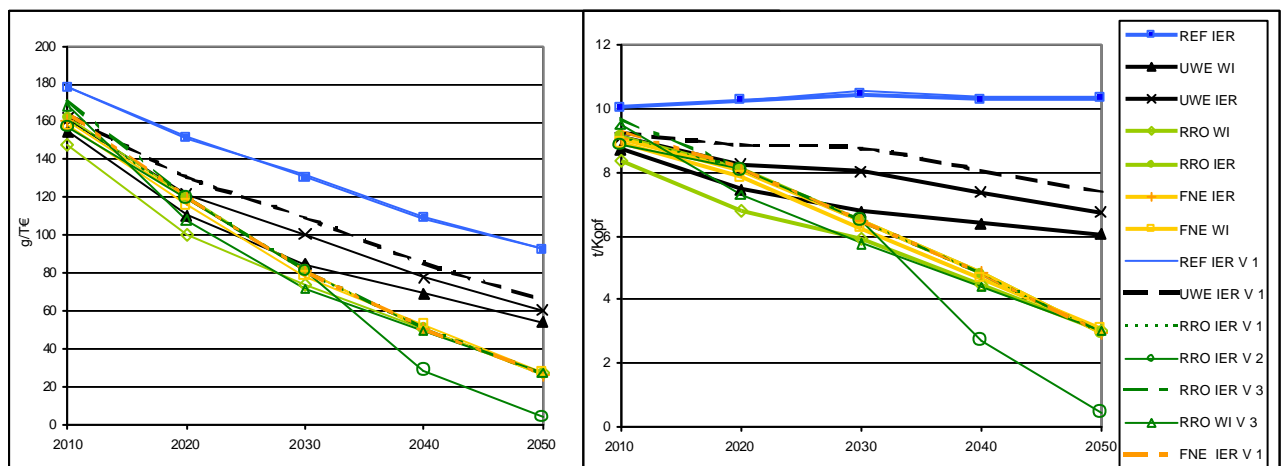
gerstätten und den damit entstehenden Implikationen für die Kosten der CO₂-Entsorgung durch große Transportentfernungen (vgl. Kapitel 4.3.5) konnte von den Modellen nicht adäquat abgebildet werden.

Tabelle 5-19: CO₂-Speicherung in den Szenarien „Umwandlungseffizienz“ und „Fossil-nuklearer Energiemix“ in Millionen t pro Jahr

	2010	2020	2030	2040	2050	kumuliert*
REF-IER	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
REF-IER-V1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
UWE-IER	0,0	9,4	121,4	189,4	259,9	4.502
UWE-WI	0,0	0,0	0,0	kA	202,0	2.020
UWE-IER-V1	0,0	58,6	179,0	241,5	304,7	6.315
FNE-IER	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
FNE-WI	0,0	0,0	0,0	kA	0,0	
FNE-IER-V1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
angenommenes Gesamtpotenzial in Europa						rd. 100.000
d.h. bei einer statischen Reichweite der europäischen Endlager von 40 Jahren						2.500 t pro Jahr
Gesamtpotenzial in Europa pro Kopf						2,14 kt/Kopf
angenommene Kosten der Entsorgung						30,68 €/t CO₂
<small>Ausgangsbasis in DM (Umrechnungsfaktor 1,95583) - kA = keine Angabe - * bei linearer Interpolation</small>						

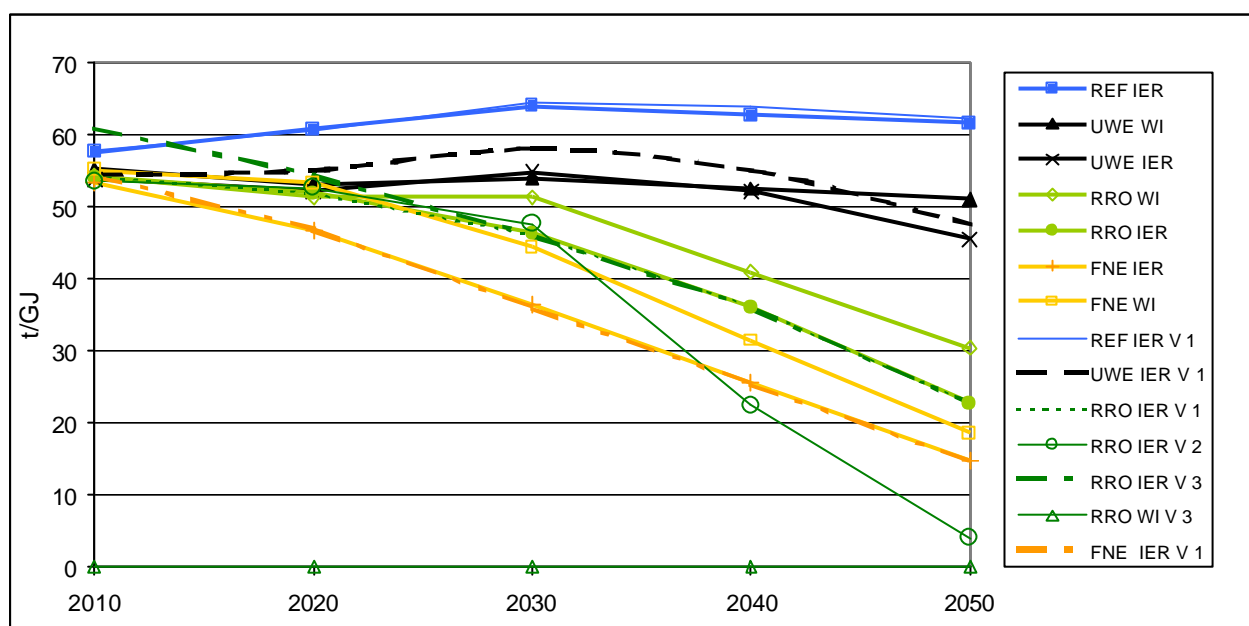
(1489) Abbildung 5-34 stellt die spezifische CO₂-Entstehung im Energiesystem pro Kopf und pro Einheit Bruttosozialprodukt inklusive der deponierten Mengen dar. Im Referenzszenario bleiben die Ausstöße pro Kopf und Jahr bis ins Jahr 2050 mehr oder weniger konstant bei etwas über 10 t. In allen Zielszenarien wird diese Regel durchbrochen. Hier sinken die Emissionen pro Person in den nächsten 50 Jahren auf etwa ein Drittel des Ausgangswertes. Pro Einheit Bruttoinlandsprodukt gehen die Emissionen ebenfalls stärker zurück als in der Referenz: Während sie sich dort auf etwas weniger als die Hälfte reduzieren, sinken sie in den Zielszenarien um beinahe 90 %.

Abbildung 5-34: Spezifische, energiebedingte CO₂-Entstehung in den Szenarien - in t pro Kopf und g/TDM BIP



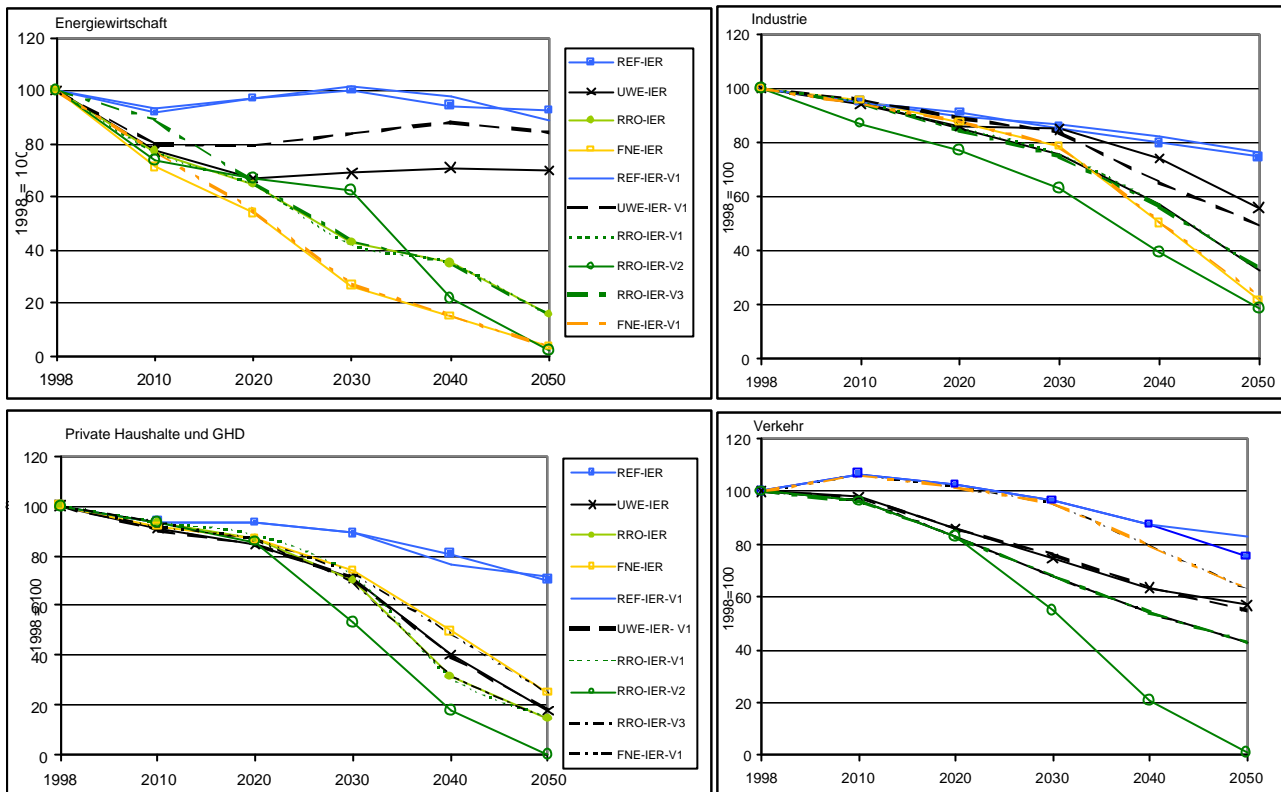
(1490) Vergleicht man die energiebedingten CO₂-Mengen bezogen auf den Primärenergieeinsatz (Abbildung 5-35), werden auch die Unterschiede zwischen den Modellansätzen deutlicher: In der Simulation des WI wird die CO₂-Intensität der Brennstoffe weniger stark gesenkt, vielmehr wird offensichtlich eher auf Energieeffizienz gesetzt. Trotzdem sinkt die CO₂-Intensität des gesamten Primärenergieverbrauchs auch schon im Szenario „Umwandlungseffizienz“ um rund 20 %, und noch viel stärker im Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“. Die radikalste Dekarbonisierungsstrategie weist die Variante „REG/REN-Offensive - Solare Vollversorgung“ auf.

Abbildung 5-35: Spezifische CO₂-Entstehung in den Szenarien pro Einheit Primärenergieeinsatz (Wirkungsgradprinzip)
in t/GJ



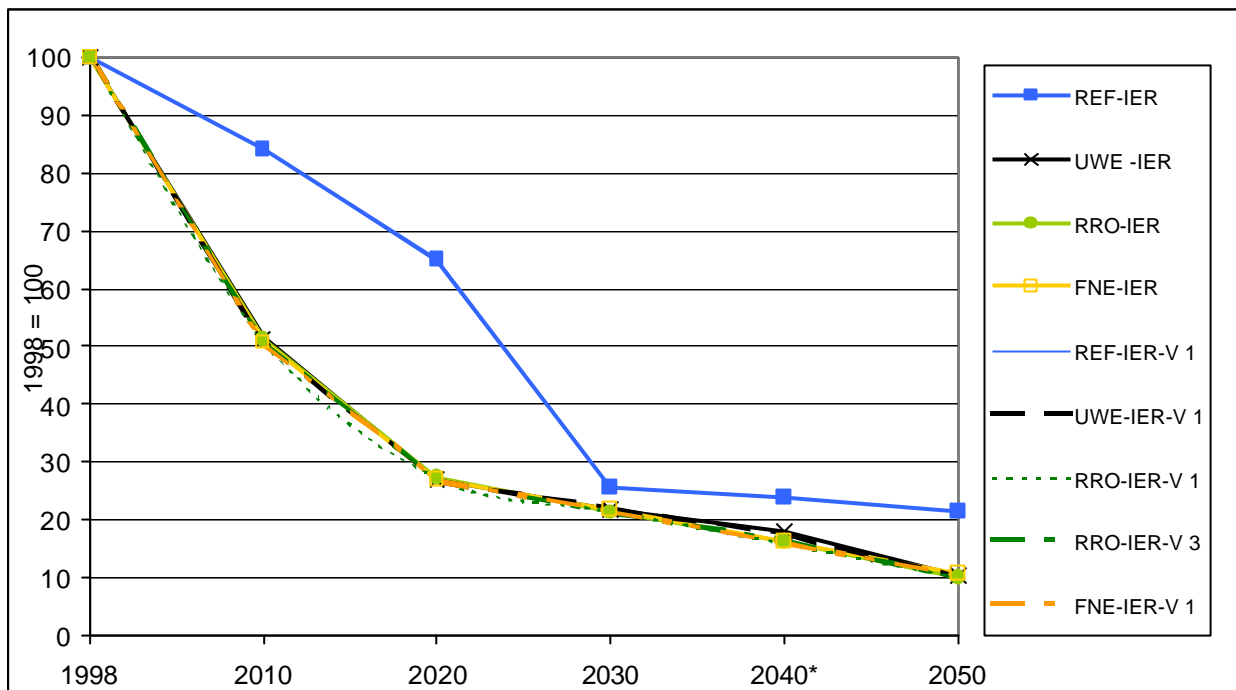
(1491) Abbildung 5-36 stellt die sektoralen CO₂-Emissionen zusammen. Hier wird deutlich, dass nicht nur der Energiesektor, sondern auch alle anderen Sektoren aus verschiedenen Gründen wesentlich weniger CO₂ emittieren. Im Industriesektor und im Verkehr spiegeln sich hier die Konsequenzen aus der – insbesondere bei der IER-Optimierungsrechnung – als Strategieelement gewählten Substitution des direkten Einsatzes fossiler Brennstoffe durch Strom oder auch durch Wasserstoff wider. Soweit dieser Strom dann auf der Basis fossiler Brennstoffe erzeugt wurde, werden damit die CO₂-Emissionen aus den Anwendungssektoren in den Umwandlungssektor verlagert. Das führt zu einer weiteren Verstärkung der Unterschiede zwischen den Szenarien im Umwandlungssektor. Teilweise resultieren die Einsparungen jedoch in allen Sektoren direkt aus effizienzsteigernden Investitionen. Ein nicht zu vernachlässigender Teil stammt zumindest in den Szenarien „Fossil-nuklearer Energiemix“ und „REG/REN-Offensive“ auch aus der Substitution fossiler Brennstoffe durch nachwachsende Brennstoffe oder solare und umgebungswärme-basierte Systeme.

Abbildung 5-36: Sektorale CO₂-Produktion in den IER-Szenarien - Sektoren Energiewirtschaft (ohne Endlagerung), Industrie, Haushalte und GHD, Verkehr, 1998 = 100



(1492) Die Modelle weisen auch Ergebnisse für Methan und einige andere Treibhausgase aus. Abbildung 5-37 zeigt den Verlauf der Methan-Emissionen in allen Szenarien. Es zeichnen sich weitestgehend dieselben Trends wie bei der Reduktion des CO₂ ab – hier in einer Reduktion auf etwa ein Zehntel der heutigen Emissionen. Energiebedingte Methan-Emissionen entstehen hauptsächlich durch Leckagen an Gaspipelines, Bergwerken, Deponien und bei Gärprozessen. Prinzipiell wird in den Szenarien angenommen, dass in der ersten Dekade die Leckagen an Pipelines abgedichtet und die Grubengasnutzung verstärkt wird, so dass zunächst ein starker Abfall der Emissionen zu verzeichnen ist, der sich später abschwächt. Zudem entsteht weniger Methan im Kohlebergbau dadurch, dass weniger Kohle in Deutschland abgebaut wird.

Abbildung 5-37 Energiebedingte Methan-Emissionen



(1493) Die Emissionen von NO_x , N_2O , Nicht-Methan Kohlenwasserstoffen (NMVOC), CO- und Partikelemissionen nehmen in allen Szenarien stark ab. Die Kohlenmonoxid- und NMVOC-Emissionen, die vor allem von der Entwicklung im Verkehr bestimmt sind, fallen in allen Szenarien sprunghaft in der ersten Periode, und sinken dann bis 2050 langsam weiter bis zu einem Niveau zwischen 16 und 24 % gegenüber 29 % in der Referenz bei NMVOC, und auf 21 - 27 % gegenüber 34 % in der Referenz für Kohlenmonoxid. N_2O und NO_x werden neben dem Verkehr auch von Kraftwerken emittiert und streuen im Ergebnis gemäß dem Einsatz der entsprechenden Technologien etwas weiter, bei NO_x zwischen 29 und 41 % gegenüber 64 % in der Referenz, und bei N_2O zwischen 34 und 68 % gegenüber 80 % des Ausgangsniveaus in der Referenzentwicklung. Tendenziell sind diese Entwicklungen positiv zu bewerten.

5.3.1.2 Gesundheits- und umweltbelastende Emissionen

(1494) Die Emissionen an SO_2 , NH_3 und Partikeln wurden für die IER-Szenarien errechnet. Auch hier sind bis 2050 starke Abfälle gegenüber dem Status quo und gegenüber der Referenz zu verzeichnen. Bei NH_3 finden diese praktisch vollständig in der ersten Dekade statt. SO_2 nimmt vor allem durch den Ersatz älterer Kohlekraftwerke ab. Soweit es aus dem Verkehr stammt, ist der Abfall aufgrund höherer Fahrzeugeffizienz in den Zielszenarien höher als im Referenzszenario.

(1495) Mit dem Zuwachs an Dieselfahrzeugen nimmt der Ausstoß an Partikeln in der ersten Dekade zu. Erst dann macht sich das Ersetzen der älteren Kohlekraftwerke deutlich senkend bemerkbar.

Soweit es sich um Rußpartikel aus Dieselfahrzeugen handelt, sollten Anstrengungen unternommen werden, die Emissionen möglichst auf Null zu reduzieren.

5.3.1.3 Radioaktive Abfälle

(1496) Tabelle 5-20 weist den Anfall an radioaktiven Abfällen in den Szenarien aus. Im Referenzszenario sowie in den Szenarien „Umwandlungseffizienz“ und „REG/REN-Offensive“ läuft die Nutzung der Atomkraft kurz nach 2020 aus. Im Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ wird die Atomkraft bewusst ausgebaut. Damit entstehen zusätzliche Mengen an radioaktiven Abfällen, die aus der Sicht der Mehrheit der Kommission nicht vertretbar sind.

Tabelle 5-20: Radioaktive Abfälle in m³ pro Jahr

Radioaktive Abfälle mit hoher Wärmeentwicklung in m ³ pro Jahr						
	1998	2010	2020	2030	2040	2050
Referenz, UWE, RRO (IER)	182,2	174,4	94,1	0,0	0,0	0,0
UWE, RRO (WI)	182,2	165,0	89,0	0,0	0,0	0,0
FNE (IER)	182,2	188,5	317,9	505,1	644,8	784,5
FNE (WI)	182,2	179,3	146,3	230,8	442,0	653,1
FNE Var. 1 (IER)	182,2	188,5	317,9	544,0	721,4	898,8

Radioaktive Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung in m ³ pro Jahr						
	1998	2010	2020	2030	2040	2050
Referenz, UWE, RRO (IER)	1669,3	1598,2	862,1	0,0	0,0	0,0
UWE, RRO (WI)	1669,3	1523,4	821,4	0,0	0,0	0,0
FNE (IER)	1669,3	1727,3	2913,4	4628,1	5908,4	7188,6
FNE (WI)	1669,3	1654,6	1350,2	2130,6	4079,7	6028,8
FNE Var. 1 (IER)	1669,3	1727,3	2913,4	4985,1	6610,8	8236,4

5.3.2 Andere Nachhaltigkeitsindikatoren

(1497) Im Folgenden werden die in Kapitel 2 bzw. im Ersten Bericht der Kommission identifizierten Indikatoren für Nachhaltigkeit für einen bewertenden Vergleich der Szenarien herangezogen. Dabei wird in den meisten Fällen nur eine qualitative Betrachtung möglich sein, weil die meisten Indikatoren in den Szenarien nicht explizit berechnet werden konnten. Gemäß den drei Säulen des Nachhaltigkeitskonzeptes werden ökologische, soziale und ökonomische Indikatoren in eigenen Unterabschnitten diskutiert.

5.3.2.1 Ökologische Nachhaltigkeitsindikatoren

(1498) Die **Emissionen** als wichtige ökologische Nachhaltigkeitsindikatoren wurden bereits ausführlich in Kapitel 5.3.1 diskutiert. Hier bleibt nur noch einmal die Feststellung, dass die Klimaschutzziele in allen Szenarien erreicht werden können. Unter Versauerungsaspekten sind die Szenarien ebenfalls nur wenig unterschiedlich.

(1499) Für die Aspekte des **Gewässerschutzes** sind sowohl Wasserkraftwerke aufgrund der mechanischen Beeinträchtigung der Fließeigenschaften als auch Kondensationskraftwerke aufgrund

der thermischen Einflüsse durch Kühlwassereinspeisung zu beachten. Die Belastung der Gewässer durch Laufwasserkraftwerke ist am stärksten in der Variante mit solarer Vollversorgung. Dabei ist zu beachten, dass die Kommission die Potenziale erneuerbarer Energien mit Rücksicht auf die ökologischen Restriktionen vorsichtig definiert hat. Die Pumpspeicherkapazitäten werden hingegen in allen Szenarien gleichermaßen ausgenutzt und gegenüber dem heutigen Niveau nicht weiter ausgebaut. Der geringste Zubau an thermischen Kraftwerken findet in der „REG/REN-Offensive“ statt; der höchste Bedarf an Wasser zu Kühlzwecken wird daher in den beiden Szenarien FNE und UWE bestehen.

(1500) Höherer **Flächenverbrauch** wird oft dann erwartet, wenn Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen verstärkt zugebaut werden. Diese Sichtweise blendet jedoch die Möglichkeit der Doppelnutzung von Flächen bei Windkraft- oder Photovoltaik aus, z.B. durch die landwirtschaftliche Bewirtschaftung von Windparkflächen oder die Montage von Solaranlagen auf Dächern in dicht besiedelten Gebieten. Derartige Flächendoppelnutzung kann deshalb nicht in vollem Umfang dem Energieverbrauch zugerechnet werden. Unterschätzt wird demgegenüber vielfach der Flächenverbrauch durch Braunkohlentagebau. Entscheidend dürfte jedoch bei Vergleich der drei Zielszenarien sein, inwieweit weitere Flächen für den Straßenbau in Anspruch genommen werden müssen. Die Szenarienergebnisse erlauben in diesem Punkt keine quantitativen Abschätzungen, so dass hier nur qualitative Plausibilitätsüberlegungen möglich sind. Ohne genauere quantitative Betrachtungen anzustellen geht die Kommission deshalb davon aus, dass das Ziel, den Flächenverbrauch möglichst gering zu halten, im Szenario „REG/REN-Offensive“ am besten erreicht werden könnte. Es baut vor allem Techniken zu, die andere Nutzungen einschränken, jedoch nicht unterbinden. Dies ist mit einer kleinskaligen, verteilten Erzeugungsstruktur leichter zu erreichen. Das zweite Standbein der „REG/REN-Offensive“, die Energieeffizienz, führt eher zur Freisetzung von Flächen als zum weiteren Flächenverbrauch. Das Szenario „Umwandlungseffizienz“ dürfte aufgrund des zusätzlichen Abbaus heimischer Braunkohle in der Größenordnung von 400 – 1.000 PJ pro Jahr schlechter abschneiden, ebenso das Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ aufgrund des erhöhten Aufkommens an Straßenverkehr, das wahrscheinlich auch erhöhten Flächenverbrauch durch Zubau von Straßen fordert. Alle Zielszenarien sind jedoch in diesem Punkt „nachhaltiger“ als das Referenzszenario, das sowohl in Tagebau als auch im Verkehr stark zulegt.

(1501) Den im Ersten Bericht formulierten und in Kapitel 2 wiederaufgenommenen Nachhaltigkeitsindikatoren für **Risiko** genügt das Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ nicht. Hier werden die Kernkraftwerkskapazitäten auf 107 GW gegenüber heute 22,3 GW ausgebaut. Bei einer angenommenen Größe für einen neu zu bauenden Reaktor von 1.530 MW sind das mindestens 55 neue Kernkraftwerke. Wird heute schon das Risiko eines Großunfalls als nicht verantwortbar eingeschätzt, so wird dies auch in der absehbaren Zukunft gelten. Es bleibt nach heutigem Wissensstand ungewiss, ob zukünftig eine inhärent sichere Technologie zum Einsatz kommen könnte. Prototypen existieren noch nicht.

(1502) Zu den übrigen Risiken: Großwasserkraftwerke werden in keinem Szenario zugebaut. Die Risiken der Wasserstoffinfrastruktur sind aller Voraussicht nach in etwa mit denen der Gasinfrastruktur zu vergleichen, insbesondere in Bezug auf typische Schadensausmaße, wohingegen die Eintrittswahrscheinlichkeiten insbesondere in einer Einführungsphase leicht erhöht sein könnten. Wasserstoff wird jedoch in allen Szenarien eingesetzt, so dass sich hieraus keine differenzierenden Aussagen ableiten lassen.

(1503) Die Verfünffachung der Kraftwerksleistung im Bereich der Kernenergie, wie sie im Szenario FNE vorgesehen ist, erhöht auch den Anfall an **hochradioaktivem Abfall** entsprechend (vgl. Abschnitt 5.2.1.3). Dessen Entsorgung ist ungeklärt. Abhängig von Zwischen- und Endlagerungslösungen und dadurch erforderlichen Transportvorgängen wird sie auch zu erhöhten Risiken führen. Die Umwelt- und Gesundheitsbelastungen bei der Uranproduktion und -verarbeitung fallen in den Szenarien vollständig im Ausland an, was nicht dem Verursacherprinzips entspricht und deshalb als nicht nachhaltig zu bezeichnen ist.

(1504) Über die im Ersten Bericht der Kommission geforderten Indikatoren zu ökosystemaren Veränderungen, Artenvielfalt und Bodenerosion können im Rahmen der Szenarienanalyse keine detaillierten Aussagen gemacht werden.

5.3.2.2 Soziale Nachhaltigkeitsindikatoren

(1505) Der Kommission ist es wichtig, **Zugang zu Energie** allen Verbrauchern gleichermaßen zu ermöglichen. Die Szenarien unterscheiden sich in dieser Dimension nicht.

(1506) Ein für die Kommission wichtiger sozialer Indikator ist auch, inwieweit mit heutigen Entscheidungen **Festlegungen für zukünftige Generationen** getroffen werden, die deren Verantwortung für Erblasten erhöhen und dadurch Handlungsspielräume einengen. In der Energiewirtschaft stellen solche Lasten – neben den Klimagas-Emissionen – vor allem die Mengen an **radioaktivem Abfall** aus der Kernenergienutzung dar, der über für Menschen nicht überblickbare geologische Zeiträume sicher gelagert werden muss, um Gefahren für Leib und Leben zukünftiger Generationen nicht anthropogen zu vergrößern. Dieser Aspekt ist bis heute ungelöst, und stabile Lösungsmöglichkeiten stehen nur eingeschränkt zur Verfügung. Die zusätzlichen Mengen an radioaktivem Abfall, die im Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ entstehen würden, schließen daher für die Mehrheit der Kommission die Möglichkeit aus, dieses Szenario als nachhaltig zu klassifizieren. Die langfristige Endlagerung von CO₂, wie sie im Szenario „Umwandlungseffizienz“ genutzt wird, stellt ebenfalls eine den zukünftigen Generationen auferlegte Erblast dar. Sie ist sicherlich von anderer Dimension als die radioaktiven Abfälle, doch der damit zu bewältigende Aufwand für die zukünftigen Generationen ist noch weitgehend unbekannt. Das Szenario „REG/REN-Offensive“ weist demgegenüber keine Einschränkungen für die Handlungsmöglichkeiten zukünftiger Generationen auf.

(1507) Ein zweiter Aspekt, der in Bezug auf Festlegungen für künftige Generationen diskutiert werden muss, ist die Flexibilität der wirtschaftlichen und technischen Strukturen der Energiewirtschaft. Tendenzen für die Demokratisierung der Besitz- und Partizipationsstrukturen sollten gefördert werden. Dies gelingt am besten, wenn die technische Struktur des Energiesektors den Idealen von Vielfalt, Kleinräumigkeit und Diversität entspricht. Das Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ mit seiner Tendenz zu Großkraftwerksstrukturen kann dieser Zielvorstellung nicht nahe kommen. Ein großmaßstäblicher Einsatz von Nukleartechnologien ist aus Sicherheitsgründen mit einer Demokratisierung des Sektors unvereinbar. Der Kapitalbedarf für Großkraftwerke begünstigt große Kapitalgesellschaften. Auch das Szenario „Umwandlungseffizienz“ setzt in hohem Maße weiter auf zentrale Erzeugung, obwohl durch die Förderung von dezentralen Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen hier flexiblere Einheiten einen höheren Stellenwert im Erzeugungsmix erhalten und auch die Energieeffizienz deutlich gesteigert wird. Daher entspricht dem Konzept der Flexibilität in vollem Umfang nur die Philosophie der verteilten Erzeugung und Einsparung des Szenarios „REG/REN-Offensive.“

(1508) Ein letzter Aspekt der Flexibilität kann nicht sinnvoll auf die unterschiedlichen Szenarien bezogen diskutiert werden: Die Handlungsspielräume zukünftiger Generationen werden auch wesentlich von der Weiterentwicklung von Technologien in allen Umwandlungs- und Nutzungsbereichen von Energie geprägt. Alle Szenarien bis 2050 beruhen in ihren Annahmen darauf, dass diese Weiterentwicklung stattfinden wird. Das Szenario „Fossil-nuklearer Energiemix“ geht sogar so weit, dass es ab 2020 steigende Anteile des Energiebedarfs mit einer noch völlig unerprobten Technologie deckt. Ein in allen Szenarien wiederkehrendes System, für das noch viel Entwicklungsarbeit geleistet werden muss, ist die Wasserstoffinfrastruktur und ihre Anwendungen, z.B. die Brennstoffzellentechnologie. Alle Szenarien fordern hier übereinstimmend erhöhten Einsatz in Forschung und Entwicklung.

(1509) Es stellt sich die Frage, ob die von allen drei Szenarien geforderten Strukturveränderungen in sozialverträglicher Weise vollzogen werden können. Die Studie „Szenarienerstellung“ weist zu diesem Punkt einzig darauf hin, dass schnelle Umstellungen ganzer Energiesysteme zu hohen Transaktionskosten und damit zu verstärkter Arbeitslosigkeit führen können. Arbeitsplätze werden in den Bereichen entstehen, in denen durch das Einschlagen eines Entwicklungspfades gesteigerte Nachfrage erzeugt wird. Robust werden also in allen Szenarien die Arbeitsplatzzahlen in den Bereichen erneuerbaren Energien und Energieeffizienz/Energiemanagement/Energiedienstleistung ansteigen. Umgekehrt der Bergbau: Die inländische Steinkohleproduktion wird in allen Szenarien auf Null abgesenkt, allenfalls in der Förderung von Braunkohle werden unter bestimmten angenommenen Entwicklungen noch Beschäftigungsmöglichkeiten bestehen. Im Szenario "Umwandlungseffizienz" zugebaute Steinkohlekraftwerke werden ausschließlich mit Importkohle befeuert. Das abgetrennte CO₂ muss deponiert werden, was wohl zum großen Teil in ausgeförderten Gaslagerstätten oder salinen Aquiferen in den Ozeanen geschehen wird. Aus diesen Gründen spricht alles dafür, dass diese Kraftwerke in Norddeutschland bzw. an der Küste errichtet werden. Das bedeutet, dass

bei einer Umgestaltung der deutschen Energiewirtschaft nach dem Vorbild des Szenarios „Umwandlungseffizienz“ eine massive regionale Umverteilung von Arbeitsplätzen und wirtschaftlichen Entwicklungschancen vonstatten gehen wird. Die positivsten strukturwirtschaftlichen Effekte hat das Szenario „REG/REN-Offensive“, das aufgrund seiner flexiblen und dezentralen Struktur eine Vielzahl von Arbeitsplätzen in allen Regionen Deutschlands mit sich bringen könnte – nicht nur in der Energiewirtschaft, sondern vor allem auch in den Bereichen Anlagenbau und öffentlicher Verkehr. Dies wurde jedoch im Rahmen der Szenarienrechnungen für diese Kommission nicht explizit untersucht. Vergleichbare volkswirtschaftliche Nettobilanzierungen der Arbeitsplatzentwicklung, wie sie beispielsweise im Jahr 2000 von der Prognos AG vorgelegt wurden, bestärken jedoch die Kommission in der Auffassung, dass die angenommenen positiven Effekte des Szenarios „REG/REN-Offensive“ realistisch sind: Danach werden in einem Szenario, das für 2020 den Kernenergieausstieg und eine 40-prozentige CO₂-Reduktion gegenüber 1990 vorsieht, bei Beibehaltung der Energieerzeugung in Deutschland netto Arbeitsplätze in der Größenordnung von 200.000 geschaffen.¹

5.3.2.3 Ökonomische Nachhaltigkeitsindikatoren

(1510) Exportchancen für die deutsche Wirtschaft entstehen immer dort, wo durch das aktive Einschlagen einer Entwicklungsrichtung und entsprechende Anreizstrukturen Technologieführerschaft provoziert wird. Ähnlich wie für Forschung und Entwicklung gilt auch hier, dass dies sehr wohl in allen Szenarien der Fall sein könnte. Die Technologieführerschaft im nuklearen Sektor erschließt jedoch nicht die in Kapitel 6.2 angesprochenen zukunftsverträglichen Exportpotenziale in den Entwicklungsländern für die deutsche Wirtschaft. Atomreaktoren könnten allenfalls – in kleinen Stückzahlen – in andere Industrieländer exportiert werden. Größere Exportpotenziale können durch die Weiterentwicklung hocheffizienter und sauberer Kohletechnologien erschlossen werden. Die größte Rolle werden jedoch in Zukunft, wenn verstärkt an der energietechnischen Erschließung ländlicher Räume in Entwicklungsländern gearbeitet wird (vgl. Kapitel 6.2), kleine netzunabhängige Einheiten zur Energiebereitstellung spielen. Im Gegensatz zu den anderen Szenarien, sind im Szenario „REG/REN-Offensive“ eine Vielzahl von derartig nutzbaren Technologien notwendig. Diese Technologien werden Innovationsimpulse in allen Branchen der Industrie und bei den verschiedenen Akteuren (Handwerk, Mittelstand aber auch Großindustrie) auslösen. Daher ist auch aus der Sicht der Exportpotenziale und des Innovationspotenzials das Szenario „REG/REN-Offensive“ als das nachhaltigste einzustufen.

(1511) Die „REG/REN-Offensive“ enthält als einziger der drei Entwicklungspfade das strategische Moment der Erhöhung der Diversität. Erneuerbare Energien und Steigerung der Energieeffizienz sind Strategien, die in wesentlichen Teilen dezentral und verbrauchernah realisiert werden müssen. Sie sind damit unabdingbare Beiträge zur Reduzierung der Importabhängigkeit und zur Verbesse-

¹ Prognos (2000b).

rung der Versorgungssicherheit. Auf diese beiden Voraussetzungen ist eine nachhaltige Entwicklung des Wirtschaftsstandortes Deutschland entscheidend angewiesen. Demgegenüber verringern die Szenarien „Umwandlungseffizienz“ und „Fossil-nuklearer Energiemix“ mit ihrer Fixierung auf Importenergien und zentrale Stromerzeugung mit Importbrennstoffen die Importabhängigkeit deutlich weniger. Der inländische Anteil am Primärenergieaufkommen beträgt beim Szenario RRO 56,7 % (IER) bzw. 65,7 % (WI) gegenüber einer Importabhängigkeit von 82,3 % bzw. 88,2 % beim „Fossil-nuklearen Energiemix“ und 60,5 % bzw. 66,2 % bei „Umwandlungseffizienz“.

5.3.4 Zusammenfassung

(1512) Alle drei Hauptszenarien und alle gerechneten Varianten können zeigen, dass die ehrgeizigen Klimaschutzziele erreichbar sind – zumindest falls die technische Realisierbarkeit des EPR und der CO₂-Endlagerung mit verantwortbarer Sicherheit vorausgesetzt werden kann. Die Unsicherheit über die Realisierbarkeit der CO₂-Endlagerung und die großen Mengen radioaktiven Mülls im „Fossil-nuklearen Energiemix“ führen dazu, dass allein die „REG/REN-Offensive“ als ökologisch nachhaltig bezeichnet werden kann.

(1513) Auch in den anderen Dimensionen der Nachhaltigkeit, unter Gesichtspunkten der Vorsorge für spätere Generationen, der tiefgreifenden Eingriffe in soziale und regionalökonomische Systeme, der Importabhängigkeit und der Arbeitsplätze wird die „REG/REN-Offensive“ von der Kommission als der nachhaltigste Pfad betrachtet.

5.4 Schlussfolgerungen

(1514) In den Szenarienbetrachtungen der Kommission wurden verschiedene, in sich konsistente, langfristige Entwicklungspfade bis 2050 untersucht. Die Analysen sollten aufzeigen, unter welchen technischen, sozialen, wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen bestimmte Nachhaltigkeitsziele erreicht werden können. Der Vergleich der verwendeten Szenarien zeigt auf, in welchen Bandbreiten sich zukünftige Entwicklungen abspielen können. Diese Ergebnisse werden hier in einem größeren Gesamtzusammenhang gewürdigt, indem zusätzlich die Ergebnisse einiger Anhörungen und Studien der Kommission zu verschiedenen Themenbereichen und der Stand der Wissenschaft einbezogen werden.

5.4.1 Handlungsspielräume bei der Erreichung der Klimaschutzziele

(1515) Auch unter sämtlichen genannten Einschränkungen, sowohl bezüglich der Unsicherheit aller Aussagen über Technologien und Kosten und der gewählten, relativ konservativen Rahmenannahmen, als auch bezüglich der gewählten Zuordnungsmodalitäten, kommt die Kommission zu dem Ergebnis, dass eine Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 % (gegenüber dem Niveau von 1990) aus heutiger Sicht technisch realisierbar ist. Sämtliche untersuchte Technologiepfade in den Zielszenarien erlauben eine Erreichung der ehrgeizigen Treibhausgasreduktionsziele, die Deutschland in ersten Schritten bereits in Angriff genommen hat. Der Entwicklungspfad in eine regenerative und effiziente Zukunft ist keine Sackgasse: Eine weitgehende oder vollständige Versorgung Deutschlands aus erneuerbaren Energiequellen ist aus heutiger Sicht in einem hocheffizienten Energiesystem möglich.

(1516) Der untersuchte, lineare Reduktionspfad ist hier eine von verschiedenen Möglichkeiten. Er wurde nicht aus Optimierungskriterien abgeleitet, sondern exogen gesetzt. Es ist daher durchaus möglich, diesen Pfad weiter zu optimieren, wodurch die Kosten zur Erreichung des Klimaschutzziels weiter gesenkt werden können. Allerdings gehen die Modellrechnungen davon aus, dass wesentliche technologische Weichenstellungen und Effizienzreize frühzeitig erfolgen. Nur wenn die in den Modellen angenommenen Entwicklungen der Technologien - und dies gilt für alle drei Pfade - auch umsetzbar sind, werden die Szenarien auch realisierbar. Dabei unterscheiden sich die Szenarien in Bezug auf ihre Abhängigkeit von Technologien: Die Realisierbarkeit der Szenarien „Umwandlungseffizienz“ (UWE) und „Fossil-nuklearer Energiemix“ (FNE) ist jeweils maßgeblich von einer einzigen Schlüsseltechnologie abhängig (CO₂-Abtrennung und -Speicherung bzw. Kernkraft), das Szenario „REG/REN-Offensive“ (RRO) baut dagegen auf einer relativ großen Vielfalt von für die Emissionsminderung relevanten Technologien auf. Sollten sich die Erwartungen z.B. an die Photovoltaik nicht erfüllen, so ließe sich dies durch eine andere erneuerbare Technologie abdecken. Dieser Aspekt kann sich gleichzeitig als ein wichtiger Beitrag zur Versorgungssicherheit erweisen.

(1517) Es gibt nur wenige Erkenntnisse aus der Studie, die darauf hindeuten, dass Mischstrategien oder Pfade, die sich zwischen den Extremen befinden, unrealisierbar wären und nicht auch zu Klimaschutzerfolgen führen. Ein Beispiel für Gegensätze, die sich ausschließen, ist allerdings, dass die extensive Ausweitung der Stromproduktion - wie im Szenario FNE skizziert - im offensichtlichen Widerspruch zu der Einführung effizienter Energietechnologien (und damit zur konsequenten Erschließung der verfügbaren Effizienzpotenziale) und zum Teil auch zur Nutzung erneuerbarer Energien steht. Strategien zur Steigerung der Umwandlungseffizienz sind mit Elementen einer erneuerbaren Energieversorgung in Einklang und bedingen sich bis zu einem gewissen Umfang sogar gegenseitig.

5.4.2 Gemeinsamkeiten der Szenarien - Robuste Pfade

(1518) Jenseits aller Unsicherheiten und unterschiedlichen Annahmen lassen sich drei robuste Trends ausmachen, die allen Szenarien gemeinsam sind: Regenerative Energien, rationale Energieverwendung und ein neuer Sekundärenergieträger werden in Zukunft eine wichtige Rolle spielen.

(1519) Strukturelle Veränderungen, wie der Übergang von einer Energieversorgungswirtschaft zu einer Energiedienstleistungswirtschaft oder große Steigerungen der Ressourceneffizienz (z.B. Faktor 10), konnten in den Szenarien nicht berücksichtigt werden. Auch eine signifikante Änderung von Verhalten und Lebensstilen konnte weder quantifiziert noch hinsichtlich ihrer strukturellen und qualitativen Effekte in den Szenarien abgebildet werden. Eine Anpassung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen gegenüber dem Referenzszenario war in den Szenarien nicht möglich. Insofern bilden die Szenarien nicht alle Optionen zur CO₂-Minderung ab. Dies und der starke Anstieg der Energiedienstleistungen pro Kopf im Referenzszenario führen dazu, dass die resultierende Energiedienstleistungsnachfrage eher als oberer Rand der erwartbaren Bandbreite anzusehen ist. Dass die Szenarien dennoch die gesteckten Ziele erreichen, zeigt auf, dass der Wechsel zu einer Energiedienstleistungswirtschaft, Ressourceneffizienz und auch die Änderungen von Lebensstilen die Erreichung der Reduktionsziele und den Umbau der Energiewirtschaft erleichtern können.

5.4.2.1 Energieeffizienz

(1520) In allen Szenarien wird von einem deutlichen Rückgang der Endenergienachfrage ausgegangen. Allerdings sind zwei unterschiedliche zeitliche Profile der Effizienzentwicklung zu beobachten: Einerseits ein kontinuierlicher Anstieg der Effizienz, andererseits ein um ein bis zwei Jahrzehnte verzögerter, aber dann forcierter Effizienzzuwachs. Bei der eher sprunghaften Entwicklungsvariante stellt sich die Frage, ob die hierfür notwendige Dynamik auch tatsächlich (quasi plötzlich) erzeugt werden kann, wenn über Jahrzehnte hinweg keine diesbezüglich vermehrten Anstrengungen geleistet wurden. Auch aus der Perspektive von Vorsorge und Sicherung technologischer Entfaltungsmöglichkeiten ergibt sich, dass einer möglichst frühzeitig eingeleiteten Strategie und konsequenten Erschließung der Effizienzpotenziale eine wichtige Rolle für die Erreichung der Emissionsreduktionsziele zukommt.

(1521) Die wichtigsten Einsparpotenziale liegen im Gebäudebereich, sowohl in den Privathaushalten als auch in Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Die Energieeinsparungen bei den Neubauten und dem Gebäudebestand, sind insbesondere wegen der Langlebigkeit der Gebäude und der langen Zeiträume zwischen den Sanierungsmaßnahmen ab sofort möglichst kontinuierlich zu realisieren. Die Sanierungsziele sind heute technisch und in den meisten Fällen auch einzelwirtschaftlich machbar. In den Szenarien werden als Ziel im Jahr

2050 energetische Sanierungsraten von 1,3 % (FNE-WI) bis zu 2,5 % (alle IER) angenommen. Dies ist weit oberhalb der heutigen energetischen Sanierungsraten von 0,5 % pro Jahr. Im Vergleich der Szenarien stellt sich heraus, dass der durch die Erhöhung der Sanierungsrate erreichbare Mengeneffekt (gemessen an der resultierenden Wärmeverbrauchsminde- rung) deutlich größer ist als derjenige durch die spezifische Verbesserung des Wärmedämmstandards bei weiterhin konstanter energetischer Sanierungsrate. Maßnahmen zur Aktivierung dieser Effizienzpotenziale in der Breite sind also besonders wichtig und dringend.

(1522) Letztlich müssen jedoch alle Sektoren ihren Beitrag zur Senkung der Energienachfrage und der Emissionen leisten. Dabei kann eine möglichst schnelle Realisierung der Effizienzpotenziale im Verkehr Spielräume an anderer Stelle schaffen. Im Transportsektor wird angesichts der enormen Zuwachsraten und der beinahe totalen Abhängigkeit von Mineralöl mittel- und langfristig der Übergang zu klimafreundlichen Sekundärenergieträgern notwendig sein. Dies fällt umso leichter, je niedriger die dann vom Verkehrssektor noch benötigten Energiemengen sind.

5.4.2.2 Regenerative Energieträger

(1523) Alle Szenarien, auch das Szenario (fossile) „Umwandlungseffizienz“, beinhalten in weit höherem Umfang als das Referenzszenario den Einsatz regenerativen Energieträger. Dazu trägt zwar auch die politische Setzung durch die Europäische Union bei, das für Deutschland bis 2010 mit 12,5 % der Stromerzeugung durch Erneuerbare Energien spezifiziert wurde. Im Folgenden erweist sich jedoch auch im „Fossil-nuklearen“ Szenario, dass ein weiterer Ausbau aller regenerativen Energien zur Erreichung der Klimaschutzziele unabdingbar ist. Die FNE-Szenarien zeigen aber auch, dass die erneuerbaren Technologien, wenn sie durch sehr risikobehafteten Strom verdrängt werden, nicht die notwendige Entwicklungszeit für ausreichende Kostensenkungen bekommen und dann ihren Marktanteil nicht ausweiten können. Die Kommission ist daher der Meinung, dass diese Beobachtung eine langfristige, angemessene Fortsetzung von Markteinführungsmaßnahmen (wie z.B. EEG und Marktanreizprogramm, Länderförderprogramme, Programme der Energiewirtschaft) rechtfertigt.

Der Mix der verschiedenen erneuerbaren Energien in den Szenarien resultiert in den Simulationen bzw. Optimierungen aus Kostengesichtspunkten oder wurde exogen vorgegeben. Nach Ansicht der Kommission wird insbesondere eine Energiewirtschaft, die vornehmlich auf erneuerbare Energieträger aufbaut, den Mix auch daran orientieren müssen, dass eine durchgängig sichere Versorgung gewährleistet ist.

5.4.2.3 Sekundärenergieträger

(1524) Alle Szenarien führen bis spätestens 2050 Wasserstoff als neuen Sekundärenergieträger. Bei IER wird er u.a. aus der Abpufferung der überschüssigen fluktuierenden Stromerzeugung durch Elektrolyse gewonnen und als Brennstoff für Brennstoffzellen auch in Kraft-Wärme-Kopplung benutzt. Dieser doppelte Vorteil verhilft dem Wasserstoff auch in solchen Szenarien zum Einsatz, in denen weder ein Mindesteinsatz für Kraft-Wärme-Kopplung noch für erneuerbare Energieträger vorgegeben ist (z.B. FNE). WI sieht den Hauptvorteil des Wasserstoffs in seiner Einsatzfähigkeit im Verkehrssektor, dessen klimaschädliche Emissionen aus fossilen Treibstoffen so um das notwendige Maß gesenkt werden können, und zwar über die Annahmen für gesteigerte Effizienz hinaus. Darüber hinaus sieht WI gute und kostengünstige - da zunächst ohne hohe Infrastrukturaufwendungen - Möglichkeiten, den Wasserstoff durch Beimischung zum Erdgas einzuführen, indem er anteilig in das Erdgasnetz eingespeist wird. Beide Nutzungsmöglichkeiten werden auch in der Literatur als notwendige Voraussetzung für ein zukünftiges Energiesystem auf der Basis klimaneutraler Energieträger dargestellt.

(1525) Die notwendige Einführung eines Sekundärenergieträgers, der keine Treibhausgasemissionen verursacht, hier Wasserstoff, oder einer anderen, heute noch nicht etablierten (Speicher-)Technologie zeigt auch auf, dass gehörige Anstrengungen notwendig sind, um ein nachhaltiges Energiesystem im Allgemeinen und die Klimaschutzziele im Besonderen zu erreichen. Wenn Wasserstoff eines Tages die Lücke eines Speichers, der im Wesentlichen ohne zusätzliche Treibhausgasemissionen den Umbau zu einer klimafreundlichen Energiewirtschaft ermöglicht, schließen soll, sind dafür frühzeitig politische Weichenstellungen notwendig. Sinnvoll erscheint im ersten Schritt eine Erweiterung der Erdgas-Infrastruktur auch für Erdgas-Autos als Übergangstechnologie, mit der Option eines stetig wachsenden Wasserstoffanteils im Erdgasnetz, bis dann (wegen technischer Eigenschaften) später eine Umrüstung der Infrastruktur notwendig wird.

5.4.3 Nachhaltigkeit der Szenarien sehr unterschiedlich

(1526) In Bezug auf die Verwirklichung der Prinzipien nachhaltiger Energieversorgung müssen die Szenarien unterschiedlich bewertet werden. Zwar erreichen alle die 80 % Emissionsreduktion, die meisten weisen aber in anderen Bereichen Defizite auf.

(1527) In den Szenarien „Umwandlungseffizienz“ ist die insgesamt anfallende Menge an Kohlendioxid, die deponiert werden muss, mittel- und langfristig in den bekannten Lagerstätten nicht unterzubringen. Berücksichtigt man außerdem, dass sich die Technologien zur großflächigen Abtrennung und Endlagerung noch in frühen Entwicklungsstadien befinden, so ist es sehr unsicher, dass die entscheidende

technologische Option für diese Szenarien überhaupt bzw. in ausreichendem Umfang verfügbar sein wird. Hinzu kommt, dass diese Option trotz der weitgehend verharrenden (konservativen) Energieträgerstruktur zu einer erheblichen Umstrukturierung der Energieversorgung, vor allem im Bezug auf die Kraftwerksstandorte führen würde: Viele Kraftwerke müssten, um die Kosten niedrig zu halten, nahe an den Kohlendioxidendlagerstätten gebaut und mit Importkohle betrieben werden. Damit würde der größte Teil der Steinkohle-Stromerzeugung in neu errichteten küstennahen oder anderen norddeutschen Standorten stattfinden. Der breite Einsatz von Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mit CO₂-Abtrennung ist in diesem Kontext angesichts der räumlichen Bindung an das Wärmeabsatzpotenzial eher fraglich.

(1528) In den fossil-nuklearen Szenarien werden letztlich mindestens 50 neue Atomkraftwerke gebraucht. Das vom IER einbezogene Konzept der industrienahen nuklearen Wärmeauskopplung mit Reaktoren in der Größenordnung von 100 – 300 MW lässt eine eher noch größere Anzahl erwarten. Weder für die heute existierenden, noch für diese Anzahl von neuen Atomkraftwerken ist eine mit Nachhaltigkeitsgrundsätzen zu vereinbarende Entsorgung der radioaktiven Reststoffe möglich. Die gesellschaftliche Akzeptanz eines forcierten Ausbaus der Atomenergie ist außerdem nicht gegeben. Die Risiken für Deutschland durch den Betrieb dieser Anlagen – nicht zuletzt durch die neuen Risiken des internationalen Terrorismus - sind nicht tragbar. Die Kommission sieht daher keine Alternative zum jetzt begonnenen Ausstieg aus der Atomenergie.

(1529) Bei den Szenarien, die auf einer "REG/REN-Offensive" aufbauen, ist unter anderen die Flächennutzung durch die Windenergie und die Nutzung der Biomasse ein Aspekt, der die Nachhaltigkeit einschränkt. Die Doppelnutzung der Windregionen, ein Biomasseanbau ohne Monokultur und die Berücksichtigung der Ergebnisse der ökologischen Begleitforschung können diese Nachteile relativieren. Die Kommission ist der Ansicht, dass durch die Vielzahl von verschiedenen Technologien zur Effizienzsteigerung und zur Nutzung der erneuerbaren Energietechnologien und durch den dezentralen Charakter vieler erneuerbarer Energietechnologien ein Mix in der Anwendung gefunden werden kann, der diese Belastungen in einem akzeptablen Rahmen hält und durch die Diversifikation der Quellen die dauerhafte Stabilität der Versorgung gewährleistet. Insbesondere ist von Anfang an darauf zu achten, dass ein ökologisch optimierter Ausbau der erneuerbaren Energien erfolgt.

5.4.4 Kosten der Treibhausgasreduktion für Deutschland tragbar

(1530) Ein wesentliches Kriterium bei der Wahl zwischen verschiedenen Entwicklungspfaden, sind die gesamtwirtschaftlichen Kosten eines Energiesystems. Bei Szenarien, die weit in die Zukunft reichen, ist dieser Bewertungsmaßstab angesichts der Quantifizierungsprobleme

und der hohen Unsicherheiten, z. B. bei der Entwicklung der fossilen Energieträgerpreise, allerdings mit großen Unsicherheiten verbunden.

(1531) Die Systemkosten des Referenzszenarios und seiner Variante belaufen sich im Jahr 2010 auf 12,5 % des BIP und gehen bis 2050 auf 9,2 bzw. 9,1 % zurück. In den Zielszenarien ohne Kernenergienutzung erhöht sich dieser Wert um 0,3 (WI-Szenario RRO) bis 1,2 Prozentpunkte (IER-Szenario RRO Var. 1) im Jahr 2050. In den fossil-nuklearen Szenarien bewegen sich die Relationsdifferenzen zwischen -0,5 und +0,3 Prozentpunkten. Gemessen an den zusätzlichen Kosten je Einwohner im Endjahr 2050, bewegen sich die Ergebnisse der Szenarien ohne weitere Kernenergienutzung in einer Bandbreite zwischen 170 € und gut 700 € je Einwohner. Bei einer erneuerbaren Vollversorgung sind die Werte ca. 1225 € je Einwohner und bis zu 2,1 Prozentpunkten (IER-Szenario RRO Var. 2) relativ zum Bruttoinlandsprodukt in 2050 höher. Sie liegen damit prozentual – gemessen am BIP – etwa auf dem gleichen Niveau wie heute.

(1532) Die Betrachtung der Kostendifferenz der externen Kosten gegenüber der Referenz - im Jahr 2050 zeigt ein deutlich zweigeteiltes Bild: Während das FNE-Szenario in 2050 deutlich höhere externe Kosten aufweist als die Referenzentwicklung (14.717 €/cap in 2050 bei WI, 17.515 €/ in 2050 bei IER (nicht abdiskontiert)), führen sowohl das UWE als auch das RRO-Szenario gegenüber der Referenz zu einer Kostenreduktion. Die deutlichsten Reduktionen werden dabei im RRO-Szenario beider Institute erreicht. (UWE-Szenario: -1848 €/Einwohner in 2050 bei WI, -2338 €/Einwohner in 2050 bei IER; RRO-Szenario: -2201 €/Einwohner in 2050 bei WI, -2649 €/Einwohner in 2050 bei IER). In der Relation der externen Kosten zum BIP führt das FNE-Szenario im Bezugsjahr (2050) zu einer Mehrbelastung von ca. 26 % - 31 %. Demgegenüber liefern die übrigen Szenarien eine Verringerung von etwa 3 % - 5 %. Selbst Ansätze für die externen Kosten der Kernenergieerzeugung, die um den Faktor 20 bis 40 unter den Annahmen der Kommissionsmehrheit liegen, führen dazu, dass sich das FNE-Szenario als das Szenario mit den höchsten Gesamtkosten (direkte und externe Kosten) ergibt.

(1533) Berücksichtigt man die in Kapitel 5.2.3 dargestellten Berechnungs- und Interpretationsunterschiede der Gutachter, die unterschiedlichen Basisdatensätze und die unterschiedlichen Ausbaupfade, so ist die Bandbreite der zusätzlichen volkswirtschaftlichen Kosten relativ klein, des Weiteren liegen diese Zahlen sehr nahe beieinander und schätzen die auf die Volkswirtschaft zukommenden zusätzlichen Kosten daher wohl relativ zuverlässig. Vor dem Hintergrund des mit diesen Mehrkosten verbundenen Nutzens – nämlich der Reduktion der Treibhausgasemissionen um 80 % bis 2050 bei Verzicht auf die Kernenergie, die Schaffung von Arbeitsplätzen und Standortvorteilen für zukunftssträchtige Wirtschaftszweige in Deutschland – sind für die Kommission selbst die Maximalwerte gesellschaftlich vermittelbar

und akzeptabel. Diese Schlussfolgerung gilt erst recht, wenn die externen Kosten mit ins Kalkül gezogen werden.

5.4.5 Nachhaltige Energiewirtschaft durch effiziente Energietechnologien und erneuerbare Energien

(1534) Aufgrund all dieser Überlegungen kommt die Kommission zu der Überzeugung, dass nur ein am Szenario „REG/REN-Offensive“ orientierter Entwicklungspfad als nachhaltig bezeichnet werden kann. Eine Hauptaufgabe zukünftiger Energiepolitik wird es sein, die heutige Energiewirtschaft und neue Akteure in diesem Transformationsprozess zu begleiten und zu fordern. Implementiert man in diese „REG/REN-Offensive“ auch noch Aspekte der Steigerung der Umwandlungseffizienz, ohne dabei den Ausbau der erneuerbaren Energietechnologien zu behindern, so wird es noch leichter, den gewünschten Klimaschutzeffekt zu erreichen.

(1535) Das Szenario „REG/REN-Offensive“ ist gesellschaftlich und technologisch entwicklungs offen: Wie die Variante 2 dieses Szenarios aufzeigt, ist auch eine volle Versorgung auf Basis der erneuerbaren Energietechnologien möglich. Allerdings sollte diese angesichts der zusätzlichen hohen Kosten aus heutiger Sicht nicht schon bis 2050 realisiert werden, sofern nicht zusätzliche Kostendegressionen gegenüber den Annahmen erreicht werden. Eine Offensive in den erneuerbaren und Effizienztechnologien ermöglicht es jedoch auch, falls notwendig, noch früher mit entsprechender Vorlaufzeit aus der Atomenergie auszusteigen, und ist somit nicht nur der Weg mit den geringsten negativen Auswirkungen, sondern eröffnet Deutschland neue und große Handlungsspielräume.