

Sektorale Emissionspfade in Deutschland bis 2050 - Sektoren Gewerbe, Handel, Dienst- leistungen (GHD) und Industrie

Arbeitspaket 1.2 im Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: **Wissenschaftliche Unterstützung "Erstellung und Begleitung des Klimaschutzplans 2050"** (FKZ UM 15 41 1860)

Karlsruhe,
21.03.2016

Autorinnen und Autoren

Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)

Katharina Wohlfarth, Barbara Schlomann
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Industrie

Eberhard Jochem, Felix Reitze, Michael Schön und Felipe Toro
Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien IREES

Büro Berlin

Schicklerstraße 5-7
10179 Berlin
Telefon +49 30 405085-0
info@oeko.de
www.oeko.de

Fraunhofer ISI

Breslauer Str. 48
76139 Karlsruhe
Ansprechpartnerin Barbara Schlomann
Telefon +49 721 6809-136
www.fraunhofer.de

IREES GmbH

Schönfeldstraße 8
D-76131 Karlsruhe
Ansprechpartner: Felix Reitze
Telefon +49 721 915696-0
www.irees.de

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis	5
1. Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	7
1.1. Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor GHD	9
1.1.1. Rahmenannahmen	9
1.1.1.1. Klimaschutzszenarien 2050	9
1.1.1.2. Modell Deutschland	10
1.1.1.3. Energiereferenzprognose	12
1.1.1.4. Energieszenarien 2010	12
1.1.1.5. Projektionsbericht 2013	13
1.1.1.6. Projektionsbericht 2015	15
1.1.1.7. Übersicht ausgewählter Rahmendaten für alle Studien	15
1.1.2. Entwicklung sektorspezifischer (z.B. energetischer) Indikatoren	17
1.1.3. Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien	20
1.2. Ableitung struktureller Entwicklungsschritte (transformative Pfade)	22
1.3. Handlungsbedarf bis zum Jahr 2030	23
2. Industrie	25
2.1. Szenarienauswahl	25
2.2. Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor Industrie	27
2.3. Ableitung transformativer Pfade	34
2.3.1. Nachfrageverminderung der energieintensiven Grundstoffe sowie Möglichkeiten der Substitution bei den Werkstoffen bzw. bei den Rohstoffen	35
2.3.2. Verminderung der Verluste bei der Nutzenergie	36
2.3.3. Verminderung der Verluste bei Energiewandlern von Endenergie auf Nutzenergie (inklusive der Verteilung der Nutzenergie)	37
2.3.4. Flexibilisierung der Strom- und Wärme- bzw. Kältenachfrage und Stromeigenerzeugung	38
2.3.5. Substitution der fossilen Energieträger durch CO ₂ -freie oder neutrale Energieträger	38
2.3.6. Prozessbedingte Emissionen - ihre Verminderung oder Vermeidung	39
2.3.7. Zulieferer von Technologie, Installation und Beratung sowie Intermediäre	39
2.3.8. Förderung von produktionsbegleitenden Dienstleistungen der Technologieproduzenten	40
2.4. Transformationsbedarf bis zum Jahr 2030	41
Literaturverzeichnis	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Rahmendaten im Szenarienvergleich (CAGR) jeweiliger Basis - 2050	17
Abbildung 1-2:	Indikatoren für den Sektor GHD im Vergleich (CAGR) jeweiliges Basisjahr (2005/2008/2011)-2050	20
Abbildung 2-1:	Szenarienvergleich: Absolute THG-Gesamtemissionen der Industrie von 2020 bis 2050	28
Abbildung 2-2:	Szenarienvergleich: Minderung der Gesamtemissionen der Industrie ggü. 1990; Energierferenzprognose nicht einbezogen, da diese nur energiebedingte Treibhausgasemissionen ausweist	29
Abbildung 2-3:	Szenarienvergleich: Minderung der energiebedingten Treibhausgas-Emissionen der Industrie	30
Abbildung 2-4:	Sektorale Aufteilung der Emissionsminderungen zwischen 2010 und 2050	31
Abbildung 2-5:	Szenarienvergleich: Minderung der prozessbedingten Emissionen der Industrie 2020 bis 2050 ggü. 1990 ¹⁾ ;	32
Abbildung 2-6:	Von der Nachfrage nach Energiedienstleistungen über den Nutz- und Endenergie-Bedarf zum Primärenergiebedarf und den energiebedingten THG-Emissionen, Deutschland 2010	33
Abbildung 2-7:	Entwicklung der THG-Emissionen der deutschen Industrie von 1990 bis 2013 (einschließlich der indirekten energiebedingten Emissionen)	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Überblick über die betrachteten Studien und Szenarien für den GHD-Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)	7
Tabelle 1-2:	Rahmenvorgaben für die Klimaschutzszenarien	10
Tabelle 1-3:	Eckpunkte der Szenarien	13
Tabelle 1-4:	Ausgewählte demographische und wirtschaftliche Rahmendaten, 2005-2030	14
Tabelle 1-5:	Erwerbstätige im Dienstleistungssektor im Szenarienvergleich	15
Tabelle 1-6:	Bruttowertschöpfung im Dienstleistungssektor im Szenarienvergleich	16
Tabelle 1-7:	Bruttoinlandsprodukt im Szenarienvergleich	16
Tabelle 1-8:	Absolutwerte Endenergieverbrauch im Dienstleistungssektor im Szenarienvergleich	18
Tabelle 1-9:	Absolutwerte energiebedingter THG im Dienstleistungssektor im Szenarienvergleich	19
Tabelle 1-10:	Übersicht Zielindikatoren - Absolutwerte	20
Tabelle 2-1:	Rahmenannahmen der Szenarien für das Jahr 2030, sofern erforderlich, einheitlich auf Preisbasis 2010 umgerechnet	27
Tabelle 2-2:	Rahmenannahmen der Szenarien für das Jahr 2050, sofern erforderlich, einheitlich auf Preisbasis 2010 umgerechnet	27
Tabelle 2-3:	Annahmen zur Entwicklung der Produktion energieintensiver Grundstoffe gemäß Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015)	34

1. Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

In der Energiebilanz für Deutschland¹ wird der Endverbrauchssektor „Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)“ wie folgt abgegrenzt: Es werden aus dem Bereich des Produzierenden und Verarbeitenden Gewerbes dem GHD-Sektor alle Handwerksbetriebe und Betriebe bis 19 Beschäftigten (industrielle Kleinbetriebe) zugerechnet. Hinzu kommen alle Betriebe des Handel- und Dienstleistungsbereiches sowie „Land- und Forstwirtschaft“ und „militärische Dienststellen“. In den hier betrachteten Studien und ihren Szenarien wird jedoch teilweise der gebäudebezogene Energiebedarf des Sektors separat ausgewiesen. Auch die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft werden teilweise separat berechnet. Diese unterschiedliche Abgrenzung des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) ist in den hier näher betrachteten Studien zu berücksichtigen (Tabelle 1-1). Die Heterogenität und unterschiedliche Abgrenzung des Sektors führt auch dazu, dass es für Deutschland keine Studien gibt, in denen ausschließlich die zukünftige Energienachfrage dieses Sektors betrachtet wird. Er ist jeweils nur Bestandteil von übergreifenden Studien und Szenarien.

Die in diesem Forschungsvorhaben vorgenommene sektorale Abgrenzung, der auch die im Rahmen des Arbeitspaketes 1.2 erstellten Sektorpapiere folgen, betrachtet ebenfalls den gesamten Gebäudesektor (Wohn- und Nichtwohngebäude) sowie die Landwirtschaft separat. Der GHD-Sektor wird hier im Rahmen des Sektorpapiers zur Industrie behandelt.

Tabelle 1-1: Überblick über die betrachteten Studien und Szenarien für den GHD-Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)

Studie	normativ oder explorativ	Def. GHD-Sektor	Implementierung politischer Instrumente und Maßnahmen	Zeithorizont
Klimaschutzszenario 2050	Ziel 80% bzw. 95%	ohne Gebäude und Landwirtschaft	Maßnahmen: aktuelle (AMS) bzw. zusätzliche (KS80 / KS95)	2050
Energierferenzprognose	explorativ	Abgrenzung der Energiebilanz	zusätzliche Maßnahmen	2050
Energieszenarien 2010	explorativ	Abgrenzung der Energiebilanz	zusätzliche Maßnahmen	2050
Modell D	normativ	Abgrenzung der Energiebilanz	zusätzliche Maßnahmen	2050
Projektionsberichte 2013/ 2015	explorativ	ohne Gebäude und Landwirtschaft	Instrumente: aktuelle (MMS) bzw. zusätzliche (MWMS)	2035

Im Folgenden werden die für den GHD-Sektor berücksichtigten Studien und die dort unterschiedlichen Szenarien kurz charakterisiert.

¹ www.ag-energiebilanzen.de

Klimaschutzszenario 2050

In dieser Studie des Öko-Institut und Fraunhofer ISI im Auftrag des BMUB werden drei Szenarien mit unterschiedlichen klimapolitischen Annahmen für den Zeithorizont bis 2050 analysiert: Das „Aktuelle-Maßnahmen-Szenario (2012)“ bildet den Ist-Stand der energie- und klimapolitischen Rahmensetzungen ab. Die langfristigen Klimaschutzziele werden in diesem Szenario nicht erreicht. Im „Klimaschutzszenario 80“ wird bis zum Jahr 2050 eine Emissionsminderung um 80% gegenüber 1990 erreicht. Im ambitionierten „Klimaschutzszenario 95“ wird bis zum Jahr 2050 eine Emissionsminderung um 95% erreicht. Im Vergleich zur ersten Modellierungsrunde, in der 90 % Minderung erreicht werden sollte, wird nun der ambitionierte Wert in Ansatz gebracht.

Im Gegensatz beispielsweise zum Projektionsbericht 2015 der Bundesregierung (2015) oder den Politikenszenarien für den Klimaschutz VI (Öko-Institut et al., 2013) handelt es sich bei den Klimaschutzszenarien nicht um eine maßnahmenorientierte, sondern eine zielorientierte Modellierung, d.h. in welchen Sektoren welche Minderungsbeiträge erbracht werden müssten und welche Maßnahmen hierzu erforderlich wären.

Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose

Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) von der Prognos AG, dem Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität Köln (EWI) und der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS) durchgeführt.

Kern der Studie stellt die Prognose der wahrscheinlichen energiewirtschaftlichen Entwicklung bis zum Jahr 2030 dar (Referenzszenario). Sie berücksichtigt eine weiter verschärfte Energie- und Klimaschutzpolitik ebenso wie (fort-)bestehende Hemmnisse (z.B. Informationsdefizite, individuelle Präferenzen, mangelnder Zugang zu Kapital, spezifische Investitionskalküle, irrationales Verhalten, Marktversagen, Beharrungskräfte und ungelöste Verteilungsfragen) für deren Umsetzung und zeichnet somit ein aus Sicht der Autoren der Studie wahrscheinliches Bild der energiewirtschaftlichen Entwicklung in Deutschland vor dem Hintergrund der erwarteten wirtschaftlichen, demografischen und politischen Veränderungen im nationalen und internationalen Umfeld. Es werden auch Maßnahmen berücksichtigt, die heute noch nicht beschlossen sind. Dieses Szenario wird ergänzt um ein Trendszenario, das bis ins Jahr 2050 reicht und um ein Zielszenario, neben dem Sensitivitätsrechnungen erstellt sowie mehrere Schwerpunktthemen behandelt werden. Das Zielszenario folgt der Annahme, dass die meisten langfristig formulierten Ziele der Bundesregierung erreicht werden – gegenüber den aus Sicht der Autoren als wahrscheinlicher angesehenen Referenz- und Trendszenarien, die damit eine konservativere Sicht auf mögliche Entwicklungen darstellen.

Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken

Diese Studie entstand im Auftrag des WWF, bearbeitet durch die Prognos AG und das Öko-Institut.

Die Studie untersucht mögliche Entwicklungen der Treibhausgasemissionen, um technische Maßnahmen sowie politisch-strategische Empfehlungen abzuleiten. Hierzu werden zwei modellgestützte quantitative Szenarien entwickelt: Ein Szenario mit ambitionierter Fortsetzung heutiger Energie- und Klimaschutzpolitik (Referenzszenario) und ein Innovationsszenario, das den Umbau zur emissionsarmen Gesellschaft vom Ziel der 95 %-igen Emissionsreduktion (und anderen Leitlinien wie bspw. Restriktionen für den Einsatz von Biomasse) her untersucht.

Die demografische und wirtschaftliche Entwicklung Deutschlands dienen als Ausgangspunkte der jeweiligen Szenarien. Dabei wird von einem Bevölkerungsrückgang um 12,5% (2005 bis 2050) ausgegangen. Das Bruttoinlandsprodukt liegt 2050 um etwa ein Drittel höher als 2005.

Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung (2010):

Diese Studie wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) beauftragt und von der Prognos AG, dem Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität Köln (EWI) und der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS) durchgeführt.

Als Basis der Konzepte werden eine Referenzentwicklung, sowie vier unterschiedliche Szenarien entwickelt, die unterschiedliche Entwicklungen der Energieversorgung Deutschlands annehmen. Die zugrundeliegenden Annahmen wurden zwischen Auftraggeber und Gutachtern entwickelt. Die zentrale Frage ist auf technische Maßnahmen hin gerichtet, die geeignet sind, die formulierten Ziele zu erreichen und eine sachliche Grundlage für energie- und klimapolitische Entscheidungen zu liefern. Die Ergebnisse der Zielszenarien sind im Vergleich zum Referenzszenario zu beurteilen. Es werden folgende Szenarien unterschieden:

Das Referenzszenario beschreibt die Entwicklung, die sich darstellen könnte, wenn die bislang angelegten Politiken in die Zukunft fortgeschrieben werden. Dabei ist angenommen, dass die Politik nicht auf dem heutigen Stand verharrt, sondern auch hier Anpassungen vorgenommen werden, die die in der Vergangenheit beobachteten Trends fortschreiben.

Die Szenarien I bis IV beschreiben Zielszenarien, in denen Vorgaben für die Minderung der energiebedingten THG-Emissionen und für deren Anteil der erneuerbaren Energien zu erreichen sind.

Darüber hinaus wird angenommen, dass CCS ab 2025 zur Verfügung steht.

Projektionsbericht 2013/ 2015:

Für den deutschen Projektionsbericht 2013 sowie den Projektionsbericht 2015 hat ein Forschungskonsortium im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland für den Zeitraum 2005 bis 2030 bzw. 2035 erarbeitet:

Im Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) werden alle bis Oktober 2012 bzw. bis 31. August 2014 ergriffenen Maßnahmen berücksichtigt. Diese Maßnahmen werden mit einer (hypothetischen) Entwicklung verglichen, die den Verlauf ohne diese Maßnahmen bzw. ohne die entsprechende Novelisierung bereits bestehender Politiken und Maßnahmen darstellt. Dabei wurden diejenigen Maßnahmen berücksichtigt, die vor dem jeweils beschriebenen Wirkungsbeginn der vom MMS erfassten Maßnahmen wirksam waren. Im Mit-weiteren-Maßnahmen-Szenario (MWMS) werden auch darüber hinausgehende, zusätzliche Maßnahmen mit jeweils definiertem Wirkungsbeginn untersucht. Die Wirkungsschätzung der Maßnahmen im MWMS erfolgt im Vergleich zum Mit-Maßnahmen-Szenario.

1.1. Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor GHD

1.1.1. Rahmenannahmen

1.1.1.1. Klimaschutzszenarien 2050

Kern und Grundlage der Szenarientwicklung sowie der entsprechenden Analysen bildet ein System von Zielvorgaben für Deutschland, das mit dem Energiekonzept 2010/2011 auf die energie- und klimapolitische Agenda gesetzt worden ist. Grundsätzlich erfolgt die Erstellung der Projektio-

nen in den Szenarien auf der Basis von Annahmen für Bevölkerungsentwicklung, Wirtschafts- und Wirtschaftsstrukturentwicklung, Energiepreisentwicklungen und Politiken und Maßnahmen.

Tabelle 1-2: Rahmenvorgaben für die Klimaschutzszenarien

Zieldatensatz des Energiekonzepts 2010/2011 und Rahmenvorgaben für die Klimaschutzszenarien

	Treibhausgas-emissionen	Erneuerbare Energien		Minderung Energiebedarf				Steigerung Energieproduktivität
		Brutto-Endenergie	Strom-erzeugung	Primär-energie	Gebäude-Wärme	Endenergie Verkehr	Strom-verbrauch	
2020	-40%	18%	35%	-20%	-20%	-10%	-10%	2,1% p.a.
2030	-55%	30%	50%					
2040	-70%	45%	65%					
2050	-80% -[bis -95%]	60%	80%	-50%	-80%	-40%	-25%	
Basis	1990			2008	2008	2005	2008	2008

Energieproduktivität bezogen auf den Endenergieverbrauch

Quelle: BMWi (2011)

Dienstleistungssektor GHD – außer gebäudebezogener Energiebedarf

Die Modellierung der nicht-gebäudebezogenen Wärme- und Stromnachfrage erfolgte durch das Modul FORECAST-Tertiary. Der GHD-Sektor umfasst demnach die Branchen (WZ 2003):

- Beherbergungs- und Gaststätten (H)
- Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen (N)
- Erziehung und Unterricht (M)
- Groß- und Einzelhandel (G)
- Verkehr und Nachrichtenübermittlung (I)
- Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung (L)
- Kreditinstitute und Versicherungen (J)
- Sonstige Dienstleistungen und Grundstücks- und Wohnungswesen (O + K)

Der Energieverbrauch einzelner Branchen und Energiedienstleistungen wird in Abhängigkeit von Rahmenbedingungen (u.a. Wirtschaftsentwicklung, Effizienzpolitik, Energiepreise) berechnet. Zentrale Aktivitätsgrößen sind die Anzahl der Beschäftigten und die Nutzfläche je Branche des Sektors GHD. Die Verbreitung von Effizienzmaßnahmen senkt den spezifischen Energieverbrauch einzelner Energiedienstleistungen und spiegelt so eine unterschiedliche Überwindung von Hemmnissen durch politische Instrumente zur Förderung der Energieeffizienz wieder bzw. variierende Energiepreise. Modelliert wird die Diffusion von Effizienzmaßnahmen als eine Summe von Investitionsentscheidungen der Unternehmen.

1.1.1.2. Modell Deutschland

Zentrale Ausgangspunkte für die Szenarientwicklung sind die demographische und die wirtschaftliche Entwicklung in Deutschland. Das Referenzszenario und das Innovationsszenario gehen grundsätzlich von identischen Annahmen für die Entwicklung der sozioökonomischen Parameter,

der Energiepreise und der Klimafaktoren aus. Diese Annahmen basieren auf den aktuellen, regelmäßig wiederkehrenden Arbeiten der Prognos AG zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, wie dem Deutschland Report und dem Weltreport. Die Ausgangsdaten für die Bevölkerungsprognosen basieren auf der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamts [STaBu 11. Koord].

Die Bevölkerung nimmt trotz einer durchschnittlichen Nettozuwanderung von ca. 150.000 Personen jährlich im Zeitraum von 2005 bis 2050 um 12,5 % ab. Die Haushaltsgrößen verkleinern sich, die durchschnittlichen Wohnflächen pro Kopf werden ausgeweitet, so dass die bewohnten Flächen insgesamt um knapp 9 % zunehmen. Das reale Bruttoinlandsprodukt (BIP) liegt 2050 um rund ein Drittel über dem Niveau des Jahres 2005.

In den Szenarien wird der dargestellte wirtschaftliche Strukturwandel fortgesetzt. Es wird angenommen, dass Energie- und Klimaschutzpolitik weiterhin etwa im Rahmen der bisherigen Bemühungen angegangen und betrieben werden. Im energiewirtschaftlichen Zieldreieck zwischen Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit/ Nachhaltigkeit wird vor allem ersteren Beiden eine hohe Relevanz zugeschrieben. Entscheidungen zu Effizienzmaßnahmen werden nach Wirtschaftlichkeitsaspekten getroffen. Das Wirtschaftlichkeitsgebot wird als Konsens angenommen.

Dienstleistungssektor GHD

Die Modellierung des Energieverbrauchs erfolgt im Sektor Dienstleistungen differenziert nach Verwendungszwecken, Energieträgern und – bedingt durch die Heterogenität des Sektors – Branchen. Unterschieden wird nach 11 Branchen, darunter Landwirtschaft/Gärtnereien, industrielles/handwerkliches Kleingewerbe, Baugewerbe, Handel, Kredit-/Versicherungsgewerbe, Verkehr/Nachrichtenübermittlung, übrige private Dienstleistungen, Gesundheitswesen, Unterrichtswesen, öffentliche Verwaltung/Sozialversicherung, Verteidigung/Militär.

Der Energieverbrauch im Sektor GHD orientiert sich an der Entwicklung entsprechender branchenspezifischer Leitindikatoren, typischerweise der Zahl der Erwerbstätigen und die Bruttowertschöpfung.

Die Bruttowertschöpfung steigt bis 2050 gegenüber dem Niveau des Jahres 2005 um 46% an. Dies spiegelt sich in einem weiteren Strukturwandel wider. Die bereits jetzt starken Branchen Kreditwesen und Versicherungen, Verkehr und Nachrichtenübermittlung, sonstige private Dienstleistungen sowie das Gesundheitswesen verzeichnen ein Wachstum der Bruttowertschöpfung um bis zu 72 %. Das Wachstum der Dienstleistungsbranchen wird unter anderem auch durch Auslagerung von Tätigkeiten aus dem Industriesektor beschleunigt. Landwirtschaft und Gärtnerei, Kleinbetriebe und Handwerk, Baugewerbe sowie die öffentliche Verwaltung entwickeln sich dagegen unterdurchschnittlich. Das gilt auch für die Beschäftigung in diesen Bereichen.

Die Zahl der Erwerbstätigen geht zwischen 2005 und 2050 trotz steigender Bruttowertschöpfung durch fortschreitende Automatisierung um ca. 10 % zurück. In den Branchen Landwirtschaft und Gärtnerei, Kleinbetriebe und Handwerk, Baugewerbe sowie in der öffentlichen Verwaltung sinkt die Zahl der Erwerbstätigen um bis zu 45 %. Dagegen wird im Gesundheitswesen die Beschäftigung um 15 % ausgeweitet. Die Berechnung des Energieverbrauchs erfolgt einzeln für jeden Verwendungszweck und Energieträger sowie für jede Branche. Der Energieverbrauch in einem Jahr setzt sich damit aus 462 Einzelkomponenten zusammen.

1.1.1.3. **Energierferenzprognose**

In den Rahmendaten wird sowohl für Energierferenzprognose wie auch für das Trendszenario davon ausgegangen, dass die Integration der Weltwirtschaft im Betrachtungszeitraum 2011-2050 weiter voran schreitet.

In Referenzprognose und Trendszenario werden die Ziele des Energiekonzepts der Bundesregierung überwiegend nicht erreicht. Das Zielszenario zeigt, was erforderlich wäre, um die im Energiekonzept definierten energie- und klimaschutzpolitischen Ziele zu erreichen. Als Zielwerte werden für die mittel- bis langfristigen nationalen Treibhausgasemissionen die Angaben des Energiekonzepts (gegenüber 1990 minus 55 % bis 2030 und minus 80 % bis 2050) definiert.

Dabei geht es von anderen Grundvoraussetzungen aus als Referenzprognose und Trendszenario. Es unterstellt, dass die energie- und klimapolitischen Ziele vorrangig verfolgt werden und es der Politik gelingt, in vielen Bereichen bestehende Hemmnisse zu überwinden. Aus Sicht der Autoren ist das nicht wahrscheinlich.

Dienstleistungssektor GHD

Der Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher (GHD) umfasst u.a. alle Dienstleistungsbranchen sowie Handwerksbetriebe und die Landwirtschaft.

Die Berechnungen unterliegen der Annahme, dass die Bruttowertschöpfung im Sektor GHD 2030 (2050) real um 21 % (44 %) höher liegt als 2011 und die Beschäftigung bis 2030 (2050) um mehr als 5 % (10 %) zurückgeht. Bekannte Technologien werden energieeffizienter werden, im GHD Sektor werden vor allem Querschnittstechnologien betrachtet. Die zunehmende Nutzung von Informations- und Kommunikationsgeräten sowie die wachsende Bedeutung der Kühlung und Lüftung bedingt, dass sich kaum eine Verringerung des Stromverbrauchs verzeichnen lassen wird. Die geringere Beschäftigung in einzelnen Branchen spiegelt sich in einer Verringerung der beheizten Flächen wider.

1.1.1.4. **Energieszenarien 2010**

Berechnungsgrundlagen der Szenarien sind Annahmen zur Entwicklung von Bevölkerung, Wirtschaft und Energiepreisen und zur Energie- und Klimaschutzpolitik. Die einzelnen Verbrauchssektoren werden dabei in ihren direkten energierelevanten Prozessen und Verwendungszwecken abgebildet, hinzu kommen die Energieeinsätze für die Erzeugung von Strom und Fernwärme. Es handelt sich um bottom-up-Modelle für die einzelnen Sektoren auf Basis geeigneter Leitvariablen für Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Verwendungszwecken. Die Auswirkungen von Energiepreisveränderungen werden ökonometrisch abgeschätzt und integriert.

Die Bevölkerung in Deutschland wird zurückgehen und weiter altern. Das Bruttoinlandsprodukt steigt mit einer durchschnittlichen jährlichen Rate von 1%, die Wirtschaftsstruktur wird sich zugunsten der Dienstleistungen verschieben.

Die wichtigsten Eckpunkte, die den Szenarien zugrunde liegen, finden sich in nachfolgender Tabelle:

Tabelle 1-3: Eckpunkte der Szenarien

	Szenario I	Szenario II	Szenario III	Szenario IV	Trendentwicklung
THG-Emissionen	- 40 % bis 2020 - 85 % bis 2050	- 40 % bis 2020 - 85 % bis 2050	- 40 % bis 2020 - 85 % bis 2050	- 40 % bis 2020 - 85 % bis 2050	Vorschlag Gutachter
Kernenergie Laufzeitverlängerung	4 Jahre	12 Jahre	20 Jahre	28 Jahre	keine LZV
Energieeffizienz (Steigerung)	endogen bestimmt	2,3 – 2,5 % p.a.	2,3 – 2,5 % p.a.	endogen bestimmt	Business as usual (1,7 – 1,9 % p.a.)
Erneuerbare Energien Anteil am Bruttoendenergieverbrauch 2020	≥ 18 %	≥ 18 %	≥ 18 %	≥ 18 %	≥ 16 %
Anteil am Primärenergieverbrauch 2050	≥ 50 %	≥ 50 %	≥ 50 %	≥ 50 %	Vorschlag Gutachter

Prognos / EWI / GWS 2010

Energieeffizienz bezeichnet hier die Wirtschaftsleistung (BIP) pro Endenergieverbrauch (EEV-Produktivität).

Dienstleistungssektor GHD

Der Dienstleistungssektor umfasst in diesen Modellannahmen auch den Bereich der Landwirtschaft. Einzelne Branchen sind in den Darstellungen nicht ausgewiesen.

Die genannten Voraussetzungen bezüglich des Strukturwandels gelten ebenso für den Dienstleistungssektor, allerdings sind die Auswirkungen hier geringer, z.B. weil Prozesswärme und mechanische Energie in diesem Sektor geringere Bedeutung haben.

Die Unterschiede zwischen Referenz- und Zielszenarien sind im GHD-Sektor vergleichsweise gering, da bereits in der Referenz deutliche Effizienzentwicklungen in mehreren Anwendungsbereichen unterstellt werden. Wie im Industriesektor sind die Szenarien I und III einander sehr ähnlich.

Insgesamt wächst der Dienstleistungssektor über den Betrachtungszeitraum um etwa 50% an, daher nehmen genutzte Flächen und Arbeitsplätze zu, was sich auch auf die Ausstattung auswirkt. Insbesondere betrifft das Wachstum die Branchen Gesundheit, Verkehr/ Nachrichten, Kredit/ Versicherungen, Handel, Bildung/ Erziehung und sonstige private Dienstleistungen.

1.1.1.5. Projektionsbericht 2013

Im Rahmen der Szenarienanalysen erfolgte eine detaillierte Analyse der bisher ergriffenen bzw. auch darüber hinausgehender klima- und energiepolitischen Maßnahmen hinsichtlich ihrer Effekte für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Deutschland.

Für die Entwicklung der Energiebedarfs- und Emissionsszenarien spielt eine Reihe wichtiger Rahmensetzungen eine entscheidende Rolle. Dies betrifft sowohl die demographischen und wirtschaft-

lichen Rahmendaten als auch die Entwicklung der Energiepreise. Es wurden Daten, die bis zum 30.6.2012 veröffentlicht wurden, verwendet. Daten die nach diesem Datum erschienen sind, konnten in der Modellierung nicht mehr berücksichtigt werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die wichtigsten Rahmendaten für die Szenarien im Überblick.

Der Szenarientwicklung liegt eine demographische Entwicklung zugrunde, in der die deutsche Wohnbevölkerung um das Jahr 2008 herum ihr höchstes Niveau erreicht und in den folgenden Jahren leicht zurückgeht, so dass für das Jahr 2030 knapp 79 Millionen Einwohner erwartet werden. Trotzdem erhöht sich die Zahl der Privathaushalte durch den anhaltenden Trend zu kleineren Haushalten bis zum Jahr 2030 noch leicht.

Tabelle 1-4: Ausgewählte demographische und wirtschaftliche Rahmendaten, 2005-2030

	2008	2015	2020	2025	2030
Demographische Entwicklung					
Wohnbevölkerung (1.000 Einwohner)	81.856	80.929	80.625	80.020	79.046
Private Haushalte (1.000 Einwohner)	39.480	40.120	40.760	40.960	40.970
Wirtschaftliche Entwicklung					
Bruttoinlandsprodukt (Mrd. € 2010)	2.518	2.678	2.896	3.059	3.232
Bruttowertschöpfung des Produzierenden Gewerbes (Mrd. € 2010)	680	761	823	869	917
Beschäftigte im Produzierenden Gewerbe (1.000 Beschäftigte)	7.282	6.860	7.071	7.184	7.280
Beschäftigte im Dienstleistungssektor (1.000 Beschäftigte)	31.294	31.522	30.264	28.947	27.838
Primärenergieträgerpreise					
Rohöl (US-\$/bbl)	104	117	127	139	151
CO ₂ -Zertifikatspreise (€/EUA)	23	14	14	22	30

Quellen: Statistisches Bundesamt, Bafa, EIA, OECD, Berechnungen Öko-Institut und Fraunhofer ISI

Dienstleistungssektor GHD

Berechnungen werden auch hier anhand des Moduls FORECAST-Tertiary vorgenommen und umfasst hier die Branchen (WZ 2003):

- Beherbergungs- und Gaststätten (H)
- Gesundheits-, Veterinär- und Sozialwesen (N)
- Erziehung und Unterricht (M)
- Groß- und Einzelhandel (G)
- Verkehr und Nachrichtenübermittlung (I)
- Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Sozialversicherung (L)
- Kreditinstitute und Versicherungen (J)
- Sonstige Dienstleistungen und Grundstücks- und Wohnungswesen (O + K)

Angaben zu den Rahmendaten sind nach WZ 2008 ausgewiesen (Erziehung und Unterricht, Finanz- und Versicherungsdienstleistungen, Gesundheits- und Sozialwesen, Gastgewerbe, Handel; Reparatur von Fahrzeugen, Öffentliche Verwaltung, Verteidigung, Verkehr, Information und Kommunikation, Sonstige Wirtschaftszweige).

Die wesentlichen gesamtwirtschaftlichen Rahmendaten für die Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) sind die Entwicklung der realen Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftszweigen sowie die Entwicklung der Zahl der Erwerbstätigen.

1.1.1.6. Projektionsbericht 2015

Die Rahmendaten für den Bereich Demographie & Wirtschaft werden durch die Verzahnung der beiden Modelle FARM-EU sowie ASTRA-D generiert und betrifft die Größen: Bevölkerung (ASTRA-D), gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (BIP, auf Grundlage der Bevölkerungsentwicklung und aktueller wirtschaftlicher Gegebenheiten mit Hilfe von FARM-EU), sektoralen Bruttowertschöpfung (BWS, aus dem BIP in ASTRA-D) und Beschäftigungsergebnisse (basierend auf der BWS).

Dienstleistungssektor GHD

Die Eingrenzung des Sektors erfolgte analog zu den Annahmen im Projektionsbericht 2013. Die wesentlichen gesamtwirtschaftlichen Rahmendaten für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) sind die Entwicklung der Beschäftigten sowie die Energiebezugsfläche.

1.1.1.7. Übersicht ausgewählter Rahmendaten für alle Studien

Im Folgenden werden ausgewählte Rahmendaten (Erwerbstätige, Bruttowertschöpfung und Bruttoinlandsprodukt) der einzelnen Studien vergleichend dargestellt. Je nach Studie reichen die Prognosewerte nicht gleich weit in die Zukunft hinein. Die für die Berechnung der untenstehenden durchschnittlichen Wachstumsraten (CAGR, Compound Annual Growth Rate) angenommenen Basisjahre sind in den jeweiligen Jahresspalten angegeben.

Tabelle 1-5: Erwerbstätige im Dienstleistungssektor im Szenarienvergleich

Erwerbstätige (Mio.)		2005	2008	2010	2011	2020	2030	2040	2050
Bezeichnung		Jahr				Prognosen			
ModellDeutschland	MD - Ref	32,63				33,79	31,98	30,24	29,33
	MD - Inno	32,63				34,16	32,55	30,95	30,15
Klimaschutzszenarien	KSZ 1. Runde		29,20			28,63	27,84	29,21	29,59
	KSZ 2. Runde			29,95		29,67	30,02	29,87	29,72
Energierferenzprognose	ERP				30,4	29,9	29,4	29	28,4
Projektionsbericht	PB - 2013		31,29			30,26	27,84		
	PB - 2015			28,2		30	31		

Tabelle 1-6: Bruttowertschöpfung im Dienstleistungssektor im Szenarienvergleich

BWS (Gesamt)		2005	2008	2010	2011	2020	2030	2040	2050
Bezeichnung		Jahr				Prognosen			
ModellDeutschland (Mrd. € 2000)	MD - Ref	1503				1736	1861	1991	2196
	MD - Inno	1503				1766	1912	2062	2288
Klimaschutzszenarien (Mrd. € 2010)	KSZ - 1. Runde			1650		1752	1944	2128	2321
	KSZ - 2. Runde			1645		1858	2031	2180	2313
Energierferenzprognose (Mrd. € 2005)	ERP				1557	1.690	1.901	2.092	2.280
Energieszenarien (Mrd. € 2008)	EZ		1404			1557	1717	1912	2152
Projektionsbericht 2013 (Mrd. € 2010)	PB - 2013		1650			2083	2544		

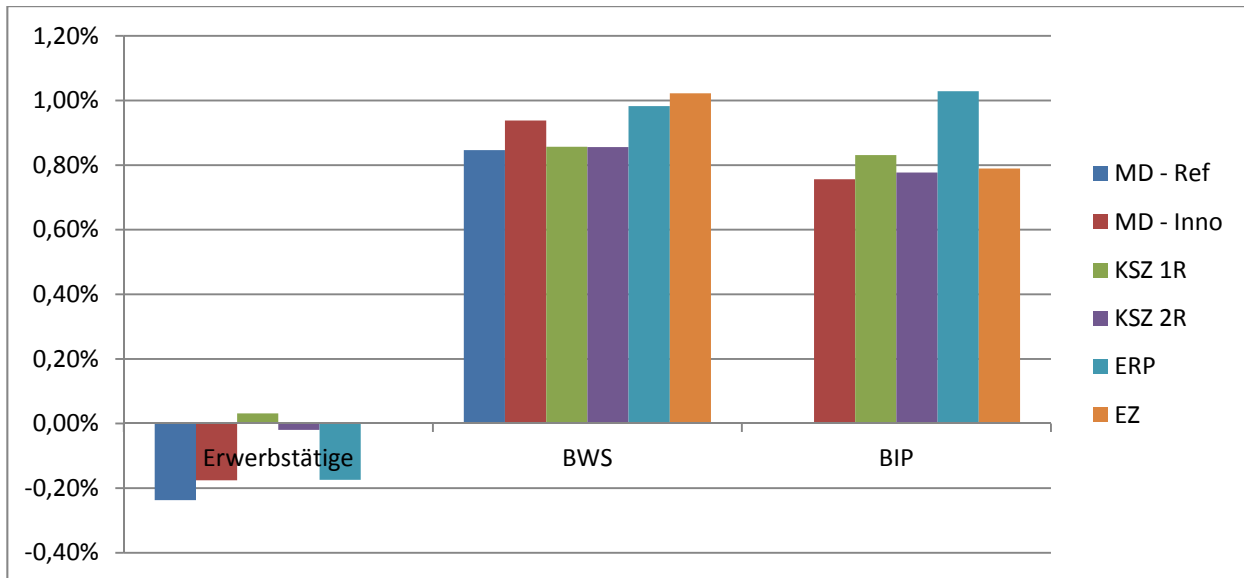
Tabelle 1-7: Bruttoinlandsprodukt im Szenarienvergleich

BIP		2005	2008	2010	2011	2020	2030	2040	2050
Bezeichnung		Jahr				Prognosen			
ModellDeutschland (Mrd. € 2000)	MD	2124				2457	2598	2743	2981
Klimaschutzszenarien (Mrd. € 2010)	KSZ - 1. Runde			2477		2772	3003	3220	3449
	KSZ - 2. Runde			2496		2752	3009	3209	3402
Energierferenzprognose (Mrd. € 2005)	ERP				2452	2688	3031		3655
Energieszenarien (Mrd. € 2008)	EZ		2270			2437	2632	2868	3158
Projektionsbericht 2013 (Mrd. € 2010)	PB - 2013		2518			2896	3232		

Die Referenzwerte für die Berechnungen der Basiswerte zur Berechnung der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten (CAGR) sind jeweils in der Jahresspalte oberstehender Tabellen angegeben.

Folgende Grafik zeigt eine Gegenüberstellung der jährlichen durchschnittlichen Wachstumsraten für all jene Szenarien, für die entsprechende Bezugswerte für das Jahr 2050 verfügbar waren.

Abbildung 1-1: Rahmendaten im Szenarienvergleich (CAGR) jeweiliger Basis - 2050



Bezüglich des Bruttoinlandsprodukts (BIP) zeigt sich, dass in allen betrachteten Studien von einem Wirtschaftswachstum ausgegangen wird. Dieses liegt in den Szenarien zwischen 0,76% (MD, Basis 2005) und 1,03% (ERP, Basis 2011). Gleiches gilt für die Bruttowertschöpfung (BWS) hier werden in den Studien EZ und ERP die höchsten Werte angenommen mit 1,02% (Basis 2011) und 0,89% (Basis 2008). Von der niedrigsten durchschnittlichen Wachstumsrate wird im Modell Deutschland (MD, Basis 2005) ausgegangen, diese fällt mit 0,85% nur geringfügig kleiner aus. Im Gegensatz zu den anderen beiden Leitwerten, wird bei der Beschäftigtenzahl nicht in allen Studien von vergleichbaren Veränderungen ausgegangen. In den Klimaschutzszenarien (KSZ 1R) wie auch im Projektionsbericht 2015 wird ein zeitweiliger Anstieg der Beschäftigung angenommen, während dieser in anderen Szenarien stetig fällt. Damit und durch die unterschiedlichen Basisjahre ergeben sich daher deutlichere Unterschiede zwischen den Szenarien, die sich im Vorzeichen der durchschnittlichen Wachstumsraten widerspiegeln. Eine positive Wachstumsrate ergibt sich so für die Klimaschutzszenarien 1R mit 0,03% Wachstum (Basis 2008, würde an der Basis 2010 bei 27,6 Mio. Beschäftigten gemessen werden, läge dieser Wert sogar bei 0,18%). Der deutlichste Rückgang wird für das Modell Deutschland angenommen, dieser liegt bei -0,24% (bei einer vergleichsweise höheren Basis 2005 mit 32,6 Mio. Beschäftigten).

1.1.2. Entwicklung sektorspezifischer (z.B. energetischer) Indikatoren

Im Folgenden werden die Entwicklungen ausgewählter Zielindikatoren für die Beschriebenen Studien verglichen. Vergangene Jahre stellen dabei Referenzpunkte dar, bzw. das jeweilige Basisjahr für die Vergleiche der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten (CAGR).

Tabelle 1-8: Absolutwerte Endenergieverbrauch im Dienstleistungssektor im Szenarienvergleich

Endenergieverbrauch (PJ)		2005	2008	2010	2011	2012	2020	2030	2040	2050
Bezeichnung		Jahr					Prognosen			
Modell Deutschland	MD - Ref	1462					1169	933	815	731
	MD - Inno	1462					1031	720	574	486
Klimaschutzszenarien	KSZ 1R - AMS		1427				1316	1161	1085	1003
	KSZ 1R - KS 80		1427				1159	909	739	650
	KSZ 1R - KS 90		1427				1141	854	648	541
	KSZ 2R - KS 80		1412				1316	1161	1085	1003
	KSZ 2R - KS 95		1412				1181	876	686	618
Energieszenarien 2010	Referenzszenario		1404,1				1244,8	1126	1028,4	912,9
	IA		1404,1				1146,5	934,6	838,1	781,4
	IIA		1404,1				1144,4	927,6	810,8	735,9
	IIIA		1404,1				1144,4	930,5	811,3	735,7
	IVA		1404,1				1130,5	872,1	778,8	734,4
	IB		1404,1				1147,8	935,2	838,4	781,4
	IIB		1404,1				1144,2	926,8	810,6	735,9
	IIIB		1404,1				1143,2	927,7	812,1	735,7
Energierferenzprognose	ERP Referenz/Trend				1346		1.133	981	894	865
	ERP Ziel				1346		1.103	920	807	752
Projektionsbericht 2015	PB - 2015					1377	1310	1160		

Tabelle 1-9: Absolutwerte energiebedingter THG im Dienstleistungssektor im Szenarienvergleich

THG Mio. t CO ₂ -Äquivalente		2005	2008	2010	2011	2012	2020	2030	2040	2050
Bezeichnung		Jahr					Prognosen			
Modell Deutschland	MD - Ref	58					40,3	25,6	16,3	13,4
	MD - Inno	58					35,7	18,7	10,8	8,4
Klimaschutzszenarien	KSZ 1R - AMS				44,1		39,2	30,3	22,5	15,8
	KSZ 1R - KS 80				44,1		35,6	23	13,1	8,2
	KSZ 1R - KS 90				44,1		35,1	21,3	9,8	4
	KSZ 2R - AMS				44,9		40,8	28,9	16,8	10,1
	KSZ 2R - KS 80				44,9		38,7	24,3	11,4	5,3
	KSZ 2R - KS 95				44,9		35,6	16	4,8	1,3
Energierferenzprognose	ERP Referenz/Trend				41		31	21	15	12
	ERP Ziel				41		28	17	11	7
Energieszenarien 2010 (verbrennungsbedingte THG-Emissionen)	Referenzszenario		48				37	30	22	17
	IA		48				31	18	10	8
	IIA		48				31	18	10	8
	IIIA		48				31	18	10	8
	IVA		48				30	15	8	6
	IB		48				37	30	22	17
	IIB		48				31	18	10	8
	IIIB		48				31	18	10	8
Projektionsbericht 2013	PB 2013 MMS			44,1			36,5	26,8		
	PB 2013 MWMS			44,1			35,7	25		
Projektionsbericht 2015	PB 2015 MMS			47,4			42,1	33		

Nachfolgende Abbildung stellt die jährlichen Wachstumsraten der betrachteten Szenarien für die Zielkriterien Endenergieverbrauch und Treibhausgase (THG) einander gegenüber. Die zugehörigen Absolutwerte sind der unter der Abbildung stehenden Tabelle zu entnehmen. Besonders auffallend sind die deutlich stärker verringerten THG-Werte für die KS 90 bzw. KS 95 Szenarien, die durch die jeweils höheren Anspruchsniveaus der Szenarien bedingt sind. Gegenüber den jeweiligen Referenzszenarien der einzelnen Studien sowie auch zu den jeweiligen Szenarien mit weniger verschärften Kriterien lässt sich erwartungsgemäß ein entsprechender Trend zu deutlicheren Endenergieverbrauchs- bzw. Emissionsminderungen ablesen. Zwischen den Studien lassen sich allerdings Unterschiede im Betrag der Minderungsraten feststellen.

Abbildung 1-2: Indikatoren für den Sektor GHD im Vergleich (CAGR) jeweiliges Basisjahr (2005/2008/2011)-2050

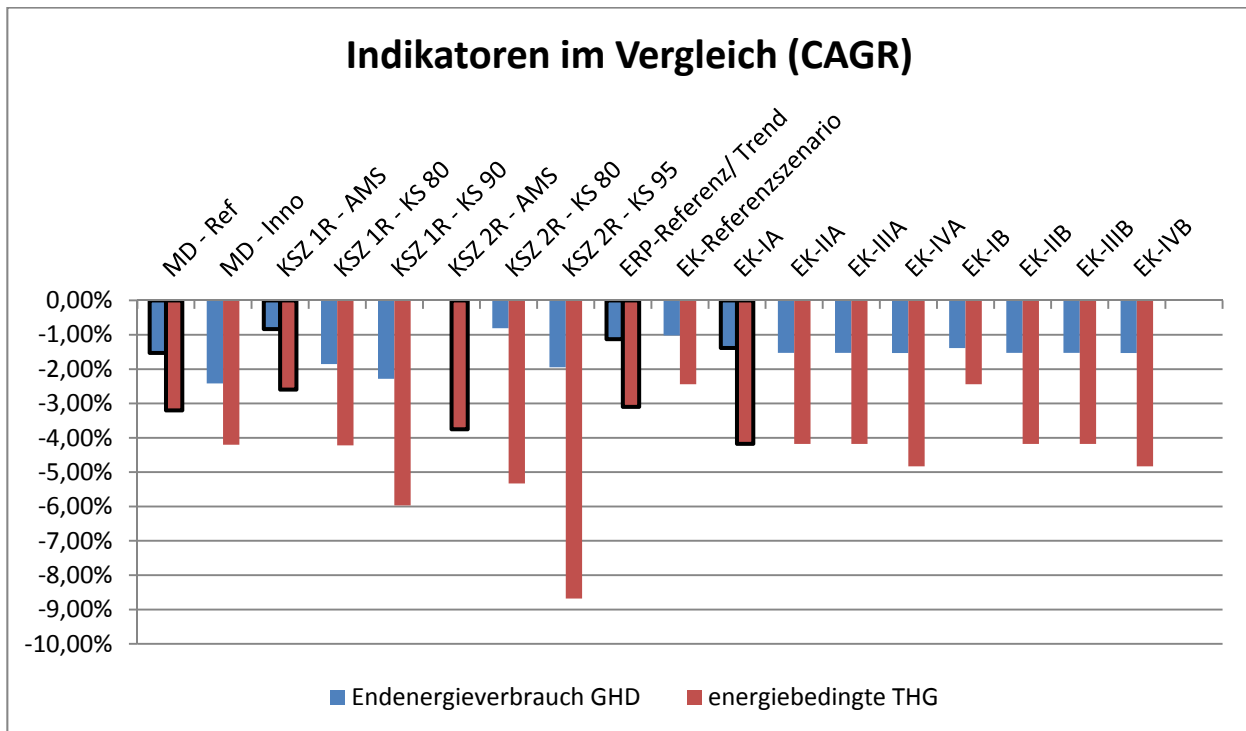


Tabelle 1-10: Übersicht Zielindikatoren - Absolutwerte

Bezeichnung		Endenergieverbrauch GHD (PJ)			Energiebedingte THG (Mio. t)		
Studie	Szenario	Basisjahr	Basis	2050	Basisjahr	Basis	2050
Modell Deutschland	MD - Ref	2005	1462	731	2005	58	13,4
	MD - Inno	2005	1462	486	2005	58	8,4
Klimaschutzszenarien	KSZ 1R - AMS	2008	1427	1003	2011	44,1	15,8
	KSZ 1R - KS 80	2008	1427	650	2011	44,1	8,2
	KSZ 1R - KS 90	2008	1427	541	2011	44,1	4
	KSZ 2R - AMS				2011	44,9	10,1
	KSZ 2R - KS 80	2008	1412	1003	2011	44,9	5,3
	KSZ 2R - KS 95	2008	1412	618	2011	44,9	1,3
Energierferenzprognose	ERP-Referenz/ Trend	2011	1346	865	2011	41	12
	ERP Ziel	2011	1346	752	2011	41	7
Energieszenarien (2010)	EK-Referenzszenario	2008	1404,1	912,9	2008	48	17
	EK-IA	2008	1404,1	781,4	2008	48	8
	EK-IIA	2008	1404,1	735,9	2008	48	8
	EK-IIIA	2008	1404,1	735,7	2008	48	8
	EK-IVA	2008	1404,1	734,4	2008	48	6
	EK-IB	2008	1404,1	781,4	2008	48	17
	EK-IIB	2008	1404,1	735,9	2008	48	8
	EK-IIIB	2008	1404,1	735,7	2008	48	8
	EK-IVB	2008	1404,1	734,4	2008	48	6

1.1.3. Vergleichende Auswertung und Identifizierung robuster Strategien

Unterschiede in den Zielvariablen zwischen den einzelnen Studien (bzw. Szenarien) sind unterschiedliche Rahmenbedingungen bzw. Modellannahmen. Teils stammen Annahmen aus Modellberechnungen, teils werden diese Statistiken entnommen. Bezogen auf den Dienstleistungssektor werden in den Studien meist Bruttowertschöpfung und Zahl der Erwerbstätigen als Leitvariablen angegeben (vgl. Modell Deutschland, Projektionsbericht 2013), andere beziehen sich hierbei aber statt auf die Bruttowertschöpfung auf die Energiebezugsfläche (Projektionsbericht 2015, Klima-

schutzszenarien 2050). Den Studien ist gemeinsam, dass generell von steigendem Bruttoinlandsprodukt und steigender Bruttowertschöpfung, aber von einer tendenziell abnehmenden Beschäftigtenzahl ausgegangen wird. In welchem Maße dies der Fall ist, unterscheidet sich allerdings zwischen den Studien teilweise deutlicher, wie aus Abbildung 1-1 ersichtlich ist. Insbesondere ist zu bedenken, dass die Abgrenzung des Dienstleistungssektors in den verschiedenen Studien nicht immer in gleicher Weise erfolgt, also beispielsweise unterschiedliche Branchen einbezogen werden. Ein direkter Vergleich der Absolutwerte in den Ergebnissen kann also nicht erfolgen.

Auch folgen die Ideen der Studien nicht immer der gleichen Logik: Während einerseits von denkbaren oder umsetzbaren energie- und klimaschutzpolitischen Maßnahmen ausgegangen wird, um mögliche resultierende Verläufe von Zielparametern darzustellen (z.B. Projektionsbericht), werden andererseits Ziele definiert, um notwendige Maßnahmen abzuleiten, diese Ziele zu erreichen (z.B. Energieszenarien, Modell Deutschland). Die Energiereferenzprognose vereint beide Ansätze insofern, als dass das Trendszenario die wahrscheinliche Entwicklung darstellt, gegenüber dem Zielszenario, das Entwicklungen beschreibt, die nötig wären, um die formulierten Ziele weitestgehend zu erreichen – was aus Sicht der Autoren nicht als wahrscheinlich angesehen wird. Trend- und Zielszenario stellen dabei Fortschreibungen des Referenzszenarios dar, keine Gegenüberstellung.

Die Ergebnisse der Szenarien sind als unterschiedlich realistisch einzuschätzen, jedoch muss dabei bedacht werden, dass einzelne Szenarien von vorneherein unter ambitionierten Zielparametern berechnet wurden und damit nicht den Anspruch erheben, eine wahrscheinliche Zukunftsentwicklung abzubilden, sondern eher Idealentwicklungen aufzeigen. Diesen Überlegungen kommen die einzelnen Studien durch die Darstellung der jeweils verschiedenen Szenarien nach, die verschiedene Entwicklungspfade vergleichbar gegenüberstellen. Betrachtet man die Entwicklung der Zielindikatoren innerhalb der einzelnen Studien, spiegeln sich ambitioniertere Vorgaben entsprechend in extremeren (negativen) Wachstumsraten wider. Zwischen den Studien unterscheiden sich diese jedoch teilweise deutlich im Niveau.

Anhand von Abbildung 1-2 lassen sich diese Unterschiede für den Sektor GHD verdeutlichen. Diese zeigen sich teilweise bereits in den jeweiligen Referenzszenarien: In den Energieszenarien sind die Referenzwerte der Minderungsraten für Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen vergleichsweise niedriger angesetzt als in der Energiereferenzprognose oder dem Modell Deutschland. Verglichen mit dem recht ambitionierten Referenzszenario der Klimaschutzszenarien hinsichtlich THG-Emissionen (KSZ 2R – AMS), unterscheiden sich demgegenüber einige Zielszenarien kaum. Ähnlich verhält es sich mit den relativ hohen Minderungsraten im Energieverbrauch im Referenzszenario des Modell Deutschland, für das bereits größere Minderungsraten angenommen werden als beispielsweise in den meisten Zielszenarien der Energieszenarien.

Studien- und szenarienübergreifend wird von einer Verringerung der THG und Endenergieverbräuche für den Sektor GHD ausgegangen, auch in den Referenzszenarien. Dies wird auf verschiedene, anzunehmende Entwicklungen zurückgeführt: Ein Rückgang des Energieverbrauchs für Raumwärme, höhere Baustandards, Effizienzsteigerungen in den Bereichen Beleuchtung und IuK-Technologien und – dem entgegen stehend – ein höherer Bedarf an Energie für den Bereich Kühlen/ Lüften.

Diese Effekte machen sich in einigen Branchen deutlicher bemerkbar als in anderen, so spielt Raumwärme beispielsweise in den Bereichen Erziehung und Unterricht, Banken/ Versicherungen, Dienstleistungen oder Handel eine vergleichsweise bedeutende Rolle, so dass hier entsprechende Veränderungen deutlicher sichtbar werden. Auch in Branchen, in denen ein geringeres Wirtschaftswachstum erwartet wird (Landwirtschaft, öffentliche Verwaltung), wird der rückläufige Trend

im Energieverbrauch deutlicher sichtbar sein. Insgesamt wird die Energieproduktivität dennoch ansteigen, sich die Bruttowertschöpfung pro eingesetzter Energieeinheit also verbessern – d.h. es findet eine stärkere Entkopplung von Wirtschaftsleistung und Energieverbrauch statt.

Bezüglich THG-Emissionen wird der Sektor GHD zu einem vergleichsweise großen relativen Anteil zu den Minderungen beitragen, mitunter auch bedingt durch den Energieträgermix – fossile Energieträger werden eine geringere Rolle spielen, Strom an Bedeutung gewinnen und erneuerbare Energien werden daran einen größeren Anteil darstellen.

In welchem Maße Effizienzsteigerungen stattfinden bzw. Technologien ihren Eingang finden, unterscheidet sich entsprechend nach den Annahmen der Szenarien, woraus sich schließlich auch die jeweils höheren Minderungsraten der Zielvariablen ergeben. So werden für die Zielszenarien höhere Investitionen angenommen, die allerdings letztlich nach oben durch betriebswirtschaftliche Überlegungen und anlegbare Kosten begrenzt sind. Letztlich spielen hier auch Annahmen über politische Entscheidungen eine Rolle, die Investitionsmöglichkeiten und Zielvorgaben beeinflussen und damit für Unternehmen Hemmnisse abbauen oder Motivationen schaffen können. Am Beispiel der Energierferenzprognose bedeutet dies beispielsweise, dass der Energieverbrauch für die Erzeugung von Raumwärme im Zielszenario um weitere 20% in 2050 geringer ausfällt als im Referenz-/Trendszenario. Für Kühlen/ Lüften unterschreitet der Zuwachs am Energieverbrauch im Zielszenario den angenommenen Verbrauch des Referenz-/Trendszenarios um 16%. Für Beleuchtungszwecke liegt der Verbrauch um 15% niedriger.

Hinsichtlich der Belastbarkeit der Modelle ist zu bedenken, dass einige neuere Entwicklungen in den Annahmen noch nicht vorgesehen werden konnten – wie beispielsweise der rückläufige Ölpreis, wodurch angenommene Einsparpotenziale möglicherweise weniger ausgeschöpft werden. Ähnlich verhält es sich mit aktuellen Veränderungen der Bevölkerung durch Migration, weswegen angenommene Rückgänge in der Beschäftigtenzahl geringer ausfallen könnten als angenommen.

1.2. Ableitung struktureller Entwicklungsschritte (transformative Pfade)

Die Verringerung der THG und Endenergieverbräuche für den Sektor GHD wird auf verschiedene strukturelle Entwicklungen zurückgeführt. In den Ausgangsjahren entfällt ein großer Anteil des Energieverbrauchs auf Raumwärme. Hier ist durch höhere Neubaustandards in den folgenden Jahren mit einer deutlichen Verringerung des Energiebedarfs zu rechnen. Zudem können sich im Sektor GHD durch höhere Sanierungsraten, Renovierungszyklen und verstärkten Bauinvestitionen diese schneller durchsetzen als in anderen Gebäudebereichen. Für den Bereich Kühlen/ Lüften sind dagegen höhere Energieverbräuche zu erwarten, die auch durch Effizienzsteigerungen in den entsprechenden Technologien voraussichtlich nicht kompensiert werden. Grund sind die zunehmende Bedeutung von Klimatisierung und Automatisierung, sowie höhere Komfortansprüche und die Erwartung von Extremsommern. Weitere Einsparpotenziale werden im Bereich Beleuchtung erwartet, u.a. durch die zunehmende Bedeutung von LED und OLED-Leuchten, wobei auch die Nutzung von Tageslicht durch entsprechende bauliche Planung weitere Einsparpotenziale verspricht. Zudem wird bereits in einigen Referenzszenarien von einer hohen Effizienzsteigerung aller Bürogeräte sowie der IuK-Technologie (Stichwort „Green IT“) ausgegangen. Diese bedingt sich unter anderem durch die zunehmende Nutzung energieeffizienter Mobilgeräte (Notebooks anstatt stationärer PCs) und energiesparender Monitore und Netzwerktechnik. Allerdings ist auch von einer Zunahme im Bestand auszugehen. Nach neuesten IKT-spezifischen Abschätzungen scheinen sich diese Effekte nahezu auszugleichen.

Inwieweit sich eine prognostizierte Bestandszunahme im Bereich IKT und deren Effizienzsteigerung gegenseitig beeinflussen bzw. ausgleichen, ist als eher unsichere Annahme einzustufen,

ebenso die Unterstellung höherer Komfortansprüche und deren möglichen Konsequenzen. Einschätzungen zu Entwicklungen, die auf Sanierungsraten und Renovierungszyklen zurückzuführen sind, können dagegen als Erfahrungswerte betrachtet werden. Auch die Notwendigkeit von zunehmender Klimatisierung unter der als bestätigt geltenden Erwartung von Extremsommern, kann als vergleichsweise sichere Annahme angesehen werden.

Schlüsseltechnologien des Energie- und Emissionsrückgangs stellen demnach insbesondere Klimatisierungstechnologien und ressourcenschonendes Bauen unter hohen Effizienzstandards dar. Um weitere Effizienzpotenziale im Bereich Beleuchtung voll ausschöpfen zu können, müssten Überlegungen zur finanziellen Rentabilität eines Austauschs seitens der Unternehmen bzw. ggf. eine entsprechende Förderung mit bedacht werden – entsprechendes wurde beispielsweise im LED-Förderprogramm des Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) verfolgt, dessen Förderkonditionen guten Anklang fanden und so einen spürbaren Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe leisten konnten.

Ein weiteres Förderprogramm insbesondere für Kälte- und Klimaanlage bzw. zur Förderung von Energieeffizienzmaßnahmen im Allgemeinen stellt die nationale Klimaschutz Initiative (NKI) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) dar. Hauptzielgruppen der NKI sind die Kommunen, die Wirtschaft und Verbraucher sowie Schulen und Bildungseinrichtungen.

Eine Forschungsinitiative zur Förderung energieeffizienten Bauens „Forschung für energieoptimiertes Bauen“ (EnOB) wurde im Rahmen des 6. Energieforschungsprogramms verwirklicht. Dazu gehörte auch Forschung und Entwicklung (FuE) neuer Materialien, Komponenten, innovativer Technologien, Systeme und Konzepte². Insgesamt stellt die Bundesregierung zwischen 2013 und 2016 im Rahmen der Energieforschung etwa 3,5 Mrd. Euro für die Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien bereit³.

1.3. Handlungsbedarf bis zum Jahr 2030

Hinsichtlich des Handlungsbedarfs und der Zielerreichung förderlicher Maßnahmen finden sich in den Studien mehrere Empfehlungen, die größtenteils auch die Schlüsseltechnologien der Pfade adressieren. Dazu gehören beispielsweise Weiterentwicklungen im Bereich Kühlen und Lüften, sowie stärkere Anstrengungen im Bereich Forschung und Entwicklung zur Förderung des Strukturwandels in material- und ressourceneffizienten Technologien und deren Einsatz in Unternehmen. Die Schaffung von Anreizen in ressourceneffizientes Bauen kann einen Wandel hin zu höheren Neubaustandards beschleunigen. Generell sollte im Hinblick auf die Erreichung der Ziele die Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen für die Entwicklung attraktiver Effizienzmärkte weiter forciert werden. Dazu gehört auch die Möglichkeit von Demand-Side-Management im Sektor GHD. Oftmals stehen hier Informationsdefizite oder mangelnde Anreize im Weg. Häufig werden im gewerblichen Bereich nicht alle möglichen oder auch rentablen Energieeffizienz-Maßnahmen umgesetzt. Neben Informationsdefiziten oder mangelnden Personalressourcen spielen hier oftmals auch Interessenslagen eine Rolle, insbesondere nehmen Energiekosten verglichen mit den Gesamtkosten oftmals nur einen sehr geringen Anteil ein, was alternative Investitionsmöglichkeiten

² BMWi (2015). Förderdatenbank zu Förderprogrammen und Finanzhilfen des Bundes, der Länder und der EU. <http://www.foerderdatenbank.de/Foerder-DB/Navigation/Foerderrecherche/suche.html?get=c22c7a8761d442912649f6c035570b17;views:document&doc=12093&pos=box#box>. Zugriff am 22.10.2015.

³ BMWi (2015). 6. Energieforschungsprogramm. Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energieforschung-und-Innovationen/6-energieforschungsprogramm.html>. Zugriff am 22.10.2015.

schnell attraktiver macht. Die Entwicklung von Zielvorgaben und Finanzierungsmöglichkeiten können Anreize darstellen. Zudem stellt der Sektor GHD einen vergleichsweise heterogenen Sektor dar, weshalb individuelle Hemmnisse und Motivationen nur schwer verallgemeinerbar sind und es kein Patentrezept zur Umsetzung von Effizienzmaßnahmen geben kann. Am ehesten kämen in diesem Zusammenhang Effizienzsteigerungen in Querschnittstechnologien und Ansätze zur Förderung energieeffizienteren Verhaltens in Frage. Da auch in der Industrie ähnliche Querschnittstechnologien zum Einsatz kommen, können hier Synergien bei der Effizienzsteigerung genutzt werden. Für bestehende Instrumente und Maßnahmen können Datenerhebungen und Evaluierungsmaßnahmen eine Grundlage zur Verstetigung bzw. Verbesserung der Effekte und zur Maßnahmenentwicklung bieten. Wie in allen anderen Sektoren ist auch im Sektor GHD eine weitere Forcierung des veränderten Energiemix hin zu erneuerbaren Energien relevant.

Weitere Einsparpotentiale könnten im Rahmen von Rechenzentren ausgeschöpft werden. Hierfür wäre eine stärkere Auslastung bzw. eine Nutzungsoptimierung (z.B. durch Lastmanagement) der Server nötig, sowie eine stärkere Auslastung und verstärkte Nutzung von SSD-Festplatten und ein damit verbundener beschleunigter Austausch der alten Infrastruktur. Ein Monitoring des Strombedarfs und eine Beförderung der erwünschten Technologieveränderungen können diese Prozesse unterstützen.

Laut den Folgerungen der Energieszenarien 2010 sind im Dienstleistungssektor die Unterschiede zwischen Referenz- und Zielszenario im Endenergieverbrauch vergleichsweise gering, da bereits im Referenzszenario von vielen Effizienzsteigerungen ausgegangen wird, so werden beispielsweise in den Zielszenarien nur wenige zusätzliche Einsparungen durch Beleuchtung angenommen.

2. Industrie

Der Sektor Industrie umfasst alle Branchen des Verarbeitenden Gewerbes, nicht aber die Mineralölwirtschaft, die energiewirtschaftlich dem Umwandlungssektor zugerechnet wird. Die deutsche Industrie trug laut Umweltbundesamt (UBA 2015b) im Jahre 2012 mit ca. 185 Mio. t CO₂^{equiv} etwa 20 % zu den Gesamtemissionen bei. Erfasst werden in dieser Bilanzierung allerdings nur die Quellgruppen-Emissionen der Industrie gemäß internationaler Treibhausgas-Berichterstattung, also im Wesentlichen die THG-Emissionen aus Verbrennungsprozessen und Eigenstromversorgung des Verarbeitenden Gewerbes sowie Prozessemissionen. Nicht berücksichtigt werden hier die Emissionen, die durch den Strombezug der Industrie aus Kraftwerken der allgemeinen Versorgung bedingt sind. Die Industrie ist als wesentlicher Stromnachfrager mit 807,3 PJ (224 TWh) in 2013 und mit einem CO₂-Emissionsfaktor des Strom-Mixes von 584 g/kWh (UBA 2015) außerdem für 131 Mio. t CO₂^{equiv} verantwortlich und damit für einen wesentlich höheren Anteil an den Gesamtemissionen.

In welcher Größenordnung der Industriesektor seine Emissionen bis zum Jahr 2050 mindern muss, damit das Gesamtziel nicht gefährdet wird, zeigen aktuelle, auf Modellrechnungen basierende Ziel-Szenarien. Im Rahmen dieser Sektor-Analyse für die Industrie wurden verschiedene Szenarien vorliegender Studien verglichen.

2.1. Szenarienauswahl

Die Auswahl orientierte sich dabei am vom Öko-Institut erarbeiteten Überblick über vorliegende Szenarienarbeiten für den Klimaschutz in Deutschland bis 2050. Sie reduziert sich aber für die sektorale Analyse, da der Überblick des Öko-Instituts die nationale Emissionsentwicklung als Ganzes im Fokus hatte und mit der sogenannten **BMU-Leitstudie** auch eine Arbeit mit einbezog, welche die Industrie nicht detailliert abbildet. Generell wird die Industrie in den meisten Studien nur relativ grob analysiert.

Die Leitstudie wurde von DLR, Fraunhofer IWES und IFNE im Jahr 2011 erarbeitet und 2012 publiziert. Sie untersuchte insgesamt fünf Szenarien. Als politische Rahmenannahmen wurden das Energiekonzept der Bundesregierung von 2010, der Beschluss zum Kernenergieausstieg und die Regelungen der EEG-Novelle von 2011(ab Januar 2012 gültig) unterstellt. In den vier Szenarien A, B, C und A' wird bis 2050 gegenüber 1990 ein THG-Emissionsminderungsziel von 80 % erreicht. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen bzgl. der Annahmen im Verkehrssektor und bzgl. der Entwicklung des Strombedarfs. Das Szenario THG95 führt zu einer Emissionsminderung um 95 %, was praktisch mit einer Vollversorgung mit erneuerbaren Energieträgern einherginge und nach Ansicht der Autoren der Leitstudie realistischerweise erst im Jahre 2060 erreichbar ist.

Kern der Studie ist die Rolle der erneuerbaren Energien im Wärme- und Strommarkt. Es finden sich mit Ausnahme des Verkehrs keine detaillierten Aussagen zu den Endenergiesektoren. Anwendungsseitig werden Raumwärme- und Warmwassererzeugung eingehender betrachtet. Dementsprechend wird bei der Entwicklung des industriellen Wärmebedarfs lediglich nach den Anteilen von Raumwärme, Warmwassererzeugung und Prozesswärme differenziert. Die Entwicklung des industriellen Strombedarfs wird nur summarisch dargestellt. Bezüglich der Entwicklung des spezifischen Strombedarfs der Industrie (bezogen auf die Bruttowertschöpfung) werden die Ergebnisse anderer Arbeiten zitiert und es wird nicht nach den Besonderheiten in den einzelnen Branchen unterschieden.

Gleichwohl findet sich in der Leitstudie neben den Empfehlungen zur Steigerung der Anteile erneuerbarer Energien Hinweise auf die Notwendigkeit zur Erhöhung der industriellen Energieeffizienz. Besondere Erwähnung finden dabei Energiemanagementsysteme und die Abwärmenutzung. Dies kann als szenarien-invariante Erkenntnis interpretiert werden (also als "robuste Strategie" gemäß der im Rahmen der Erstellung des Klimaschutzplanes 2050 gewählten Terminologie). Generell findet sich die Empfehlung an die Politik, als ökonomischen Anreiz für Energieeffizienzmaßnahmen und Substitution fossiler Energieträger für eine Verknappung und damit Verteuerung von CO₂-Emissionszertifikaten zu sorgen, indem bestimmte Mengen vom Markt genommen werden.

Ergänzend werden zwei Szenarien in den Vergleich mit Fokus auf die industrielle Entwicklung einbezogen, die wegen der Nicht-Erreichung der 80 %-Emissionsminderungsziels bis 2050 im Überblick des Öko-Instituts ausgeklammert worden sind. Dies sind:

- das **Aktuelle-Maßnahmen-Szenario ("AMS")** der noch in Bearbeitung befindlichen Studie Klimaschutzszenario 2050 von Öko-Institut und Fraunhofer ISI. In diesem Szenario werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die bis Oktober 2012 ergriffen worden sind, und bis 2050 fortgeschrieben. Dieses Szenario bildet also den Ist-Stand der energie- und klimapolitischen Rahmenseetzungen ab, insbesondere das Energiekonzept von 2010 sowie den Beschluss zum beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie.
- Ferner das **Energierferenzszenario bis zum Jahr 2030** und das daran anschließende **Trendszenario bis zum Jahr 2050** der Energierferenzprognose von Prognos, EWI und GWS aus dem Jahr 2014. Die in der nur bis zum Jahr 2030 schauenden Prognose angelegten Pfade werden im Trendszenario bis zum Jahr 2050 fortgeführt.

Die Arbeit sollte die aus Sicht der Autoren wahrscheinliche Entwicklung aufzeigen und berücksichtigt eine zukünftig weiter verschärfte Energie- und Klimaschutzpolitik, aber auch ein Fortbestehen bestehender Hemmnisse für deren Umsetzung. So wird unterstellt, dass erforderliche Kompromisse nicht in allen Fällen zu Gunsten der Energie- und Klimaschutzpolitik getroffen werden.

Für die Sektoranalyse "Industrie" wurden somit folgende Arbeiten ausgewertet:

- Öko-Institut, Fraunhofer ISI: **Klimaschutzszenario 2050, 2. Modellierungsrunde**; Auftraggeber BMUB
 - Aktuelle-Maßnahmen-Szenario ("**AMS**"); Business-as-usual Entwicklung
 - Klimaschutzszenario 80 ("**KS80**"); Erreichung Minderungsziel -80%
 - Klimaschutzszenario 95 ("**KS95**"); Erreichung Minderungsziel -95%
- UBA, **Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050 (2014)**
 - Zielszenario -95% ("**THGND**")
- Prognos/EWI/GWS: **Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose (2014)**; Auftraggeber BMWi
 - Energierferenzszenario/Trendszenario -65% der energiebedingten THG ("**EnRef**")
 - Zielszenario -80% der energiebedingten THG ("**ZS**")

2.2. Vergleich verschiedener Szenarien für den Sektor Industrie

Die verglichenen Studien sind aktuell und bilden hinsichtlich der Emissionsentwicklung den Zeithorizont bis 2050 ab. Sie treffen alle - dies war das Auswahlkriterium - Aussagen über die Emissionsentwicklung des Sektors Industrie, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der getroffenen Annahmen und der Darstellungstiefe erheblich, wie die ausgewählten Zahlen in Tabelle 2-1 und

Tabelle 2-2 belegen.

Tabelle 2-1: Rahmenannahmen der Szenarien für das Jahr 2030, sofern erforderlich, einheitlich auf Preisbasis 2010 umgerechnet

Annahmen 2030	AMS, KS80, KS90, KS95	THGND	EnRef/ZS
BIP-Wachstum Gesamt [%/a ; 2010/2011-2030]	0,93	0,7	1,1
BIP gesamt absolut [Mrd. €_2010]	3.009	k.A.	3.277
BWS Verarbeitendes Gewerbe absolut [Mrd. €_2010]	518	k.A.	597
BWS-Wachstum Verarbeitendes Gewerbe [%/a; 2010/2011-2030]	0,8	k.A.	1,25
Erdgaspreis [€_2010/GJ]	9,4	k.A.	7,9
Preis EUA [€_2010/t]	30 50 87	k.A.	36,7
Erwerbstätige [Mio.]	39,3	k.A.	38,3
Erwerbstätige Verarbeitendes Gewerbe [Mio.]	5,6	k.A.	k.A.
Erwerbstätige Produzierendes Gewerbe [Mio.]	8,7	k.A.	8,5

Quelle: Öko-Institut, Fraunhofer ISI (2015), Prognos, EWI, GWS (2014) und UBA (2014b)

Tabelle 2-2: Rahmenannahmen der Szenarien für das Jahr 2050, sofern erforderlich, einheitlich auf Preisbasis 2010 umgerechnet

Annahmen 2050	AMS, KS80, KS90, KS95	THGND	EnRef/ZS
BIP-Wachstum Gesamt [%/a ; 2030-2050]	0,61	0,7	1
BIP gesamt absolut [Mrd. €_2010]	3.402	k.A.	3.951
BWS Verarbeitendes Gewerbe absolut [Mrd. €_2010]	593	k.A.	721
BWS-Wachstum Verarbeitendes Gewerbe [%/a ; 2010/2011-2050]	0,7	k.A.	0,95
Erdgaspreis [€_2010/GJ]	13,9	k.A.	8,4
Preis EUA [€_2010/t]	50 130 200	k.A.	69,8
Erwerbstätige [Mio.]	37,2	k.A.	35,9
Erwerbstätige Verarbeitendes Gewerbe [Mio.]	4,4	k.A.	k.A.
Erwerbstätige Produzierendes Gewerbe [Mio.]	6,9	k.A.	7,1

Quelle: Öko-Institut, Fraunhofer ISI (2015), Prognos, EWI, GWS (2014) und UBA (2014b)

Die Energiereferenzprognose trifft im Vergleich zum Klimaschutzszenario 2050 (Zielszenario) optimistischere Annahmen bzgl. der Wirtschaftsentwicklung. Gleichzeitig geht die Referenzprognose im Vergleich zu dem erwähnten Zielszenario (Klimaschutzszenario 2050) ansatzbasiert logischerweise von wesentlich geringeren Preisen für Energie und ETS-Zertifikate (EUA) aus. Darüber hinaus analysiert sie ausschließlich den Energieeinsatz und emissionsseitig daher auch nur die ener-

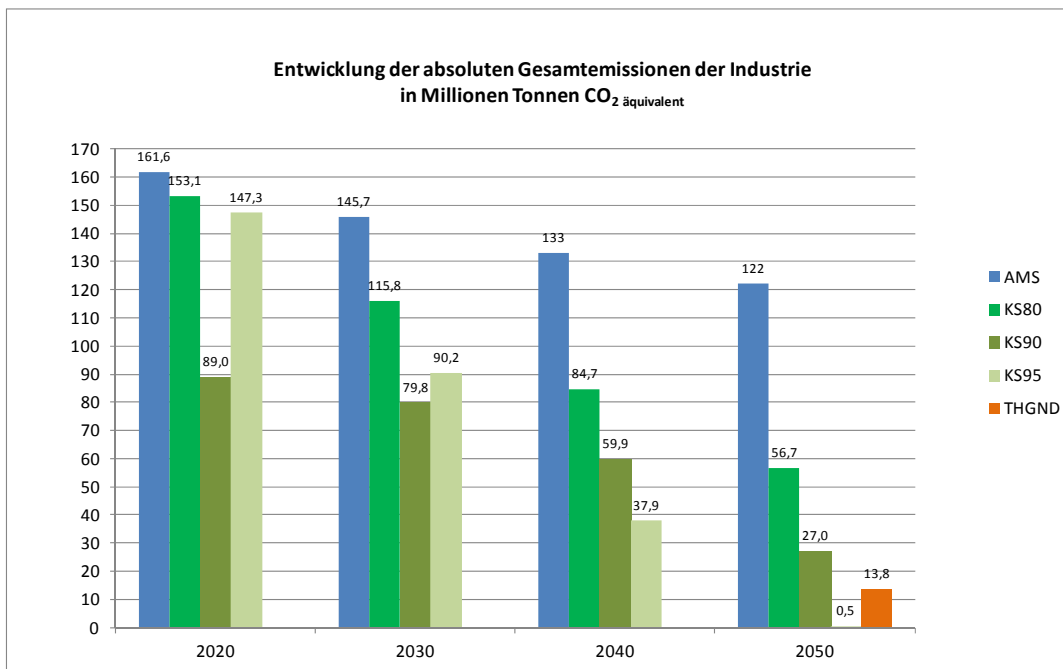
giebedingten Emissionen. Die insbesondere im Sektor Industrie bedeutenden prozessbedingten Emissionen von insgesamt 67,9 Mio. t CO_{2äquiv.} werden nicht thematisiert.

Alle Szenarien unterstellen bei den Ziel-Szenarien zwischen 80 und 95 % zunehmende Grenzübergangspreise für fossile Energieträger, so z.B. AMS, KS80, KS90 und KS95 eine Verdopplung des Gaspreises bis 2050 gegenüber 2010 und einen 2,5-fach höheren Rohölpreis.⁴

Bei der Studie Treibhausgasneutrales Deutschland handelt es sich eher um eine technologieorientierte Machbarkeitsstudie, die mit nur wenigen ökonomischen Rahmendaten auskommt und nur eine technologisch machbare Entwicklung aufzeigen will. Kosten für die Realisierung dieser technologischen Entwicklungen werden nicht adressiert.

Gerade weil die genannten Szenarien in ihren Annahmen und ihrer technologischen Ausgestaltung deutlich unterschiedlich sind, bieten sie in der Gesamtschau einen brauchbaren Überblick, in welchem Rahmen der Sektor Industrie seine Emissionen mindern muss, damit das nationale THG-Emissions-Minderungsziel erreicht wird. Allerdings ist bei einem so großen nationalen THG-Minderungsziel von mehr als 80 %, wenig Spielraum, wenn es keinen großen Emissionssektor gibt, der relativ einfach und kostengünstig seine THG-Emissionen reduzieren könnte. Dies ist nicht der Fall, so dass auch die Industrie im Umfang des nationalen Gesamtzieles ihre THG-Emissionen reduzieren muss. Die absoluten Emissionen der Industrie sinken von gut 150 Millionen Tonnen CO_{2äq.} im Jahr 2020 szenarienspezifisch auf rund 0,5 – 122 Millionen Tonnen CO_{2äq.} im Jahr 2050 ab (vgl. Abbildung 2-1). Diese dem Gesamt-Reduktionsziel vergleichbare Emissionsreduktion ist in allen Szenarien für den Industrie-Sektor zu beobachten (vgl. Abbildung 2-2 und Abbildung 2-3). Allerdings werden diese Reduktionsziele auf verschiedenen technologischen Wegen erreicht.

**Abbildung 2-1: Szenarienvergleich:
Absolute THG-Gesamtemissionen der Industrie von 2020 bis 2050**



⁴ Aufgrund der erheblichen Abhängigkeit vieler Exportländer (z.B. die arabischen und afrikanischen Staaten) von den Erträgen der Öl- und Erdgas-Exporte kann alternativ eine Abwärtsentwicklung bei den Preisen erwartet werden. Eine solche sich entwickelnde Preisabwärtsschraube sieht man seit 2014 aufgrund der Zusatz-Fördermengen durch Fracking und im zweiten Halbjahr 2015 nach Aufhebung der Exportsanktionen gegen den Iran.

Abbildung 2-2: Szenarienvergleich: Minderung der Gesamtemissionen der Industrie ggü. 1990; Energierferenzprognose nicht einbezogen, da diese nur energiebedingte Treibhausgasemissionen ausweist

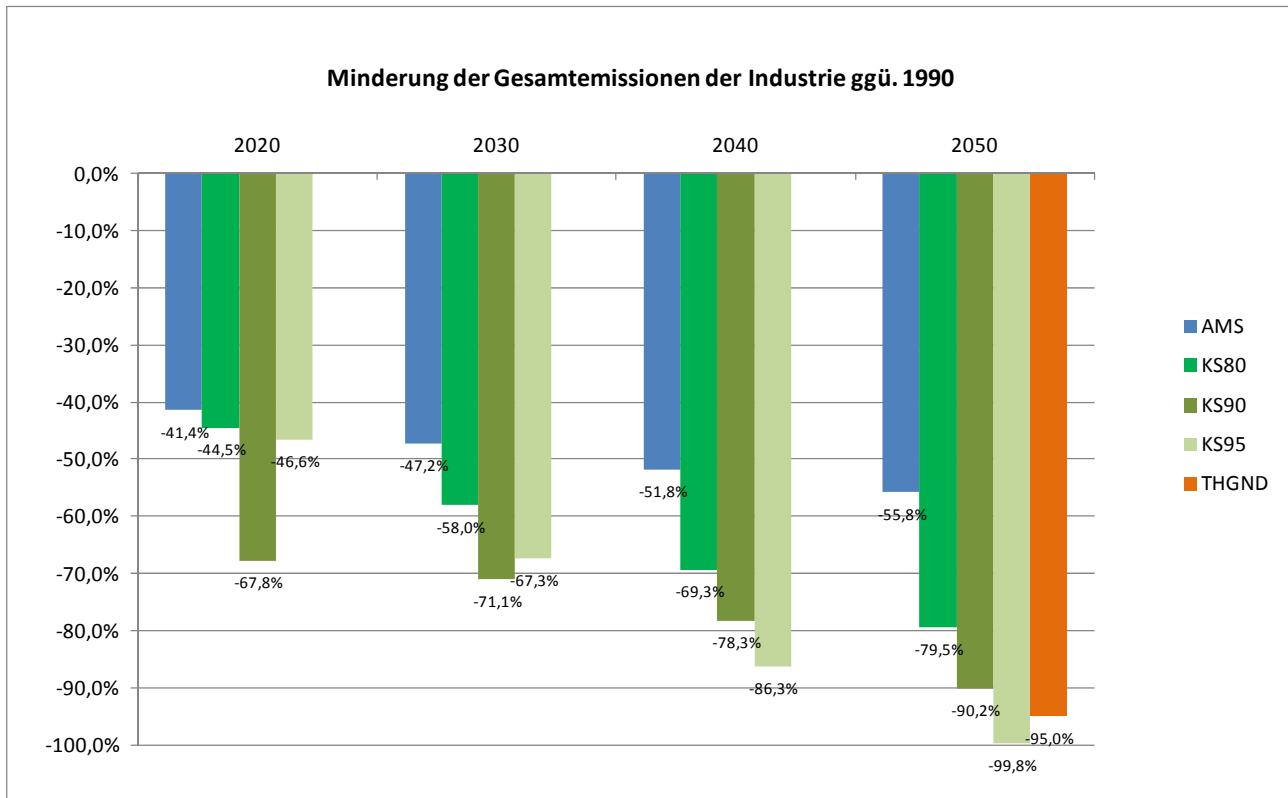
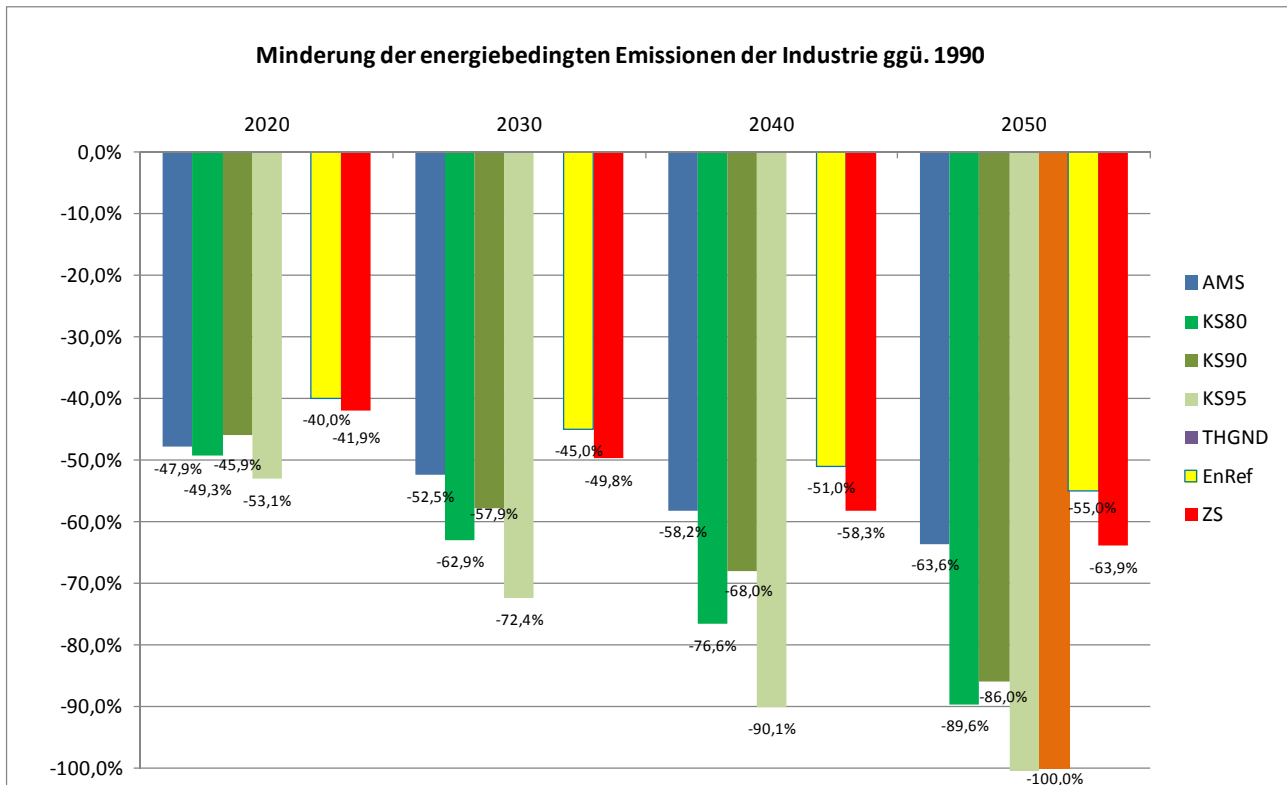


Abbildung 2-2, welche die Ergebnisse der Energierferenzprognose nicht beinhaltet, da sich diese auf die energetisch bedingten Emissionen beschränkt, zeigt erwartungs- bzw. definitionsgemäß zunächst, dass die untersuchten Ziel-Szenarien für das Jahr 2050 eine deutlich höhere Minderung der Gesamt-Treibhausgasemissionen der Industrie gegenüber dem Business-as-usual Szenario "AMS" fordern (für die Gesamtheit der THG-Emissionen in Deutschland wird der Zielraum -80 % bis -95 % in "AMS" deutlich verfehlt). Die Zielszenarien kommen zu dem Ergebnis, dass die Minderung im Sektor Industrie jeweils nahezu dem Gesamt-minderungsziel entspricht. Das Szenario "KS80" kommt auf eine Minderung um 79,5 % ggü. 1990, "KS95" sogar auf eine leicht überproportionale Minderung um 99,5 % ggü. 1990. Das Szenario "THGND" erfordert eine Minderung um 95 % ggü. 1990.

Dies zeigt: Der Industriesektor müsste nach der Einschätzung der Autoren der Zielszenarien gegenüber der Business-as-usual bzw. Referenzentwicklung seine Emissionsminderung deutlich steigern; der Sektor könnte auch nicht darauf bauen, dass andere Sektoren ihre Emissionen überproportional zu seinen Gunsten mindern.

**Abbildung 2-3: Szenarienvergleich:
Minderung der energiebedingten Treibhausgas-Emissionen der Industrie**



Quelle: Öko-Institut, Fraunhofer ISI (2015), Prognos, EWI, GWS (2014) und UBA (2014b)

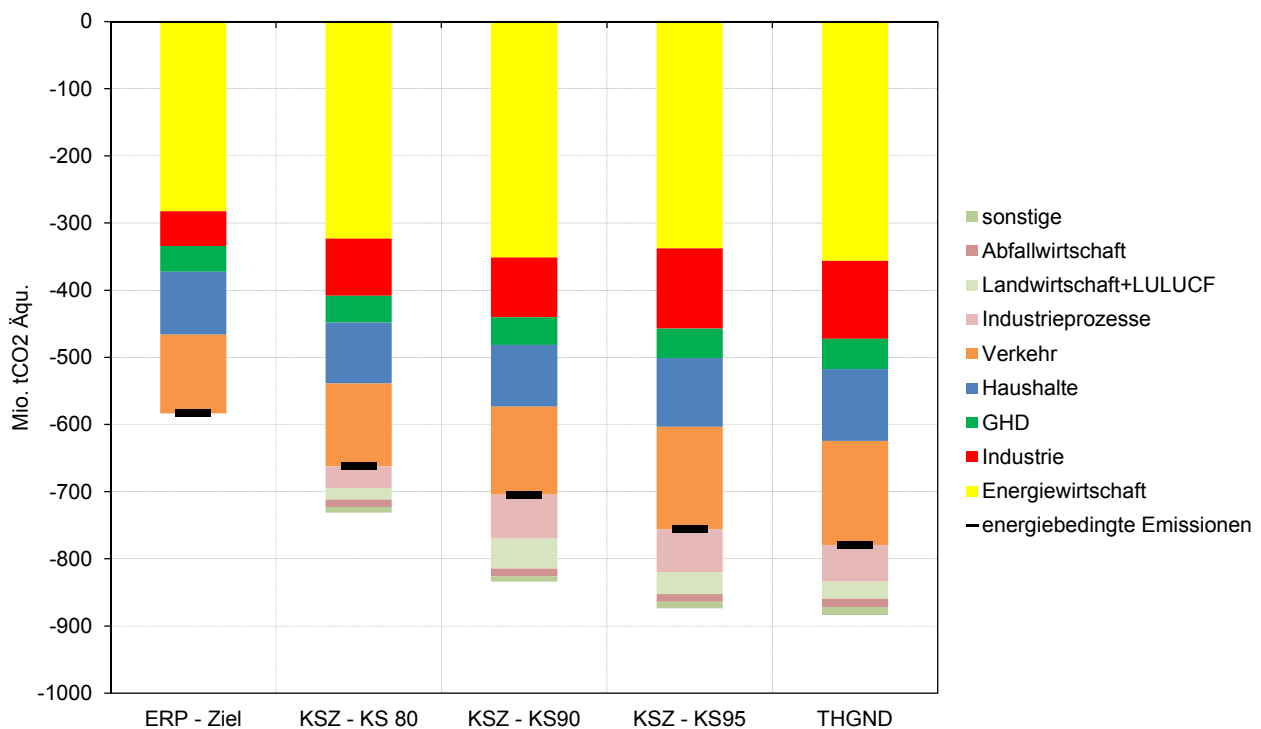
Betrachtet man sich die Entwicklung der energiebedingten THG-Emissionen der vorliegenden Szenarien für die Industrie und bezieht die Prognos/EWI/GWS-Studie (mit dem in diesem Kontext etwas verwirrenden Kurztitel "Energierferenzprognose") mit ein, so zeigt sich (vgl. Abbildung 2-3), dass das dortige Zielszenario "ZS" für den Industrie-Sektor im Grunde die Business-as-usual Entwicklung fortzuschreiben scheint. Denn die Minderung in 2050 entspricht mit knapp 65 % nahezu exakt dem Szenario "AMS", auch wenn dies fast 10 %-Punkte mehr als im eigentlichen Referenzfall "ENREF" der Energierferenzprognose sind (55 %). Allerdings hat das Zielszenario „ZS“ ein um 16% höheres Bruttoinlandsprodukt in 2050, so dass auch dieses Szenario ein Szenario mit zusätzlichen Maßnahmen charakterisiert.

Dies hängt mit der Zielstellung der Studie zusammen, die auch in ihrem Zielszenario nur eine Zielerreichung bei den energiebedingten Emissionen in Deutschland insgesamt modelliert (von -80 % in 2050), was deutlich geringere Teilleistungen in der Industrie im Vergleich zu anderen Sektoren zulässt. Dies ist umso bemerkenswerter, als die energieintensiven Branchen gemäß den Annahmen der Studie im Betrachtungszeitraum an Bedeutung verlieren. Im Jahr 2011 trugen sie 13,9 % zur Wertschöpfung bei. Im Jahr 2030 sind es noch 11,4 % und 2050 nur noch 10,0 %. Die Herstellung von Investitionsgütern und Konsumprodukten wachsen dagegen überdurchschnittlich.

Die nicht-energiebedingten Emissionen wie z.B. die prozessbedingten Emissionen der Grundstoff-Industriezweige wie Stahl oder Zement werden in diesen Szenarien nicht betrachtet. Das Zielszenario "ZS" erreicht also nicht das Gesamtminierungsziel von -80% in 2050, sondern nur knapp 65 % und nur speziell für die energiebedingten Emissionen. Wenn die sonstigen THG-Emissionen im Sektor Industrie nicht im gleichen Maße gemindert werden wie die energetischen, müssen die anderen Sektoren ihre Treibhausgasemissionen deutlich stärker reduzieren wie die Industrie, um das Gesamtziel in 2050 zu erreichen (vgl. Abbildung 2-4). Wie in Tabelle 2-1 und

Tabelle 2-2 gezeigt, sind darüber hinaus die Preise für Energie und ETS-Zertifikate in diesem Szenario wesentlich geringer als in den anderen Szenarien. Dies verdeutlicht die Rolle dieser Einflussfaktoren und macht deutlich, dass die notwendige Gesamtminierung mit einem Preispfad, wie er in der Energie-Referenzprognose angelegt wurde, nicht erreicht werden kann.

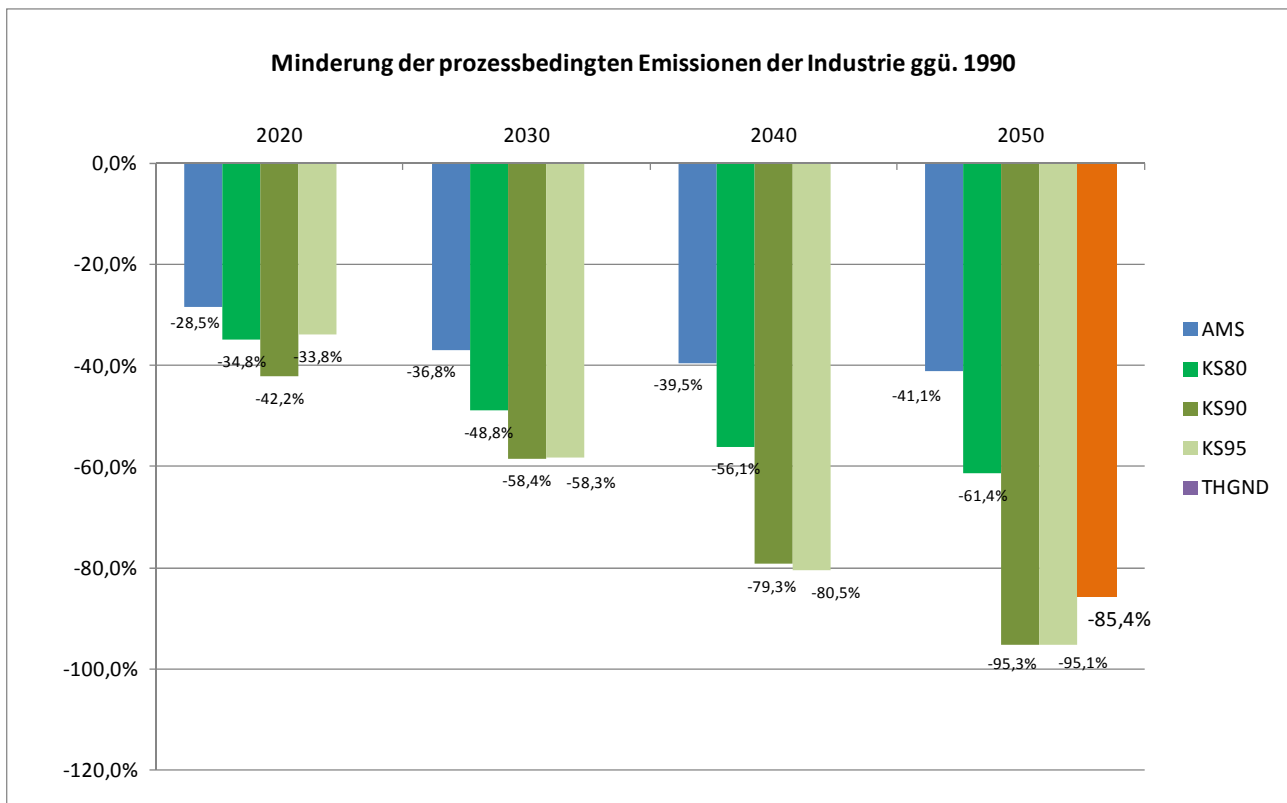
Abbildung 2-4: Sektorale Aufteilung der Emissionsminderungen zwischen 2010 und 2050



Quelle: Prognos, EWI, GWS (2014); Öko-Institut und Fraunhofer ISI (2015); UBA (2013); eigene Berechnungen IREES

Die weiteren Szenarien zeigen auch für die energiebedingten Emissionen die Notwendigkeit einer Minderung, die sogar über das gesamte THG-Minderungsziel von -80 % bis -95 % hinausgeht. Im Szenario "KS95" ergibt sich sogar eine negative Restemission: dies wird durch die Kombination von Biomasseverfeuerung mit CCS erreicht, sodass netto Kohlendioxid dem Kreislauf entzogen wird. Das "THGND" Szenario verzichtet auf diese Option und setzt stattdessen sehr stark auf Sekundärenergieträger auf der Basis erneuerbaren Stroms, so dass die energiebedingten Emissionen genau auf null zurückgefahren werden.

Abbildung 2-5: Szenarienvergleich: Minderung der prozessbedingten Emissionen der Industrie 2020 bis 2050 ggü. 1990 ¹⁾;



1) Energierferenzprognose und ZS nicht einbezogen, da diese nur energiebedingten Treibhausgasemissionen ausweisen

Quelle: Öko-Institut, Fraunhofer ISI (2015) und UBA (2014b)

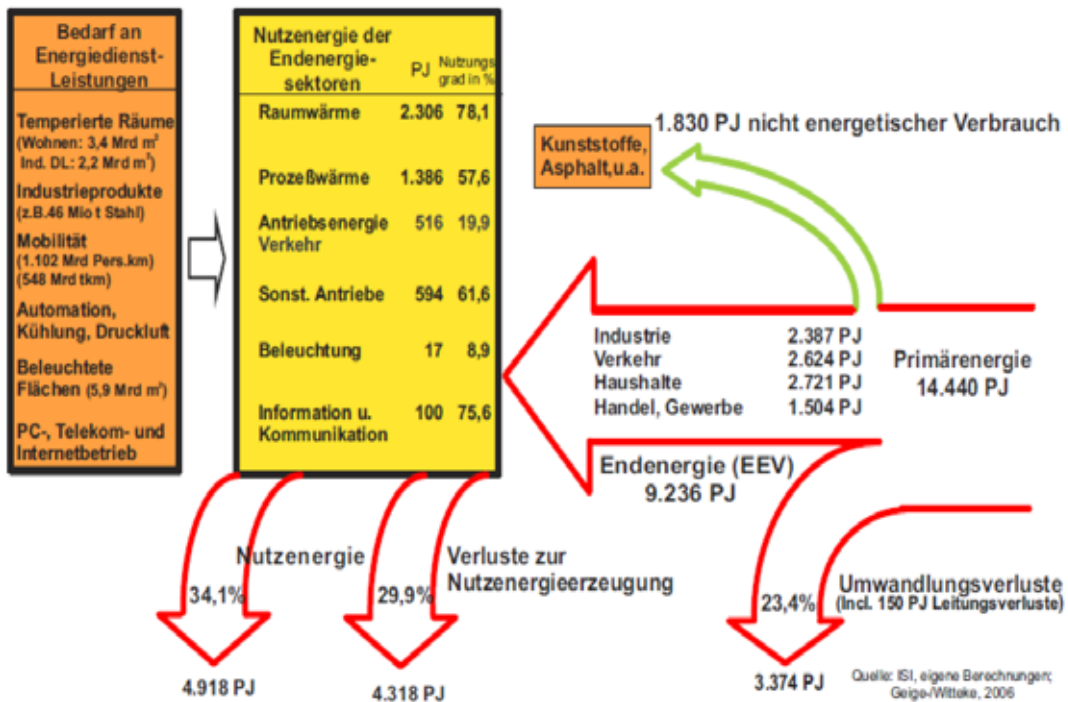
Eine Betrachtung der prozessbedingten Emissionen (vgl. Abbildung 2-5) zeigt, dass auch in diesem Bereich ein erheblicher Fortschritt gegenüber dem Business-as-usual Szenario erforderlich ist. Die Emissionsminderungen fallen in allen Szenarien in diesem Bereich etwas schwächer aus, was dem Konsens der Szenarien geschuldet ist, dass eine Verminderung der energiebedingten Emissionen derzeit als technisch einfacher und, ökonomisch betrachtet, kostengünstiger beurteilt wird.

Als erstes Fazit dieses Szenarienüberblicks lässt sich festhalten, dass das Innovationsvermögen der deutschen Industrie voll gefordert sein wird, um die unausweichlichen Minderungsleistungen zu erbringen, für die der Industriesektor bis 2050 verantwortlich zeichnen muss.

Zur Ableitung transformativer Pfade (im Sinne der hier verwendeten Definition; vergleiche Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) wird zu prüfen sein, welche technologischen und unternehmerischen Innovationen sowie welche strukturellen Veränderungen in der Industrie die betrachteten Szenarien für die THG-Emissionsminderungen unterstellen. Methodisch wird hierzu die Kette von den Energie-Dienstleistungen, die binnenwirtschaftlich und durch die Exporte bei der Industrie nachgefragt werden, über die Lieferkette von Nutzenergie, Endenergie bis zum daraus resultierenden Primärenergiebedarf oder dem THG-haltigen Produkt oder THG-emittierenden Prozess betrachtet (vgl. das Beispiel für den Energiebereich in Abbildung 2-6). Man erkennt an diesem Beispiel die hohen Verluste der Nutzenergie in Form von Abwärme (allein

aus der Prozesswärme mit mehr als 1.300 PJ/a) oder die erheblichen Verluste bei der Prozesswärmeerzeugung mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von knapp 58 %.

Abbildung 2-6: Von der Nachfrage nach Energiedienstleistungen über den Nutz- und Endenergie-Bedarf zum Primärenergiebedarf und den energiebedingten THG-Emissionen, Deutschland 2010



Quelle: ISI, eigene Berechnungen, Geiger-/Witteke 2006

Man erkennt aber auch, dass die Nachfrage nach industriellen Grundstoffen, die etwa 60 % des industriellen Endenergiebedarfs benötigen, durch verbesserte Materialeffizienz, verstärktes Recycling, Pooling (z.B. analog zum Carsharing nutzungsorientiertes Mieten von Geräten und Maschinen), Material- und Rohstoff-Substitution (Carbon oder Aluminium statt Stahl, Stärke statt Erdöl) reduziert werden könnte. Unter den untersuchten Studien gibt lediglich das Klimaschutzszenario 2050 von Öko-Institut und Fraunhofer ISI detailliert Auskunft über die zu erwartende Produktionsentwicklung von solchen energieintensiven Grundstoffen (vgl. Tabelle 2-3):

- Die Stahlproduktion geht demnach im Business-as-usual-Szenario "AMS" sowie im Zielszenario "KS80" bis zum Jahr 2050 gegenüber 2010 um 28 % zurück. Im ehrgeizigen Szenario "KS95", das zu einer 95%igen Emissionsminderung führt, beträgt der Rückgang gar 38 %, wobei in allen drei Szenarien gemäß den Annahmen im verwendeten FORECAST-Industry-Modell des ISI eine Erhöhung des Sekundärstahlanteils (Elektrostahl) von heute (2010) 30 % auf 45 % im Jahr 2050 unterstellt wird. Unterschiede in den Szenarien gibt es lediglich bezüglich der Geschwindigkeit dieses Produktionsstrukturwandels. Im "AMS" sowie im Zielszenario "KS80" beträgt der Elektrostahlanteil im Jahr 2030 39 %. Im Szenario "KS95" muss bis dahin immerhin bereits ein 42 %-Anteil erreicht werden. Dies hat sowohl erhebliche energetische Auswirkungen in der Hochofen-/Oxygenstahllinie als auch Einfluss auf den nichtenergetischen Verbrauch von Kohlenstoffträgern im Hochofen.

- Die Aluminium-Gesamtproduktion wächst in den Szenarien "AMS" und "KS80" um 19 % bis 2050 sowie um immer noch gut 16 % im "KS95"-Szenario. Im „KS90“ Szenario legt die Aluminiumproduktion sogar um 40 % zu.⁵ Der Anteil von Sekundäraluminium steigt von heute (2010) 60 % in den Szenarien "AMS" und "KS80" auf 65 % in 2030 und 73 % in 2050, im ehrgeizigen "KS95" erhöhen sich die Sekundäraluminiumanteile auf 68 % in 2030 und 77 % in 2050. Damit einher geht zwar eine erhebliche (spezifische) Minderung von Endenergiebedarf und von nicht-energetischem Kohlenstoffeinsatz (Elektroden), der aber durch die Produktionssteigerung wieder aufgezehrt wird.

Tabelle 2-3: Annahmen zur Entwicklung der Produktion energieintensiver Grundstoffe gemäß Öko-Institut/Fraunhofer ISI (2015)

Szenarien		AMS / KS80	KS90	KS95	AMS / KS80	KS90	KS95	AMS / KS80	KS90	KS95
Produkt	Einheit	2010			2030			2050		
Oxygenstahl	kt	30.615	30.615	30.615	26.003	25.532	24.085	22.060	19.515	18.861
Elektrostahl	kt	13.215	13.215	13.215	16.788	18.696	17.636	18.049	19.910	19.242
Stahl insgesamt	kt	43.830	43.830	43.830	42.791	44.228	41.721	40.109	39.425	38.103
Primäraluminium	Kt	403	403	403	381	443	348	323	323	268
Sekundäraluminium	kt	611	611	611	705	924	724	888	1.101	913
Aluminium insgesamt	kt	1.014	1.014	1.014	1.086	1.367	1.072	1.211	1.424	1.181
Papier	kt	22.509	22.509	22.509	24.303	24.928	23.695	24.978	24.964	23.729
Ethylen	kt	4.794	4.794	4.794	5.372	5.696	5.238	6.304	6.746	5.989
Zement („Zementmahlen“)	kt	32.721	32.721	32.721	30.175	31.259	29.420	28.916	29.328	27.470

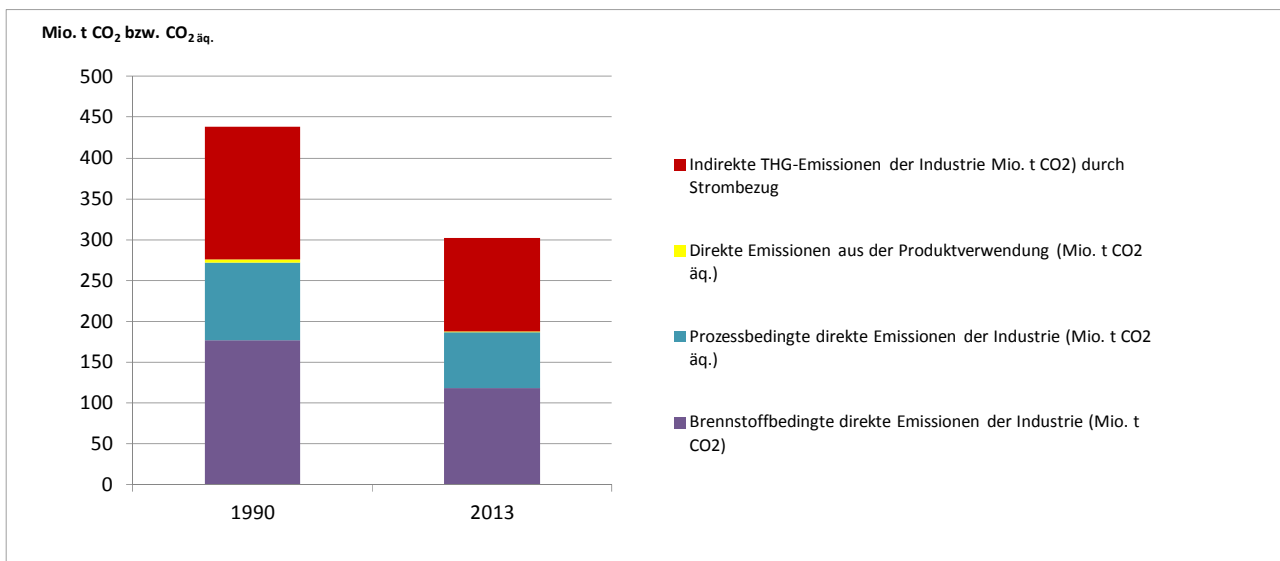
Quelle: Öko-Institut, Fraunhofer ISI (2015)

2.3. Ableitung transformativer Pfade

Die direkten Treibhausgasemissionen der gesamten Industrie in Deutschland betragen im Jahr 2013 knapp 190 Mio. Tonnen CO_{2äq.}. Zusätzlich fielen in diesem Jahr etwa 114 Mio. Tonnen an indirekten CO₂-Emissionen durch den Strombezug der Industrie an. Somit beliefen sich die gesamten Emissionen (direkte und indirekte) der gesamten Industrie 2013 auf insgesamt gut 300 Mio. Tonnen CO_{2äq.} (vgl. Abbildung 2-7).

⁵ Hinterfragt werden sollte aus Sicht von IREES, ob die Aluminiumindustrie in Deutschland bis 2050 tatsächlich eine derartigen Zuwachs aufweisen wird. Falls in Deutschland statt eines Anstiegs der Produktion zukünftig mehr Aluminium importiert würde (Verlagerung der Produktion z.B. nach Island), würden die Emissionen dieses Industriesektors dementsprechend in Deutschland mehr oder weniger stark absinken.

Abbildung 2-7: Entwicklung der THG-Emissionen der deutschen Industrie von 1990 bis 2013 (einschließlich der indirekten energiebedingten Emissionen)



Quelle: BMUB 2014, UBA 2014a, AGEB 2014, Destatis 2014

Insgesamt verursacht der Energiebedarf (Strombezug + Brennstoffbedarf) der Industrie knapp 80 % der Emissionen, davon entfiel knapp die Hälfte auf den Strombezug. Gut 20 % der Treibhausgasemissionen entstanden in Produktionsprozessen der einzelnen Industriebranchen, beispielsweise beim Bearbeiten von Eisenerz im Hochofen oder beim Zementbrennen.

Zukünftig dürfte auch der Strombedarf der Industrie (seit 2004 auf gleichem Niveau stagnierend) vermutlich aufgrund eines geringen Wirtschaftswachstums (2004 – 2014: 1,8 %/a; 2010 – 2030: 0,8 bis 1,25 % /a, vgl. Tabelle 2-1) und größeren Fortschritten bei der Stromintensität (2004 – 2014: 1,7 %/a; AGEB 2016 und BMWi 2016) sinken. Zwar nehmen Stromanwendungen durch eine fortschreitende Automatisierung und den zunehmenden Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien zu, dieser Mehrbedarf dürfte jedoch gleichzeitig durch den Trend hin zur Stromeffizienz und einem Strukturwandel hin zu weniger energie-intensiven Branchen bzw. Dienstleistungen mehr als ausgeglichen werden.

2.3.1. Nachfrageverminderung der energieintensiven Grundstoffe sowie Möglichkeiten der Substitution bei den Werkstoffen bzw. bei den Rohstoffen

In dem Klimaschutzszenario 95 (2. Berichtsrunde) wird für die energieintensiven Grundstoffe eine gesteigerte Materialeffizienz unterstellt, die langfristig (2050) in einer Reduktion der produzierten Menge um 3-5 % resultiert. Dabei handelt es sich jedoch eher um konservative Schätzungen.

Für einen transformativen Pfad müsste es in diesem Aktionsfeld in erster Linie um eine deutliche Erhöhung der Aktivitäten zur Steigerung der Materialeffizienz bei den energieintensiven Grundstoffen ab dem Jahr 2017 gehen, inklusive einem signifikanten Ausbau des Material- und Rohstoff-Recyclings, der Materialsubstitution sowie einem verstärkten Pooling (Nutzungsintensivierung) und einer Lebensdauererlängerung von Produkten:

- Ein optimiertes Konstruktionsdesign bzw. Produktgestaltung, das beispielsweise auf bionischen Grundlagen und Erkenntnissen und weiter verbesserten Materialeigenschaften auf-

setzt, sollte den Materialbedarf zur Produktion entsprechender Produkte branchenübergreifend signifikant reduzieren und die gestärkte Wiederverwertung am Lebensende der Produkte deutlich erleichtern.

- Eine deutliche Reduktion von Produktionsausschuss bzw. von Fehlchargen kann durch verstärkte Simulation der betroffenen Produktionsabläufe (inklusive Einbezug der Zulieferer) erzielt werden. Hierzu trägt die Verfahrensoptimierung durch verstärkten Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien bei.
- Korrigierte Qualitätsüberanforderungen führen zu vermindertem Energiebedarf bei energieintensiven Grundstoffproduktionen (z.B. geforderte Blasenfreiheit von Autoglas, Oberflächenbeschaffenheit von Gebrauchsgütern, etc.).
- Die Materialwissenschaft eröffnet große Potentiale verminderten Energiebedarfs durch Substitution energie-intensiver Materialien durch neuartige Materialien (z.B. Verbundwerkstoffe, Kunststoffe und Leichtmetalle).
- Aufbau eines intelligenten Material-Recycling-Systems von Grund- und Rohstoffen. Hierzu trägt auch die Weiterentwicklung von Verfahren zur sortenreinen Stoff- und Materialtrennung im Rahmen des Aus- und Aufbaus der branchenübergreifenden Kreislaufsysteme (z.B. Phosphorrecycling aus Klärschlamm, etc.) und eines optimierten Recycling-Systems für Metalle und Kunststoffe bei.
- Steigerung der Anteile von biogenen Rohstoffen aus nachhaltigem Anbau und stoffliche Nutzung biogener Abfallstoffe.
- Eine bewusste Förderung von Pooling / Leasing (z.B. für Straßenfahrzeuge, Baumaschinen, Handwerker- und Garten-Maschinen) führt zu deutlich höheren jährlichen Nutzungszeiten und geringerer Nachfrage nach den betroffenen Produktgruppen.

Diese Vielfalt zur Verminderung der Nachfrage nach energieintensiven Grundstoffen und Zwischenprodukten bietet einen erheblichen Beitrag zum Ziel eines transformativen Pfades der Industrie mit einem jährlichen Reduktionspotential der THG-Emissionen von etwa 0,5 % pro Jahr (oder 1,5 Mio. t CO₂ jährlich (Jochem/Reitze 2014)).

2.3.2. Verminderung der Verluste bei der Nutzenergie

Die in den Produktionsprozessen erforderliche Wärme, Kälte oder Kraft (einschließlich Druckluft) ist abhängig von der jeweiligen Produktionstechnik, die häufig tradiert ist über Jahrzehnte und nur kleinere Verbesserungs-Innovationen erfahren hat. Für einen transformativen Pfad geht es in diesem Aktionsfeld in erster Linie um Verfahrens-Substitutionen, so z.B.:

- Verfahren zur Stofftrennung nicht mehr mit thermischen Verfahren (z.B. Rektifikation, Destillation), sondern mit Membrantechniken, Absorption oder Extraktion, die alle einen deutlich geringeren spezifischen Nutzenergiebedarf haben.
- Die mechanischen Verfahren zur Trocknung werden häufig zu wenig ausgenutzt, zu früh werden thermische Trocknungsverfahren eingesetzt, häufig ohne hinreichende Regelung mit dem Ergebnis von Übertrocknung oder eines in Summe erhöhten Energieeinsatzes (Beispiel Schuhpressen in der Papierindustrie verstärkt zur mechanischen Entwässerung vor thermischer Trocknung einsetzen).

- Die Wiedererwärmung von Metallen bei der Weiterverarbeitung könnte vermieden werden (endabmessungsnahes Gießen, Fertigung aus einer Wärme, für Kunststoff-Spritzgießen könnte Abwärme verwendet werden und nicht Strom).
- Die Rückgewinnung von Abwärme eröffnet Nutzenergie-Einspar-Potentiale via ORC-Anlagen, Nutzung des Peltier-Effektes, Temperatur-Kaskaden, Einspeisung in Nah- und Fernwärmenetze Stromrückspeisung,

Die Verminderung des spezifischen Nutzenergiebedarfs in der Industrie ist vom technischen und strukturellen Blickwinkel betrachtet sehr groß. Er wurde in einer Analyse bzgl. Prozesssubstitution, verstärkte Abwärmenutzung und industrieller Strukturwandel bis 2050 mit etwa einer Halbierung angegeben (Jochem et.al. 2004).

2.3.3. Verminderung der Verluste bei Energiewandlern von Endenergie auf Nutzenergie (inklusive der Verteilung der Nutzenergie)

Bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie lassen sich zukünftig noch große Einsparungen innerhalb der gesamten Industrie erzielen. Solche Effizienzverbesserungen betreffen z.B. die Wärmeerzeugung in Kesselanlagen und mittels Wärmepumpen sowie viele Stromanwendungen (z.B. Elektromotoren mit höherem Wirkungsgrad). Ein transformativer Pfad sollte daher in diesem Bereich zukünftig unter anderem an folgenden Ansatzpunkten zum Tragen kommen:

- Angesichts der weiter fortschreitenden Automatisierung und des großen Anteils des Strombedarfs für elektrische Antriebe am Energiebedarf der Industrie muss unbedingt der Trend hin zu hocheffizienten E-Motoren fortgeführt werden; zumal hier noch immer riesige ungenutzte Effizienzpotentiale bei der Umwandlung von Endenergie in Nutzenergie schlummern. Die Optimierung muss die gesamten Elektromotoren-Systeme (Antrieb, Steuerung, Software, etc.) mit einbeziehen.
- Die Kraft-Wärme/Kälte-Kopplung (KW(K)K) dürfte bei geeigneten Rahmenbedingungen einen essentiellen Beitrag zur Verminderung der industriellen THG-Emissionen leisten. Bei gekoppelter Erzeugung besteht noch immer gegenüber der ungekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme ein erheblicher Vorteil in der CO₂-Bilanz
- Die Druckluftherzeugung könnte durch den konsequenten Einsatz von drehzahlgeregelten Kompressoren im Durchschnitt um etwa 30 % effizienter gestaltet werden. Weitere Einsparungen lassen sich durch eine zentrale übergeordnete Steuerung sowie eine Fernüberwachung des gesamten Systems (inklusive der Zu- und Ableitungen) erzielen.
- Die gesamtheitliche Optimierung des Anlagenkonzeptes von Kompressionskälteanlagen (inklusive Regelung, Betriebsführung und Wartung) dürfte zu Stromeinsparungen von über 30 % führen. Gleichzeitig könnte in diesem Bereich bei den Kompressoren anfallende Abwärme zum Betrieb von Absorptionskälteanlagen genutzt werden. In jüngster Zeit werden auch Kaltwasser-Lüftungssysteme eingeführt, die auf die Kompressionskälteerzeugung verzichten können und Stromeinsparungen bis zu 80% erzielen.
- Lüfter- und Pumpensysteme haben häufig noch sehr mäßige Wirkungsgrade. Hier sind deutliche Wirkungsgradverbesserungen insbesondere durch verbesserte Pumpen- und Lüfter-Konstruktionen möglich.
- Der Faktor Mensch muss durch Informations- und Aufklärungskampagnen mit in die Effizienzbemühungen einbezogen werden. Insbesondere die regelmäßige Wartung und der optimierte Betrieb der Kessel- und Kälteanlagen (regelmäßige Reinigung der Wärmeüber-

träger, etc.) sowie der Pumpen und Kompressoren führt zu großen Einsparungen. Auch das regelmäßige Aufspüren von Energieverlusten hat in letzter Zeit an Bedeutung gewonnen (z.B. durch „Energie-Scouts“).

2.3.4. Flexibilisierung der Strom- und Wärme- bzw. Kältenachfrage und Stromeigenerzeugung

Die Transformation des Energiesystems und auch der Industrie wird in erheblichem Umfang ein fluktuierendes Stromangebot (durch Sonnen- und Windenergie bedingt) bedeuten. Neben den verschiedenen, relativ kostspieligen Speicher- und Power to X –Konzepten dürfte die Frage der flexiblen Stromnachfrage und Stromeigenerzeugung in Industriebetrieben eine - auch aufgrund relativ geringer Kosten - wichtige Rolle spielen. Das flexible Verhalten auf Stromspitzen und -senken seitens der großen Elektrolysen und KWK-Anlagen in der Grundstoff-Industrie mit mehreren MW Leistung hat eine jahrzehntelange Tradition, aber für kleine Leistungen war dies nicht möglich. Aber infolge der heutigen kostengünstigen Mess-, Regel- und Kommunikationstechnik lassen sich auch kleine Leistungen von einigen 10 kW kosteneffizient für Minuten- und Stunden-Leistungen bündeln und an die Strombörse bringen.

Teil eines transformativen Pfades muss daher die Ausschöpfung dieser neuen Möglichkeiten sein, die in vielen Fällen deutlich kostengünstiger sind als die mit großer Aufmerksamkeit heute bedachten thermischen und chemischen Speicher. Erste Untersuchungen zeigen sowohl Flexibilisierungspotentiale im Bereich von Querschnittstechniken (z.B. Lüftung, Pumpensysteme, Warmwasserspeicher, Fernwärmenetze) als auch in Prozessen mit Zwischenspeicher für Produkte (z.B. Klinker vor dem Zementmahlen oder chemischen Grundstoffen) oder Prozesse mit Speicher-Charakter (z.B. Waschbäder, Speicher für Sprinkleranlagen, Schwimmbäder, Kühlhäuser, klimatisierte Gebäude).

Eine ähnliche Flexibilisierung ist auch im Zusammenhang mit (kleinen) industriellen KWK-Anlagen (BHKW-Anlagen) und Notstromaggregaten in der Industrie gegeben. In Zukunft dürften auch ORC-Anlagen als weitere Option hinzukommen.

2.3.5. Substitution der fossilen Energieträger durch CO₂-freie oder neutrale Energieträger

CO₂-intensive Stein- und Braunkohlen werden derzeit ausschließlich in einigen Prozessen und KWK-Anlagen der Grundstoff-Industrie eingesetzt (Anteil am Endenergieverbrauch: 15,6 % oder 400 PJ/a mit 39 Mio. t CO₂/a). Weitere 94 PJ (gut 7 Mio. t CO₂) werden durch Heizöl verbraucht. Ein großer Teil dieser fossilen Energieträger könnte durch Erdgas bzw. Flüssiggas (Verminderung ca. 8 Mio. t CO₂ /a) substituiert werden, aber sicherlich wird man darauf bedacht sein müssen, ob nicht Holzhackschnitzel oder organische Abfallstoffe (z.B. in der Nahrungsmittel-, pharmazeutischen oder Papierindustrie; derzeit 92 PJ / a 3,6 % des EEV), Fernwärme bei Niedertemperaturbedarf (derzeit 190 PJ/a; 7,5 % des EEV) oder sowie Abwärme aus dem eigenen Produktionsprozess oder einem Nachbarbetrieb (derzeit 62 PJ; 2,4 % des EEV) genutzt werden könnte. Auch gibt es vereinzelt solarthermische Anwendungen, die hauptsächlich im Sommerhalbjahr als „fuel saver“ dienen. Summiert man die Mengen der CO₂-neutralen Brennstoffe und Abwärmern, erhält man mit 154 PJ / a einen Anteil von 6% am industriellen Endenergieverbrauch des Jahres 2013.

Teil eines transformativen Pfades muss es sein, die fossilen Energieträger, darunter insbesondere die Stein- und Braunkohlen-Anwendungen und die Heizölnutzung schnell zu reduzieren und dabei jeweils zu prüfen, ob eine Umstellung auf einen CO₂-neutralen Brennstoff oder Abwärme möglich

ist. Dies gilt auch für das Erdgas, das bei 900 PJ jährlicher Nutzung mit gut 50 Mio. t CO₂ /a die größten direkten brennstoffbedingten Emissionen ausmachen.

2.3.6. Prozessbedingte Emissionen - ihre Verminderung oder Vermeidung

Nicht alle Treibhausgasemissionen können grundsätzlich in allen Produktionsprozessen vermieden werden (z.B. Produktion von Ammoniak, Lachgas bei der Adipinsäure-Herstellung oder CO₂ bei der Rohstahl- Zement- und Kalkherstellung), ohne diese Prozesse zu ersetzen oder die entstehenden Treibhausgase aufzufangen (z.B. durch CCU bzw. CCS). In den betrachteten Szenarien (z.B. AMS) wird bei einigen Prozessen (z.B. Zement, Kalk, Rohstahl) die Carbon Capture and Storage-Technologie (CCS) zur Reduktion von CO₂-Emissionen eingesetzt. Voraussetzung ist, dass durch die Nutzung des abgeschiedenen Kohlenstoffs fossile Kohlenstoffträger eingespart werden. Eine Abscheidung der CO₂-Emissionen aus den Rauch- oder Produktionsgasen erfolgt hier sowohl für verbrennungsbedingte als auch prozessbedingte Emissionen. Hierbei ist es in der Regel kosteneffizienter - und von der Akzeptanz seitens der Bevölkerung her günstiger - die in hoher Konzentration anfallenden CO₂-Gase für weitere Produktionen in der Grundstoff-Chemie zu nutzen.

Der transformative Pfad muss Konzepte und Strategien enthalten, die für einen möglichst effizienten Umgang mit den zwangsläufig anfallenden THG-Emissionen sorgen. Dazu tragen bei:

- CCU (Carbon Capture and Utilization): Anfallende CO₂-Emissionen werden aufgefangen und zur Herstellung von Methanol durch Umsetzung von CO₂ und Wasserstoff genutzt (bereits technisch erprobt). Dieser Prozess macht aus Klimaschutzgründen insbesondere dann Sinn, wenn der erforderliche Wasserstoff aus regenerativen Quellen zu konkurrenzfähigen Preisen zur Verfügung steht (eventuell unter Einschluss eines Systems der CO₂-Zertifikaten oder -Abgaben). Das auf diese Weise hergestellte Methanol bildet die Grundlage für eine Methanol-Wirtschaft, um über die C1-Chemie die chemische Industrie mit Chemiegrundstoffen zu versorgen.
- Die Forschungs-Politik sollte zusammen mit den betroffenen Industriebranchen ein zielorientiertes Forschungsprogramm auflegen, um der Entwicklung alternativer Nutzungsstrategien von CO₂-Emissionen im industriellen Maßstab als eine Option zum Durchbruch zu verhelfen. Zudem könnten sich die branchenspezifischen Forschungsschwerpunkte mit der Entwicklung neuartiger hydraulischer Bindemittel, elektrolytischer Verfahren bei der Stahlherstellung, der Schmelz- oder Direktreduktion (Verfahrens-Substitution) oder beispielsweise mit dem Betrieb von Algen-Reaktoren (zusätzliche Biomasse-Quelle) beschäftigen.
- Falls der Anfall von CO₂-Emissionen nicht ausreichend durch alternative Nutzungen in Industrieprozessen verarbeitet werden kann, würde prinzipiell auch die abschließende Speicherung von CO₂ in ausgebeuteten Erdgaslagerstätten (CCS) eine Option sein. Sie hätte wahrscheinlich mit Akzeptanzproblemen zu kämpfen.

2.3.7. Zulieferer von Technologie, Installation und Beratung sowie Intermediäre

Die in den Abschnitten 2.3.1 bis 2.3.6 beschriebenen technologischen Teilloptionen eines transformativen Pfades bedürfen des Zusammenspiels aller an diesen Innovationen beteiligten Akteure:

- Für Maschinen- und Anlagen-Hersteller sowie die OEMs müssen die Kooperationen zwischen Anwender und angewandter Forschung intensiviert werden. Bei in Serie produzierten Gütern und Geräten wäre die Einführung von Labels mit der Information „high energy efficient components inside“ wichtig, ebenso die Pflicht, energieeffiziente Lösungen auch mit Rentabilitätsmaßen bei der Angebotsabgabe zu bewerten.

-
- Der Großhandel muss in der Lage sein, hoch energieeffiziente Produkte rasch, beispielsweise binnen 24 Stunden, liefern zu können, um bei nicht geplanten Ersatzinvestitionen (z.B. aufgrund von störungsbedingtem Austausch) nicht aufgrund der schnelleren Lieferbarkeit auf ineffiziente Produkte zurückgreifen zu müssen
 - Die berufliche Fortbildung bei energietechnischen Beratern ist eine Voraussetzung für das Gelingen eines jeden transformativen Pfads zur klimaverträglichen Industrie. Denn die Ingenieure, die heute die Hochschulen verlassen, müssen in ihrem Berufsleben diese Transformation durchführen, wozu sie heute noch nicht gerüstet sind und sein können.
 - Die Banken sind gefordert, bei der Finanzierung der neuen Technologien mit zu unterstützen. Häufig sind sie „technologisch blind“ und schauen zu sehr auf Bonität und allgemeine Risiken ihrer Kunden. Die Versicherungen sind gefordert, veranschlagte Energiekosteneinsparungen zu versichern oder die Risiken von speziellen Fällen abzusichern (z.B. die Abwärmenutzung zwischen zwei Betrieben in einem Gewerbegebiet).
 - Die normen-gebenden Institutionen wie DIN oder VDI sind gefordert, die Qualitäts- und Mess-Standards für neue Technologien festzulegen, und dies bei den Anforderungen von Qualität, Praktikabilität und in kurzen Fristen.

2.3.8. Förderung von produktbegleitenden Dienstleistungen der Technologieproduzenten

Neue Technologien der Transformation sind häufig komplexer als die traditionellen Produktionsprozesse. Um diese zügig im Inland (oder im Export) einsetzen zu können, bedarf es produktbegleitender Dienstleistungen der Beratung, Planung, Bauleitung, Inbetriebnahme und Wartung, aber auch der Finanzierung oder des Betriebs (Contracting). Diese produktbegleitenden Dienstleistungen können von der Herstellern selbst oder spezialisierten Dienstleistern angeboten werden. Dieses Konzept intensiv zu fordern und zu fördern, hat folgende Vorteile:

- Die Umsetzung der neuen Technologien erfolgt schneller, kompetenter und mit weniger Fehlern. Dieses ist angesichts des Innovationsdrucks, bis Mitte des Jahrhunderts die Transformation weitgehend realisiert zu haben, sehr erwünscht.
- Die zusätzlichen Arbeitsplätze für die produktbegleitenden Dienstleistungen erhöhen die Wertschöpfung der Wirtschaft, ohne dass viel zusätzliche Energie benötigt würde. Damit wird die wirtschaftliche Entwicklung mit kaum zusätzlichen THG-Emissionen auch schon von heute bis 2050 unterstützt.

2.4. Transformationsbedarf bis zum Jahr 2030

Die Transformation der deutschen Industrie zu einer klimaverträglichen Produktionsstruktur kann nicht früh genug aus folgenden Gründen beginnen:

- Die Re-Investitionszyklen vieler Produktionsanlagen betragen drei, vier Jahrzehnte (z.B. Hochöfen, Drehrohröfen, Kessel- und Turbinenanlagen). Industrie-Anlagen, die heute geplant werden, sind also erst um 2050 am Ende ihrer Laufzeit und bestimmen die Entwicklung der THG-Emissionen entscheidend mit. Diese langlebigen Anlagen machen derzeit knapp 50 % der derzeitigen THG-Emissionen aus.
- Bei den Technologien der Transformation handelt es sich häufig um neue Maschinen, Anlagen und Verfahren (z.B. Pilotanlagen im Bereich der ORC-Anlagen, des dreidimensionalen Schmiedens, der Membrantechnik in der Nahrungsmittelindustrie). Diese brauchen ihre Zeit für Erfahrung Sammeln und Vertrauen Wecken, bevor die eigentliche Diffusion der neuen Technik starten kann. Diese „Inkubationszeit“ kann bei den hier betrachteten Techniken durchaus 10 Jahre dauern.

Gerade die energie- und THG-emissions-intensiven Produktionen haben sehr lange Re-Investitions-Zyklen und Einführungszeiten bei neuen Technologien. Wenn also nicht in den kommenden 5 bis 15 Jahren diese Dynamik seitens Politik, Herstellern und angewandter Forschung beachtet wird, wird die Transformation der deutschen Industrie zu einer klimaverträglichen Produktionsstruktur nicht zu machen sein. Kapitalvernichtung wegen Nichteinhaltung von Re-Investitionszyklen würde zu erheblichen politischen Auseinandersetzungen führen, und eine zu schnelle Markteinführung unbekannter Produktionstechniken zu hohen Anlaufkosten, die viel Verärgerung zwischen den Akteuren und eventuell Produktionsverlagerungen (mit Carbon Leakage) ins Ausland provozieren könnten.

Nachfrage-Reduktion sowie Material- und Rohstoffsubstitution

Bis 2030 sollte eine intensivierete Forschung zur Weiterentwicklung bestehenden und neuer Verfahren zur Produktion energieintensiver Grundstoffe oder alternativer Verfahren zur Produktion energieintensiver Grundstoffe betrieben werden (z.B. für Rohstahlerzeugung ohne Kohlenstoffträger, verbesserte Katalysatoren). Auch sollte eine Reihe von Pilot- und Demonstrationsanlagen für die Produktion dieser neuartigen Materialien (z.B. innovative Bindemittel als Ersatz für klassischen Zement, carbonfaserhaltige oder biomasse-basierte Kunststoffe.) im industriellen Maßstab in Betrieb genommen werden. Dabei sollte auch mit ersten Untersuchungen zum Langzeitverhalten dieser neuartigen Materialien begonnen werden, um Grundlagen für Grenzen des Einsatzes und Haftungsfragen zu erhalten.

Daran anschließen könnten sich bei Markteintritt eine Informations- und Aufklärungskampagne sowie eine berufliche Fortbildung über diese Technologien, in welche alle wesentlichen Akteure mit einbezogen werden sollten. Derartige Informationskampagnen bieten sich auch für die bereits heute verfügbare Materialien und Technologien an (z.B. Leichtbau, biogene Kunststoffe, Mehrkomponentenmaterialien), die zur Nachfragereduktion klassischer energieintensiver Grundstoffe führen und deren Einsatzfähigkeit zu wenig bekannt ist.

Generell sollten auch neuartige Nutzungskonzepte erarbeitet (z.B. mobiles Büro für bestimmte Dienstleistungsbereiche), und über die Möglichkeiten zur Lebensverlängerung ausgewählter Produkte und Gebrauchsgüter mit hoher technischer Reife nachgedacht werden.

Verminderung der Nutzenergieverluste

Die Verminderung der Nutzenergieverluste sollte insbesondere unter drei Gesichtspunkten gesehen werden:

- (1) Dort, wo es marktfähige neue Produktionsprozesse gibt, sollten diese durch Information, Demonstration, Fortbildung und eventuell finanzielle Förderung beschleunigt realisiert werden.
- (2) Neue Technologien mit deutlich vermindertem Nutzenergiebedarf sollten durch angewandte Forschung und Pilot-Projekte soweit vorangetrieben werden, dass sie möglichst bald marktfähig sind.
- (3) Die Abwärmenutzung in sehr vielen Branchen und Industriegebieten eröffnet eine große Chance, ein Energiequelle aufzuschließen, die derzeit mit 62 PJ/a (2,4 % am industriellen Endenergieverbrauch) ein gesamtwirtschaftlich und klimapolitisch nicht zu rechtfertigendes Schatten-Dasein führt.

Verminderung der Verluste bei Energiewandlern von Endenergie auf Nutzenergie (inklusive der Verteilung der Nutzenergie)

Die Energieeffizienz sollte bei den Energie-Wandlern und der Energieverteilung in den Produktionsbetrieben und Gewerbegebieten mehr in den Blickpunkt der Aufmerksamkeit gerückt werden. Bei den Elektro-Motor-Systemen liegen erhebliche rentable Stromeinsparpotentiale, aber auch Wärme-Rückgewinnungs-Potentiale (z.B. bei Kompressor-Systemen). Die Anwendung der BHKW- und Wärmepumpen-Anlagen oder der ORC-Technik steht erst in ihren Anfängen in vielen Branchen der Industrie.

Hierzu wäre die Einführung eines systematischen Energiedatenmanagements und der produktionslinien-orientierten Energiekosten-Zuordnung innerhalb der einzelnen Unternehmen äußerst zielführend. Gleichzeitig sollten vermehrt organisatorische Maßnahmen ergriffen werden, die den Energieverantwortlichen, den Maschinen- und Anlagenführern mehr Eigenverantwortung und Anerkennung geben, aber auch mehr Anforderungen an sie stellen. Der Erfahrungsaustausch unter den Energieverantwortlichen in Energieeffizienz-Netzwerken und Erfa-Kreisen der Wirtschaftsverbände und IHKs wirkt ebenfalls wie ein Innovationsbeschleuniger.

Flexibilisierung der Strom- und Wärme-Nachfrage und der industriellen Stromeigenerzeugung

Wenn sich die Stromnachfrage in Zukunft zunehmend nach dem Stromangebot richten müsste (das Gegenteil der vergangenen Stromversorgung), dann ist die Flexibilisierung der Strom- und Wärmenachfrage sowie der industriellen Stromeigenerzeugung (KWK- und ORC- sowie Notstromanlagen) eine in den meisten Fällen kosteneffektivere Lösung verglichen mit den Konzepten großer thermischer und chemischer Speicher bzw. Power to Gas- und vergleichbaren Konzepten.

Dieser Kostenvorteil der Flexibilisierung in der Industrie wird heute zu wenig wahrgenommen (stattdessen forscht und entwickelt man mit großer Aufmerksamkeit an den kostenspielligen technisch monolithischen Alternativen). Hier müssen Politik, Verbände, Hersteller und angewandte Forschung unbedingt in den kommenden 10 Jahren eine angemessene Justierung der Entwicklungsarbeiten der verschiedenen Optionen zur Adaption an die variierende Stromerzeugung vornehmen, will man weitere Preissteigerungen bei der Stromversorgung vermeiden.

Substitution der fossilen Energieträger durch CO₂-freie oder neutrale Energieträger

Da die Stein- und Braunkohlen sowie die Heizöle noch etwa 45 Mio. t CO₂/a emittieren, wäre hier intensiv zu prüfen, inwieweit im Rahmen von Re-Investitionen gasbetriebene Prozesse oder - besser noch – organische Abfallstoffe, Holzhackschnitzel oder Abwärme aus eigenen Prozessen oder Nachbarbetrieben genutzt werden könnte. Auch das Erdgas sollte bei den Entscheidungen über Re-Investitionen der Wärmeerzeugung nicht ausgespart bleiben. Bei Niedrigtemperatur-Wärmebedarf muss auch an die Fernwärme oder Abwärme aus Nachbarbetrieben gedacht werden.

Da es sich bei diesen Nutzungen der Brennstoffe in sehr vielen Fällen um sehr langfristige Re-Investitionen von Prozessanlagen oder Wärmeerzeugern handelt, muss in den kommenden Jahren auf diese Optionen wesentlich mehr Aufmerksamkeit fallen, will man den Transformationsprozess in der Industrie in diesem Bereich mit geringen Transformationskosten vollziehen.

Prozessbedingte Emissionen

Eine aktive Forschung an alternativen Verwendungen für anfallendes CO₂ sollte im Vordergrund aller Bemühungen beim Umgang mit prozessbedingten THG-Emissionen sein, die derzeit nicht vermeidbar oder nur sehr schwer vermeidbar sind. Dabei ist darauf zu achten, dass sich die Energieeffizienzbemühungen und die Anstrengungen zur Vermeidung prozessbedingter THG-Emissionen nicht gegenseitig ausspielen.

Es sollten auch geeignete Anreize geprüft werden, um eine Forschung in denjenigen Branchen voranzutreiben, die entweder CO₂ als Wert- bzw. Werk-Stoff verwenden könnten oder die Emission von CO₂ aus ihren jetzigen Prozessen durch Prozess-Substitution nach Möglichkeit ganz vermeidet.

Zulieferer + Intermediäre

In der Vergangenheit wurde das Zusammenspiel aller an neuen energieeffizienten Lösungen beteiligten Akteure – im Sinne eines Innovationssystems – zu wenig beachtet. Vielmehr wurden einzelne Maßnahmen der Energieeffizienz-Politik additiv und jeweils adressiert an ein Hemmnis ergriffen. In den nächsten Jahren wird es darum gehen, die bestehenden Bündel von Hemmnissen der verschiedenen Akteursgruppen und Technologien in einer Gesamtschau (systemar) anzugehen, um dadurch die Marktdiffusionsgeschwindigkeit der energieeffizienten und klimaneutralen Technologien zu erhöhen. Beispiele sind: Engere Kooperationen zwischen Herstellern, Anwendern und angewandter Forschung, ein schnell liefernder Großhandel, verbesserte berufliche Fortbildung für beratende Ingenieure, ein besseres Verständnis der Banken und Versicherungen für den Bedarf der Energietechnologie-Investitionen in der Industrie oder rechtzeitig vorliegende neue technische Standards für neue Technologien oder Normen für Energiedienstleistungen.

Förderung produktbegleitender Dienstleistungen

Neue produktbegleitende Dienstleistungen der Beratung, Planung, Bauleitung, Inbetriebnahme und Wartung, aber auch der Finanzierung oder des Betriebs (Contracting) müssten verstärkt seitens der Hersteller oder spezialisierter Dienstleister angeboten werden. Sofern diese Dienstleistungen in den kommenden Jahren verstärkt und kompetent angeboten werden, wird man den Transformationsprozess der Industrie zu klimaverträglichen Produktionen beschleunigen können. Es würde davon auch der Export der energieeffizienten und klimaschonenden Investitionsgüter profitieren.

Ausblick über das Jahr 2030 auf 2050

Die Energie-Ethik-Kommission forderte nach den Analysen des Reaktor-Unfalls von Fukushima und den Konsequenzen für einen Ausstieg aus der Kernenergie, dass die Umwandlung der Stromerzeugung zu hohen Anteilen erneuerbarer Energien ein Gemeinschaftswerk von Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft sein müsse, wenn diese Transformation gelinge solle.

Sehr vergleichbar ist es mit dem Klimaziel der Industriestaaten und der Bundesregierung: Wenn der Transformationsprozess der deutschen Industrie zu einer klimaverträglichen Produktionsstruktur nicht von allen Akteuren in Wirtschaft und Politik sehr bald als Gemeinschaftswerk verstanden wird, droht dieser Prozess auf halber Strecke (z.B. -60 % Treibhausgas-Reduktion gegenüber 1990) Mitte dieses Jahrhunderts zu scheitern – es sind nur noch 35 Jahre.

Literaturverzeichnis

- AGEB (2016): AG Energiebilanzen e.V. www.ag-energiebilanzen.de Zugriff am 15.3.2016
- AGEB (2015), AG Energiebilanzen e.V. www.ag-energiebilanzen.de Zugriff am 06.11.2015
- AGEB (2014): Detaillierte Energiebilanz 2013. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Köln/ Berlin
- BMWi (2016): Rahmendaten für die Energieversorgung Deutschland. Berlin 11.1.2016
- BMWi (2015a). Förderdatenbank zu Förderprogrammen und Finanzhilfen des Bundes, der Länder und der EU. <http://www.foerderdatenbank.de/Foerder-DB/Navigation/Foerderrecherche/suche.html?get=c22c7a8761d442912649f6c035570b17;views:document&doc=12093&pos=box#box>. Zugriff am 22.10.2015
- BMWi (2015b). 6. Energieforschungsprogramm. Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energieforschung-und-Innovationen/6-energieforschungsprogramm.html>. Zugriff am 22.10.2015
- Bundesrepublik Deutschland (BRD), 2015, Projektionsbericht 2015 gemäß Verordnung 525/2013/EU, [http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2015/?tx_ttnews\[backPid\]=933](http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/klima-klimaschutz-download/artikel/projektionsbericht-der-bundesregierung-2015/?tx_ttnews[backPid]=933)
- Destatis (2014): Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Bergbau und im Verarbeitenden Gewerbe, Fachserie 4, Reihe 6.4 2014
- DLR, Fraunhofer IWES, IFNE (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. "BMU-Leitstudie 2011". Schlussbericht für das Bundesministerium für Umwelt. Stuttgart, Kassel, Teltow, 29. März 2012
- Jochem, E., Reitze, F. (2014): Material Efficiency and Energy Use. Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier, 2014 02 Apr-14; doi: 10.1016/B978-0-12-409548-9.09120-X
- Jochem, E. (ed.) u.a. (2004): Steps towards a Sustainable Development – A White Book for R&D of Energy-Efficient Technologies. ETH Zürich and Novatlantis, Zürich
- Öko-Institut und Fraunhofer ISI (2015) - Klimaschutzszenario 2050 – 2. Modellierungsrunde, im Auftrag des BMUB (Der 2. Endbericht findet sich derzeit in der Abstimmung mit dem Auftraggeber und wird voraussichtlich im Herbst 2015 veröffentlicht.)
- Öko-Institut und Fraunhofer ISI (2014) - Klimaschutzszenario 2050 – 1. Modellierungsrunde, im Auftrag des BMUB.
- Prognos, EWI, GWS (2014): Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie. Basel, Köln, Osnabrück, Juni 2014
- Prognos, EWI, GWS (2009), Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, im Auftrag des BMWi.
- Prognos, Öko-Institut (2009), Modell Deutschland – Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. Hg. v. WWF: Basel, Berlin.
- UBA (2015): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strom-Mix in den Jahren 1990 bis 2014 – Climate Change 9/2015
- UBA (2014a): Treibhausgasinventar der Bundesrepublik Deutschland 2013
- UBA (2014b): Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050. CLIMATE CHANGE 07/2014.Dessau, April 2014