

Endbericht

**Evaluierung der Zielwerte der Vereinbarung
zwischen der Regierung der Bundesrepublik
Deutschland und der deutschen Wirtschaft
zur Steigerung der Energieeffizienz vom
1.8.2012 für die Bezugsjahre 2017 – 2020**

Auftraggeber
BMWi
Referat I C 4
Villemombler Straße 76
53123 Bonn

Ansprechpartner
Dr. Alexander Piégsa

Mitarbeiter
Dr. Almut Kirchner
Sylvie Koziel
Sven Kreidelmeyer

Basel, 5.2.2018

Das Unternehmen im Überblick

Geschäftsführer

Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrates

Dr. Jan Giller

Handelsregisternummer

Basel-Stadt Hauptregister CH-270.3.003.262-6

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht

Gründungsjahr

1959

Tätigkeit

Die Prognos AG berät europaweit Entscheidungsträger aus Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Auf Basis neutraler Analysen und fundierter Prognosen werden praxisnahe Entscheidungsgrundlagen und Zukunftsstrategien für Unternehmen, öffentliche Auftraggeber und internationale Organisationen entwickelt.

Arbeitsprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz

Prognos AG
St. Alban-Vorstadt 24
4052 Basel | Schweiz
Telefon +41 61 3273-310
Telefax +41 61 3273-300

Prognos AG
Domshof 21
28195 Bremen | Deutschland
Telefon +49 421 517046-510
Telefax +49 421 517046-528

Prognos AG
Schwanenmarkt 21
40213 Düsseldorf | Deutschland
Telefon +49 211 91316-110
Telefax +49 211 91316-141

Prognos AG
Nymphenburger Str. 14
80335 München | Deutschland
Telefon +49 89 9541586-710
Telefax +49 89 9541586-719

Internet

info@prognos.com
www.prognos.com
twitter.com/prognos_ag

Weitere Standorte

Prognos AG
Goethestr. 85
10623 Berlin | Deutschland
Telefon +49 30 520059-210
Telefax +49 30 520059-201

Prognos AG
Résidence Palace, Block C
Rue de la Loi 155
1040 Brüssel | Belgien
Telefon +32 28089-947

Prognos AG
Heinrich-von-Stephan-Str. 23
79100 Freiburg | Deutschland
Telefon +49 761 7661164-810
Telefax +49 761 7661164-820

Prognos AG
Eberhardstr. 12
70173 Stuttgart | Deutschland
Telefon +49 711 3209-610
Telefax +49 711 3209-609

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	IV
1 Zusammenfassung	1
2 Ausgangslage und Zielsetzung	3
3 Methodik	5
3.1 Sektorabgrenzung	5
3.2 Datenquellen	6
3.2.1 Energieverbrauch	6
3.2.2 Bruttoproduktionswert und Bruttowertschöpfung	7
3.3 Methodik der Monitoringberichte	8
3.3.1 Bereinigungsverfahren	9
3.4 Szenarienrechnungen	11
3.4.1 Modellinstrumentarium	12
3.4.2 Szenarienannahmen	14
3.4.3 Rahmendaten in der Abgrenzung für die Berechnung der Energieintensität des Produzierenden Gewerbes	21
3.5 Effektzerlegung	25
3.5.1 Vorgehen bei der Energieversorgung	29
4 Ergebnisse	33
4.1 Bisherige Entwicklung der Energieintensität	33
4.2 Modellierung von Energieverbrauch und Bruttoproduktionswert für die Bezugsjahre 2016 - 2020 anhand unterschiedlicher Entwicklungsszenarien	35
4.3 Untersuchung der Determinanten der Energieintensität und Identifizierung der realistischen Effizienzpotenziale	39
5 Anhang	49
5.1 Abbildungen	49
5.2 Literatur	61
5.3 Abkürzungen	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Auslastungsgrad nach Berechnungsmethode, ex-post 1991 - 2015, ex-ante 2016 - 2020, in %	11
Abbildung 2: Zusammenspiel der Modelle von Prognos	14
Abbildung 3: Energiegewichtete durchschnittliche Effizienzentwicklung der Industrie nach Verwendungszwecken und Szenarien, in %/a	18
Abbildung 4: Energieträgereinsatz zur Stromerzeugung 2014 - 2050, nach Energieträgern und Szenarien, in %	19
Abbildung 5: Bruttoproduktionswert 1991 - 2020, nach Sektoren, in Indexeinheiten (2010=100)	23
Abbildung 6: Bruttoproduktionswert 1991 - 2020, nach Sektoren, in Mrd. € ₂₀₀₅	23
Abbildung 7: Bruttowertschöpfung 1991 - 2020, nach Sektoren, in Indexeinheiten (2010=100)	24
Abbildung 8: Bruttowertschöpfung 1991 - 2020, nach Sektoren, in Mrd. € ₂₀₀₅	24
Abbildung 9: Ex-post-Entwicklung der bereinigten Energieintensität (SVEN), in PJ/Mrd. € ₂₀₀₅	34
Abbildung 10: Energieverbrauch des Produzierenden Gewerbes für die Jahre 1990 - 2020, in PJ	37
Abbildung 11: Bereinigte Energieintensität (SVEN) nach Sektorabgrenzung (Industrie und Energieversorgung sowie Produzierendes Gewerbe) und Szenario (BAU sowie Ambitioniert), in PJ/Mrd. € ₂₀₀₅	38
Abbildung 12: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für das Verarbeitende Gewerbe, BAU-Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ	42
Abbildung 13: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für das Verarbeitende Gewerbe, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ	42
Abbildung 14: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für die Energieversorgung, BAU-Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ	43
Abbildung 15: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für die Energieversorgung, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ	43
Abbildung 16: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für das Produzierende Gewerbe, BAU-Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ	44
Abbildung 17: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für das Produzierende Gewerbe, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ	44

Abbildung 18: Energieintensität (SVEN) für das Produzierende Gewerbe, ausschließlich Effizienz- bzw. Effizienz- und Struktur-getrieben, BAU-Szenario für die Jahre 2007 - 2020, in PJ/Mrd. € ₂₀₀₅	45
Abbildung 19: Energieintensität (SVEN) für das Produzierende Gewerbe, ausschließlich Effizienz- bzw. Struktur-getrieben, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ/Mrd. € ₂₀₀₅	47
Abbildung 20a-g: Bruttowertschöpfung und deren Peak-to-Peak-Entwicklung, nach Sektoren, in Indexeinheiten (2005=100)	49
Abbildung 21a-e: Korrelation der Wachstumsraten von Bruttowertschöpfung und Bruttoproduktionswert nach Sektoren für die Jahre 1991 - 2015, in %/a	51
Abbildung 22a-g: Endenergie- bzw. Primärenergieverbrauch nach Sektoren und Szenarien für die Jahre 1990 - 2020, in PJ	53
Abbildung 23a-f: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs nach Sektoren, BAU-Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ	56
Abbildung 24a-f: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs nach Sektoren, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012 nach Szenarien, in %	2
Tabelle 2: Zielwerte für die zu erreichende sowie die tatsächlich erreichte kumulierte Reduktion der Energieintensität gegenüber dem Jahresdurchschnitt der Basisperiode 2007 - 2012	3
Tabelle 3: Wirtschaftszweige des Produzierenden Gewerbes	5
Tabelle 4: Energieverbrauch 1990 bis 2015 nach Sektor, in PJ	7
Tabelle 5: Bruttoproduktionswert 1991 bis 2015 nach Sektor, real, in Mrd. € ₂₀₀₅	8
Tabelle 6: Bruttowertschöpfung 1991 bis 2015 nach Sektor, real, in Mrd. € ₂₀₀₅	8
Tabelle 7: Wichtigste gemeinsame Rahmendaten beider Szenarien	15
Tabelle 8: Bruttoproduktionswert 2015 bis 2020 nach Sektor, real, in Mrd. € ₂₀₀₅	21
Tabelle 9: Bruttowertschöpfung 2015 bis 2020 nach Sektor, real, in Mrd. € ₂₀₀₅	22
Tabelle 10: Zuordnung der bestimmenden Parameter zu den Effekten je Sektor	28
Tabelle 11: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012, in %	34
Tabelle 12: Energieverbrauch 2015 bis 2020 nach Sektor, BAU-Szenario, in PJ	36
Tabelle 13: Energieverbrauch 2015 bis 2020 nach Sektor, Ambitioniertes Szenario, in PJ	36
Tabelle 14: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012, in %	38
Tabelle 15: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012 für das Produzierende Gewerbe, BAU-Szenario, in %	46
Tabelle 16: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012 für das Produzierende Gewerbe, Ambitioniert Szenario, in %	47

1 Zusammenfassung

In der Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft zur Steigerung der Energieeffizienz vom 1. August 2012 [Bundesanzeiger 2012] verpflichtet sich die Wirtschaft zu einer Reduktion der Energieintensität des Produzierenden Gewerbes ab dem Jahr 2013. Die vorliegende Studie berechnet die tatsächlich erreichte sowie die zu erwartende Reduktion der Energieintensität in den Jahren 2013 - 2020 bezogen auf die Basisperiode 2007 - 2012 und vergleicht diese Reduktion mit den in der Vereinbarung gesetzten Zielwerten.

Für die Vergangenheit wurden die Ergebnisse des RWI-Monitoringberichts mit den aktualisierten statistischen Daten gut reproduziert – die entsprechend der in der Vereinbarung geforderten Methodik berechneten Werte für die kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) sind robust. Sie liegen nach der Prognos-Berechnung für die Jahre 2013, 2014 und 2015 bei ca. 3,6 % p.a. bezogen auf die Basisperiode und sind somit fast dreimal so hoch wie die vereinbarten Zielwerte.

Einen Hauptbeitrag liefert hier der Sektor Energieversorgung mit einer Reduktion des Energieeinsatzes um ca. 25 % bei einem, Wachstum der Bruttowertschöpfung (BWS) um 33 % im Zeitraum von 1990 bis 2015. Diese Reduktion des Energieeinsatzes folgt vor allem aus der Strukturveränderung im Kraftwerkspark durch Zubau erneuerbarer Energien und Rückbau von Kernkraftwerken – hier kommt ein großer Wirkungsgradeffekt zum Tragen, da Windenergie und Photovoltaik mit einem definitiven Wirkungsgrad von 100 % in der Energiebilanz gewertet werden. Das Produzierende Gewerbe, welches sich hauptsächlich aus den Sektoren Energieversorgung und Verarbeitendes Gewerbe zusammensetzt, verzeichnet im gleichen Zeitraum einen Rückgang des Endenergieverbrauchs um 15 % bei einer Steigerung der BWS um 31 % – hauptsächlich aufgrund des Strukturwandels, d. h. des langsameren Wachstums energieintensiver gegenüber nicht-energieintensiven Branchen.

Für die zukünftige Entwicklung wurde ein Korridor aus zwei vorhandenen und in den Rahmenbedingungen angeglichenen Energieszenarien bis einschließlich 2020 ausgewertet. Das „Business-as-usual (BAU)-Szenario“ schreibt die aktuelle Effizienzentwicklung und die derzeit vorhandenen politischen Instrumente konservativ fort. Das „Ambitionierte Szenario“ ist ein Zielszenario, in dem eine Reduktion der energiebedingten Treibhausgase um gut 80 % bis 2050 mit zusätzlichen technischen Maßnahmen (unter Beibehaltung der im BAU-Szenario unterstellten Wirtschaftsstrukturentwicklung) erreicht wird. Hierbei werden sowohl vorhandene marktbeste Effizienztechnologien verstärkt eingesetzt als auch eine verstärkte Sektorkopplung im Bereich der Raumwärme (Wärmepumpen) und des Verkehrs (Elektromobilität) unterstellt – verbunden

mit einem ambitionierten Ausbau der erneuerbaren Energien. Die Kohle geht in beiden Szenarien aus wirtschaftlichen Gründen aus dem Kraftwerksmix, allerdings nicht bis 2020. In diesem Szenarienkorridor werden bis 2020 jährliche Reduktionswerte für die Energieintensität zwischen 3,23 %/a (BAU-Szenario) und 4,10 %/a (Ambitioniertes Szenario) ermittelt (Tabelle 1). Bezogen auf den Zeitraum von 2017 bis 2020 reicht die Spanne der jährlichen Reduktionswerte von 3,01 %/a (BAU-Szenario) bis 4,76 %/a (Ambitioniertes Szenario).

Tabelle 1: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012 nach Szenarien, in %

	ex-post			ex-ante					Ø
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	p.a.
gesetzlicher Zielwert für das Produzierende Gewerbe	1,3	2,6	3,9	5,25	6,6	7,95	9,3	10,65	1,33
BAU-Szenario									
RWI-Monitoring	4,4	9,0	12,2	13,8	18,7	21,5	23,7	25,8	3,23
Prognos	6,2	8,8	10,9	13,0	17,6	20,6	23,1	25,5	3,18
Ambitioniertes Szenario									
RWI-Monitoring	4,4	9,0	12,2	13,8	26,5	29,0	32,2	32,8	4,10
Prognos	6,2	8,8	10,9	13,2	25,4	28,2	31,7	32,5	4,07

Quelle: [RWI 2014-2017], Prognos AG

Diese Reduktionen der Energieintensität wurden mittels der Methode der Effektzerlegung im Detail untersucht. Hierbei wurden vor allem Struktureffekte (Veränderung der Branchenstruktur und Veränderung des Kraftwerksparks) von den reinen technischen Effizienzeffekten (Wirkungsgradsteigerung, Einsatz sparsamer Technologien) separiert. Es zeigen sich folgende Ergebnisse:

- Der Zielwert für das Produzierende Gewerbe 2020 von 10,65 % wird übertroffen und würde im BAU-Szenario unter den fortgeführten Annahmen bei einer Energieintensitätsminderung von 25,8 % liegen.
- Wenn man den isolierten (um Mengen- und Struktureffekte bereinigten) Effizienzeffekt betrachtet, so wird die Einsparung mit 18,5 % immer noch übertroffen.

Der Korridor der integrierten Effizienzerhöhung (d. h. der durch Effizienzmaßnahmen reduzierte Energieverbrauch) für das Produzierende Gewerbe ist im Vergleich der beiden untersuchten Szenarien schmal, weil der Effizienzgewinn in den Nachfragesektoren (im Wesentlichen dem Verarbeitenden Gewerbe) durch einen Effizienzverlust bei der Energieversorgung aufgrund der ab 2020 im Ambitionierten Szenario deutlich zunehmenden Biokraftstoffproduktion nivelliert wird.

2 Ausgangslage und Zielsetzung

In der Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und der deutschen Wirtschaft zur Steigerung der Energieeffizienz vom 1. August 2012 [Bundesanzeiger 2012] verpflichtet sich die Wirtschaft, neben der Einführung und dem Betrieb von Energiemanagementsystemen (EMS) in den Unternehmen, die den Spitzenausgleich beantragen, zur Reduktion der Energieintensität des Produzierenden Gewerbes ab dem Jahr 2013. Beide Anforderungen stellen die Gegenleistung für die Gewährung des Spitzenausgleichs dar – der Erstattung oder Verrechnung eines Teils der Strom- und der Energiesteuer. Die Vereinbarung flankiert die auf zehn Jahre (2013 - 2022) angelegte gesetzliche Fortführung des Spitzenausgleichs. Die Energieintensität als zentrale Kenngröße des Effizienzfortschritts des Produzierenden Gewerbes ist definiert als Energieverbrauch pro Bruttoproduktionswert, jeweils integriert über das gesamte Produzierende Gewerbe:

$$\text{Energieintensität} = \frac{\text{Energieverbrauch}}{\text{Bruttoproduktionswert}}$$

In der Vereinbarung wurden für die Antragsjahre 2015 bis 2018 Zielwerte zur Reduktion der Energieintensität festgelegt und die Zielerreichung wird in einem jährlichen Monitoring vom RWI-Leibnitz-Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) ermittelt [RWI 2014-2017]. Für die Antragsjahre 2019 bis 2022 ist im Energie- und Stromsteuergesetz derzeit eine jährliche Reduktion der Energieintensität um 1,35 % vorgesehen. Die folgende Tabelle 2 fasst die wesentlichen Angaben zusammen:

Tabelle 2: Zielwerte für die zu erreichende sowie die tatsächlich erreichte kumulierte Reduktion der Energieintensität gegenüber dem Jahresdurchschnitt der Basisperiode 2007 - 2012

Antragsjahr	Bezugsjahr	Gesetzlicher Zielwert der Reduktion der Energieintensität	Tatsächliche Reduktion der Energieintensität*
2015	2013	1,3 %	4,4 %
2016	2014	2,6 %	9,0 %
2017	2015	3,9 %	12,2 %
2018	2016	5,25 %	13,8 %
2019	2017	6,6 %	-
2020	2018	7,95 %	-
2021	2019	9,3 %	-
2022	2020	10,65 %	-

* zum Teil revidierte Werte aus den Monitoringberichten
Quelle: [Bundesanzeiger 2012], [RWI 2014-2017]

Bisher wurden die Ziele von der deutschen Wirtschaft in jedem Jahr weit übererfüllt, sodass der Spitzenausgleich in den Antrags-

jahren 2015, 2016, 2017 und 2018 in voller Höhe gewährt wurde. Die festgestellte Reduktion der Energieintensität war in den entsprechenden Bezugsjahren jeweils knapp drei Mal so hoch wie der gesetzliche Zielwert. Bereits im Bezugsjahr 2015 überschritt die berechnete Reduktion der Energieintensität den gesetzlichen Zielwert von 10,65 % für das Bezugsjahr 2020.

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Ermittlung des Potenzials zur weiteren Senkung der Energieintensität des Produzierenden Gewerbes für den Bezugszeitraum 2017 bis 2020. Die Erkenntnisse dieses „Reality-Checks“ sollen der Bundesregierung die notwendigen Informationen zur Verfügung stellen, um die derzeit bestehenden gesetzlichen Zielwerte zu evaluieren und gegebenenfalls anzupassen. Die Evaluierung ist laut Vereinbarung sowie Energie- bzw. Stromsteuergesetz im Jahr 2017 vorgesehen.

3 Methodik

3.1 Sektorabgrenzung

Die zu bestimmende Energieintensität bezieht sich integral auf das gesamte Produzierende Gewerbe. Dieses umfasst nach der Abgrenzung der amtlichen Statistik Unternehmen aus den Wirtschaftszweigen Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden (im Weiteren verkürzt „Bergbau“ genannt), Verarbeitendes Gewerbe, Energie- und Wasserversorgung, Baugewerbe sowie die Betriebe des produzierenden Handwerks (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Wirtschaftszweige des Produzierenden Gewerbes

Klassifikation nach WZ 2008	Wirtschaftszweig
B	Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden
C	Verarbeitendes Gewerbe
D	Energieversorgung
36	Wasserversorgung
F	Baugewerbe
B/C/D	Industrie und Energieversorgung
B/C/D/36/F	Produzierendes Gewerbe

Quelle: [StaBu 2008]

In der Systematik der Monitoringberichte [RWI 2014-2017] werden die beiden Wirtschaftszweige Wasserversorgung sowie Baugewerbe aufgrund fehlender Daten zum Endenergieverbrauch nicht betrachtet. Im Weiteren beziehen sich die RWI-Berichte dann auf „Industrie und Energieversorgung“ (WZ-Klassen B, C und D), um den methodischen Unterschied zum „Produzierenden Gewerbe“ (WZ-Klassen B, C, D, 36 und F) zu verdeutlichen. Diese Auslassung ist hinsichtlich der Zielgröße der Energieintensitätsreduktion jedoch vertretbar, weil der Anteil des Energieverbrauchs dieser Wirtschaftszweige am gesamten Energieverbrauch des Produzierenden Gewerbes sehr gering ist (im zeitlichen Mittel rund 1 %). In der vorliegenden Untersuchung werden Wasserversorgung und Baugewerbe dennoch vergleichend mitberücksichtigt.

Nichtenergetische Verbräuche sind entsprechend der Energieteuersystematik nicht zu berücksichtigen. Wegen seines verhältnismäßig geringen Volumens ist der Energieverbrauch des produzierenden Teils des GHD-Sektors ebenfalls vernachlässigbar.

3.2 Datenquellen

Dieser Abschnitt benennt die verwendeten Datenquellen, auf deren Basis die Berechnungen des Ergebniskapitels vorgenommen wurden.

3.2.1 Energieverbrauch

Laut Vereinbarung sollen für eine Berechnung der Energieintensität die folgenden Datenquellen hinsichtlich des Energieverbrauchs der Industrie herangezogen werden:

- Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden sowie des Verarbeitenden Gewerbes (Statistik Nr. 060; jährliche Erhebung)

Für die Energieversorgungsunternehmen sind folgende Quellen heranzuziehen:

- Erhebung über den Energieträger-/Brennstoffeinsatz der Elektrizitäts- und Wärmezeugung der Stromerzeugungsanlagen für die allgemeine Versorgung (Statistik Nr. 066; monatliche Erhebung)
- Erhebung über den Brennstoffeinsatz bei Erzeugung, Bezug, Verwendung und Abgabe von Wärme (Statistik Nr. 064; jährliche Erhebung)
- Erhebung über den Energieträger-/Brennstoffeinsatz der Stromerzeugungsanlagen der Betriebe des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden sowie des Verarbeitenden Gewerbes (Statistik Nr. 067; jährliche Erhebung)

Anstelle dieser einzelnen branchenspezifischen Energiebilanzen greift das Monitoring auf die Energiebilanz (EBil) der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) [AGEB 2017a] als einzige Quelle über konsolidierten Energiedaten zurück. Die AGEB liefert jedes Jahr im Auftrag des BMWi die Energieverbräuche nach Sektoren und Branchen in Deutschland. Diese Zahlen basieren im Wesentlichen auf den oben genannten amtlichen Statistiken, welche zudem von Doppelzählungen befreit und um den Einsatz von erneuerbaren Energien und der Kernenergie ergänzt werden. Die Energiebilanzen stellen somit einen vollständigen und amtlichen Ausweis des Gesamtenergieverbrauchs in Deutschland dar. Ihnen kann der Energieverbrauch aller für die Auswertung relevanten Sektoren entnommen werden. Üblicherweise findet eine Veröffentlichung der EBil 13 bis 14 Monate nach dem Ende des jeweiligen Bezugsjahres statt. Davor werden vorläufige Zahlen veröffentlicht. Infolgedessen werden zwangsläufig immer vorläufige Energiever-

bräuche vom RWI genutzt, um Energieintensitäten zu berechnen. Nach Vorliegen der endgültigen Bilanz werden die Werte durch RWI im Rahmen des darauf folgenden Monitoringberichts korrigiert.

Für das Bezugsjahr 2016 liegt zurzeit noch keine vollständige Energiebilanz vor. Es werden nur die gesamten Energieverbräuche der Industrie und des Umwandlungssektors veröffentlicht [AGEB 2017a]. Das Jahr 2016 wird deshalb weitgehend prognostisch behandelt; ausgenommen bei der Energieversorgung, hier ist der Energieverbrauch für 2016 von 3.332 PJ zusätzlich aus [BMW 2017] bekannt und wird damit nicht mehr als provisorisch behandelt. Die Energieverbräuche (Primärenergieverbrauch bei der Energieumwandlung, Endenergie bei den anderen Sektoren) von 1990 bis 2015 finden sich in der folgenden Tabelle:

Tabelle 4: Energieverbrauch 1990 bis 2015 nach Sektor, in PJ

WZ 2008	Sektoren	1990	1995	2000	2005	2010	2015
B	Bergbau	22	35	19	19	18	15
C	Verarbeitendes Gewerbe	2.955	2.439	2.403	2.495	2.574	2.532
D	Energieversorgung*	4.475	3.983	4.098	4.317	3.873	3.406
36	Wasserversorgung*	8	9	10	9	9	9
F	Baugewerbe	76	66	59	54	61	84
B/C/D	Industrie und Energie	7.452	6.457	6.520	6.830	6.465	5.954
B/C/D/36/F	Produzierendes Gewerbe	7.536	6.531	6.589	6.893	6.536	6.047

* Modellergebnisse
Quelle: [AGEB 2017a], Prognos

Beim „Energieverbrauch“ in der Energieversorgung (die im Sinne der Energiebilanz als Umwandlungssektor zu verstehen ist) handelt es sich um einen Primärenergiebedarf. Dieser ist innerhalb der Energiebilanz für die Umwandlungsseite über folgenden Rechenweg definiert:

$$\begin{aligned}
 \text{Primärenergieverbrauch} = & \\
 & \text{Umwandlungseinsatz} \\
 & - \text{Umwandlungsausstoß} \\
 & + \text{Eigenverbrauch im Umwandlungssektor} \\
 & + \text{Fackelverluste und Leitungsverluste} \\
 & - \text{Statistische Differenzen}
 \end{aligned}$$

3.2.2 Bruttoproduktionswert und Bruttowertschöpfung

Die Erhebung des realen Bruttoproduktionswertes erfolgt in verschiedenen Fachserien des Statistischen Bundesamtes (Konjunktur- und Strukturserien sowie unterjährliche Erhebungen). Das RWI nutzt in den Monitoringberichten für die Deflatoren die Preise und Preisindizes für gewerbliche Produkte aus [Destatis 2014a] sowie die nominalen Produktionswerte aus [Destatis 2014b]. Die

nominalen Produktionswerte werden deflationiert und auf 2005 umbasiert, um reale Zeitreihen zu erhalten.

Für diese Studie wurden einzig die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen [StaBu 2017] verwendet. Diese beinhalten sowohl nominale als auch reale Zeitreihen für die Bruttoproduktionswerte sowie für die Bruttowertschöpfungen aller fünf untersuchten Sektoren, weshalb ein Umbasieren mittels der Preisindices nicht mehr nötig war. Die folgenden beiden Tabellen zeigen die Zeitreihen für Bruttoproduktionswert und Bruttowertschöpfung¹:

Tabelle 5: Bruttoproduktionswert 1991 bis 2015 nach Sektor, real, in Mrd. €₂₀₀₅

WZ 2008	Sektoren	1991	1995	2000	2005	2010	2015
B	Bergbau	27	23	14	12	11	9
C	Verarbeitendes Gewerbe	1.114	1.099	1.314	1.414	1.479	1.627
D	Energieversorgung	63	66	72	89	119	111
36	Wasserversorgung	7	7	9	9	8	8
F	Baugewerbe	214	259	238	186	204	218
B/C/D	Industrie und Energie	1.204	1.188	1.401	1.515	1.609	1.747
B/C/D/36/F	Produzierendes Gewerbe	1.425	1.454	1.647	1.710	1.821	1.973

Quelle: [StaBu 2017]

Tabelle 6: Bruttowertschöpfung 1991 bis 2015 nach Sektor, real, in Mrd. €₂₀₀₅

WZ 2008	Sektoren	1991	1995	2000	2005	2010	2015
B	Bergbau	11	9	6	4	5	4
C	Verarbeitendes Gewerbe	433	399	443	467	496	567
D	Energieversorgung	30	32	36	39	43	40
36	Wasserversorgung	5	5	5	6	5	5
F	Baugewerbe	105	115	101	80	83	85
B/C/D	Industrie und Energie	473	441	485	511	544	611
B/C/D/36/F	Produzierendes Gewerbe	584	561	591	596	631	701

Quelle: [StaBu 2017]

3.3 Methodik der Monitoringberichte

Im Fokus der Energieeffizienzvereinbarung steht die Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs (auch SVEN oder Energieintensität genannt) als Verhältnis von absolutem Energieverbrauch und realem Bruttoproduktionswert (in Preisen des Jahres 2005) (vgl. Formel aus Abschnitt 2). Die Berechnung der Energieintensität wird je Sektor durchgeführt, d. h. separat für den Bergbau, das Verarbeitende Gewerbe und die Energieversorgung. Die Sektoren

¹ Die Bruttowertschöpfung wird durch Abzug der Vorleistungen (u. a. Materialverbrauch und Lohnarbeit) vom Bruttoproduktionswert errechnet. Damit umfasst die Bruttowertschöpfung nur den im Produktionsprozess geschaffenen Mehrwert.

Wasserversorgung und Baugewerbe werden laut [RWI 2014] aufgrund fehlender Erhebungen zum Energieverbrauch sowie eines vernachlässigbaren Energieverbrauchslevels im Vergleich zu den betrachteten Sektoren ausgelassen. In Abschnitt 4.2 werden diese beiden Sektoren im Rahmen dieser Studie berücksichtigt. Es zeigt sich, dass diese Auslassung gerechtfertigt ist.

Eine ausdrückliche Vorgabe durch die von der Vereinbarung vorgegebene Methodik für das Energieeffizienzmonitoring sieht vor, dass künftige Fortschritte beim spezifischen Energieverbrauch in Relation zu den spezifischen Verbrauchswerten der Basisperiode 2007 bis 2012 bewertet werden müssen. Insofern dienen die Jahre vor 2007 lediglich der Gesamtschau der Entwicklungen seit der deutschen Einheit und insbesondere für die Effektzerlegung in den Abschnitten 3.5 und 4.3 als Vergleich.

3.3.1 Bereinigungsverfahren

Die berechneten Energieintensitäten (SVENs) werden um einen Auslastungsgrad bereinigt. Dieser nivelliert den Effekt der Konjunktur auf die Produktionsmenge bei gleichbleibendem Anlagenpark – d. h. der Auslastungsschwankungen der Produktionskapazitäten. Auf diese Weise ergeben sich sowohl für den Basiswert als auch für die Berichtsjahre entsprechende konjunkturbereinigte Größen. Ursprünglich sah die Methodik auch eine Bereinigung des Witterungseinflusses sowie – in der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Klimavorsorge vom 9.11.2000 [RWI 2002] – der Energiepreisschwankungen vor. Beide Einflussgrößen bleiben aktuell aufgrund eines statistisch nicht nachweisbaren Einflusses unberücksichtigt. Ebenso sind Umgestaltungen der rechtlichen und institutionellen Rahmenbedingungen für die Unternehmen des Produzierenden Gewerbes in der RWI-Methodik nicht abgebildet.

Der wesentliche kurzfristige Beeinflussungsfaktor, nämlich die Konjunktur, wird berücksichtigt. Hingegen werden langfristig wirkende Einflussfaktoren, insbesondere der inter- und intrasektorale Strukturwandel (z. B. Zubau von erneuerbaren Energien sowie KWK-Anlagen), nicht kompensiert und der Effizienzsteigerung (der Reduktion der Energieintensität) zugerechnet. D. h. der Zielwert erfasst neben der Effizienzsteigerung auch die Struktureffekte. Der sich seit Jahren vollziehende intra- und intersektorale Strukturwandel wirkt integral betrachtet effizienzsteigernd: weniger energieintensive Branchen wachsen stärker als energieintensive, und innerhalb produzierender Branchen wachsen wissensbasierte und stark technisierte Zweige stärker als rohstoffnahe (und somit energieintensivere) Zweige. Dieser Effekt wird in den Ergebnissen des Abschnitts 4.3 anders behandelt und explizit separiert.

Die Schätzung des Auslastungsgrades wird in den Monitoringberichten mittels der Peak-to-peak-Methode durchgeführt. Dafür

werden Statistikwerte sowie Prognosen zur Entwicklung der Bruttowertschöpfung benötigt². Die Prognosen werden mittels einer Zeitreihenanalyse auf Basis aller verfügbaren aktuellen Daten berechnet. Daraus wird das Produktionspotenzial und weiter der Auslastungsgrad abgeleitet [RWI 2014]. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Auslastungsgrade auf Grundlage der aktualisierten BWS-Zahlen neu berechnet. Die Gegenüberstellung der Ergebnisse in Abbildung 1 zeigt eine Abweichung von 2007 bis 2020 von 3,7 % RMS, wobei sämtliche BWS-Zahlen ab 2016 nur prognostisch vorliegen und dementsprechend leicht größere Abweichungen aufweisen. Abbildung 20f im Anhang zeigt die zugrunde gelegte Entwicklung der Bruttowertschöpfung inklusive des Peak-to-peak-Verlaufs.

Auf Basis der für den Zeitraum 1991 bis 2012 vorliegenden empirischen Daten für die Energieintensität (*SVEN*) und der Auslastungsgrade (*AUS*) wurde im Monitoringbericht für das Jahr 2013 [RWI 2014] ermittelt, dass der spezifische Energieverbrauch nach der folgenden Gleichung zu bereinigen ist, wobei $SVEN_t$ den spezifischen Verbrauch des Berichtsjahres t und AUS_{ref} den Referenzlastungsgrad der Periode 2007 - 2012 bezeichnet:

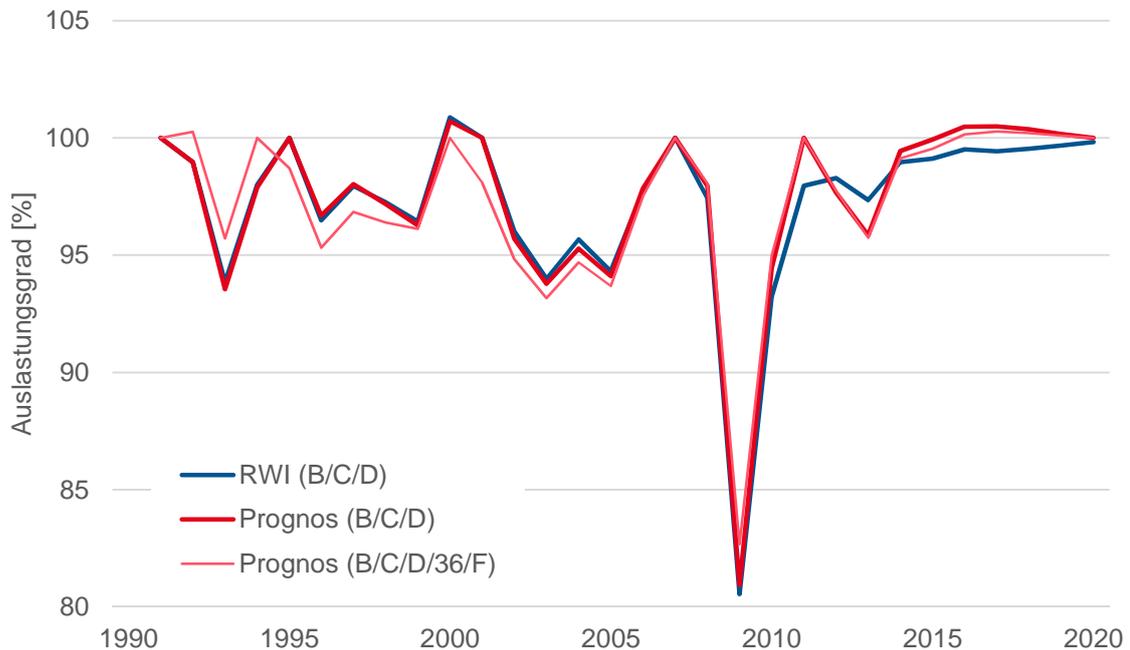
$$SVEN_t^{bereinigt} = SVEN_t + 0,024 \times (AUS_t - AUS_{ref})$$

Diese Gleichung gilt für die Sektoren „Industrie und Energieversorgung“ als relevante Sektoren der Monitoringberichte. Für das gesamte Produzierende Gewerbe (also inklusive der Wasserversorgung und des Baugewerbes) ergibt sich ein leicht niedrigerer Proportionalitätsfaktor von 0,019 als Folge der beiden, an dieser Stelle berücksichtigten Branchen Wasserversorgung und Bau. Dieser Faktor macht jedoch absolut keinen nennenswerten Unterschied bei der Bereinigung des *SVEN* im Vergleich zum vom RWI bestimmten Faktor von 0,024.

Der Auslastungsgrad hingegen beeinflusst den korrigierten *SVEN* erheblich. Weil der Auslastungsgrad die Jahre der Wirtschaftskrise (2009/2010) beinhaltet, ist er relativ niedrig. Für die Folgejahre ist er höher, darum ist die Korrektur des Auslastungsgrades meist positiv, d. h. der *SVEN* wird durch die Korrektur oft größer. Diese Tatsache wird nochmals in Abschnitt 4.3 relevant.

² Zur Bestimmung des Auslastungsgrades wird in den Monitoringberichten statt des Bruttoproduktionswerts die Bruttowertschöpfung herangezogen. Vermutlich weil die BWS, entgegen dem BPW, prognostisch bis einige Jahre im Voraus vorliegt. Dies umgeht das Problem, dass am aktuellen Rand der Statistik mangels Daten von einer Vollausslastung ausgegangen werden muss.

Abbildung 1: Auslastungsgrad nach Berechnungsmethode, ex-post 1991 - 2015, ex-ante 2016 - 2020, in %



Quelle: [RWI 2014-2017], Prognos

Alternativ wurde untersucht, ob eine Korrektur des Auslastungsgrades anhand der Produktionsindizes besser abgeschätzt werden kann. Für die Produktionsindizes liegen aktuellere Daten als die jährlich berechneten BWS-Daten vor. Außerdem basiert der Produktionsindex immer auf realen Werten (physische Mengen oder reale BWS), weshalb auch der Auslastungsgrad präziser abgebildet werden können sollte. Eine Gegenüberstellung der Berechnungen zeigte jedoch eine hohe Übereinstimmung der Energieintensität (SVEN) auf dem Niveau von $\pm 1\%$, weshalb im Weiteren alleinig die monetären Größen als Maß für die Produktionstätigkeit verwendet wurden.

3.4 Szenarienrechnungen

Den Ergebnissen aus den Abschnitten 4.2 und 4.3 liegt eine modellgestützte Abschätzung zur Entwicklung der realen Wirtschaftsleistung sowie des Energieverbrauchs bis zum Jahr 2020 zugrunde. Die so ermittelten Einsparpotenziale für die Energieintensitäten verlaufen möglichst wirklichkeitsnah.

Als Basis werden bereits bestehende Szenarien verwendet, die am aktuellen Rand aufdatiert werden. Es werden ein BAU-Szenario (Business-as-usual), die mit den aktuellen Rahmendaten

aufdatierte³ Referenzprognose mit Trendszenario aus der Studie „Entwicklung der Energiemärkte – Energierferenzprognose“ [Prognos et al. 2014], sowie als ambitioniertes Klimaschutzszenario das „Energiewendeszenario“ (EWS) aus dem Projekt „Gesamtwirtschaftliche Wirkungen der Energiewende“ [GWS et al. 2018], das derzeit noch in Arbeit ist, verwendet und ausgewertet. Aus letzterem stammen einheitlich die verwendeten Rahmendaten, welche identisch beiden Szenarien zugrunde gelegt werden. Die jeweils angenommenen spezifischen Energieverbräuche kommen als Ergebnisse aus den beiden genannten Szenarien und unterscheiden sich. Diese werden im Abschnitt 3.4.2 näher beschrieben.

3.4.1 Modellinstrumentarium

Wirtschaftsmodell

Die Wirtschaftsentwicklung kann bei Prognos mittels des „VIEW-Modells“ prognostiziert werden. Das VIEW-Modell (Versatile Integrated Economic World-Model) behandelt u. a. die Entstehung und Verwendung der produzierten Güter und Dienstleistungen, den Arbeitsmarkt sowie die Bevölkerungsentwicklung. Es verbindet die 42 Länder der Welt, die über 90 % der Weltwirtschaftsleistung produzieren, u. a. über Exporte, Importe und Wechselkurse miteinander. Das Modell ermöglicht die Betrachtung unterschiedlicher Szenarien.

Nachfragemodelle

Für die Prognosen des Endenergieverbrauchs verfügt Prognos über ein modular aufgebautes Modellsystem. Bei den einzelnen Modulen für die Nachfragesektoren (Industrie, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), Private Haushalte (PHH) und Verkehr⁴) handelt es sich um Bottom-up-Modelle, die auf Basis geeigneter Leitvariablen den sektoralen Endenergieverbrauch nach Energieträgern, Anwendungszwecken und (wo möglich) nach Branchen ermitteln. Die Strukturierung des Endenergieverbrauchs folgt den AGEB-Statistiken [AGEB 2017a], die auch das quantitative Energiedatengerüst liefern.

Basis für die Erklärung der vergangenen bzw. Ableitung der zukünftigen Endenergieverbräuche sind die sozioökonomischen Rahmendaten, die Energiepreise, die energie- und klimaschutzpolitischen Annahmen sowie Annahmen über die langfristige Ent-

³ Eine solche Aufdatierung besteht im Wesentlichen darin, die Daten um die aktuellen, zum Bearbeitungszeitpunkt veröffentlichten statistischen Werte zu ergänzen. In den Szenarien unterstellte zukünftige Wachstumsraten werden beibehalten und auf den neuen statistischen Rand angewendet.

⁴ Im Rahmen dieser Studie werden die Module zur Bestimmung der Endenergienachfrage aus den Sektoren PHH und Verkehr nicht benötigt.

wicklung des Klimas. Diese Basisgrößen unterscheiden sich je nach Sektor. Die Analyse und Prognose des Energieverbrauchs in der Industrie erfolgt auf Basis der Energieverbräuche der Industriestatistik für 18 Branchen in Abhängigkeit zweier Faktoren: der Entwicklung der Produktion bzw. Wertschöpfung der Branche und der Veränderung des spezifischen Energieverbrauchs (je Produktions- bzw. Wertschöpfungseinheit) der Branche. Dabei wird nach den wichtigsten Brennstoffen (Stein-, Braunkohle, Heizöl leicht, Heizöl schwer/mittelschwer, Erdgas, Ortsgas) sowie Strom und Fernwärme differenziert. Die Preisentwicklung der einzelnen Energieträger wird implizit durch eine Energieträgersubstitution abgebildet und berücksichtigt. Für einige Branchen (z. B. Metallherstellung) ist die Verwendung von Mengenindikatoren (produzierte Tonnen) anstelle der Wertindikatoren vorteilhaft und wird – wo möglich – angewendet. Anschließend werden die prognostizierten Energieverbräuche nach den 14 Branchen der Energiebilanz aggregiert, auf das Verbrauchsniveau der Energiebilanz kalibriert und um die in der Industriestatistik fehlenden Energieträger (Fernwärme, einzelne Gase, Erneuerbare) ergänzt.

Ein ähnliches modulares Modell bildet die Energieverbräuche nach Branchen im Dienstleistungssektor ab. Damit können der Energieverbrauch der Wasserversorgung sowie des Baugewerbes modelliert werden. Der Energieverbrauch dieser beiden Branchen ist statistisch nicht erfasst.

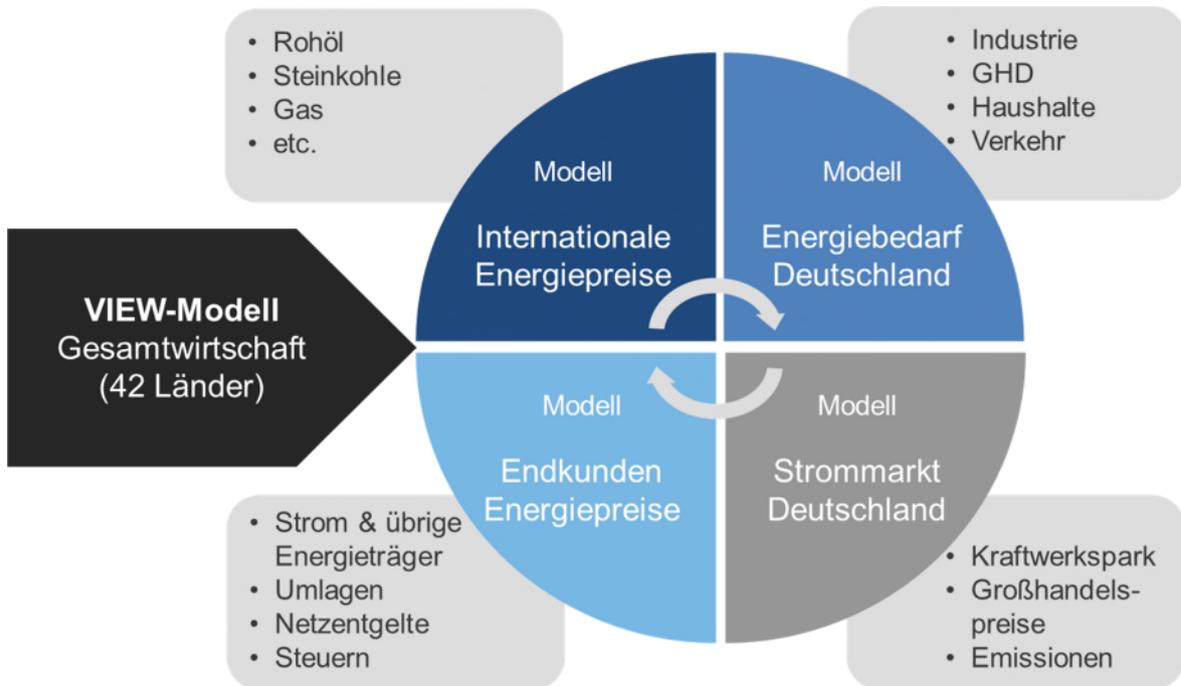
Kraftwerksparkmodell

Die Prognos AG verfügt über ein europäisches Kraftwerksparkmodell, in dem Großkraftwerke (ab 100 MW) in der EU-27 blockscharf abgebildet sind. Damit können die Großhandelspreise (Base und Peak) jedes Landes bestimmt werden. Die Preisbestimmung erfolgt anhand des sogenannten Merit-Order-Prinzips. Die Datenbasis des Kraftwerksparks wird laufend aktuell gehalten und speist sich aus Informationen der Elektrizitätswirtschaft und der Kraftwerksindustrie. Diese Daten sind zum großen Teil vertraulich und können nicht veröffentlicht werden, bilden den Markt aber aktuell und genau ab. Mit dem Kraftwerksparkmodell werden die Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten differenziert nach Energieträgern, deren Einsatzstruktur sowie die Strompreise ermittelt.

Zusammenspiel der Modelle

Die Modelle hängen z. T. über Annahmen und Ergebnisse voneinander ab (Abbildung 2). Im Zusammenspiel der Modelle ergeben sich konsistente und robuste Entwicklungspfade der Bruttoproduktionswerte und Energieverbräuche in einer ausreichend feinen Auflösung. Insbesondere sind die Modelle in der Lage, alle für die Auswertung relevanten Sektoren und Branchen zu differenzieren, separat zu quantifizieren und einzeln über Maßnahmen z. B. zur Energieeinsparung zu adressieren.

Abbildung 2: Zusammenspiel der Modelle von Prognos



Quelle: Prognos AG

Der Einsatz dieser Bottom-up-Modelle erlaubt es,

- die in der Vergangenheit beobachteten Entwicklungen detailliert auf ihre Ursachen hin zu analysieren,
- konkrete Annahmen für die Entwicklung technischer oder sozio-ökonomischer Parameter in der Prognose zu treffen und damit die Konsequenzen alternativer Annahmen zur Entwicklung von Technischem Fortschritt, Demografie, Wirtschaftswachstum und Wirtschaftsstruktur für den Energieverbrauch im Detail aufzuzeigen,
- die Variation von Parametern (politischen Maßnahmen) in Szenarien und Variantenrechnungen angemessen zu berücksichtigen sowie
- die Auswirkungen energiepolitischer Maßnahmen und ihrer Kosten zu untersuchen.

Eine ergänzende Beschreibung des Modellinstrumentariums findet sich in [Prognos et al. 2014].

3.4.2 Szenarienannahmen

In diesem Kapitel werden die wesentlichen Annahmen, Voraussetzungen und „Philosophien“ der verwendeten und weiter ausgewerteten Szenarien dargestellt. Für detailliertere Informationen ver-

weisen wir an dieser Stelle auf die entsprechenden zugrundeliegenden Arbeiten.

Rahmendaten

Für die demographische Entwicklung wird die aktuelle koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung des statistischen Bundesamts verwendet [Destatis 2015]. Die Einwohnerzahl steigt bis 2020 auf 82 Mio. an und sinkt danach bis 2050 auf 77 Mio. ab (Tabelle 7). Die Einwohnerzahl ist eine wichtige Bestimmungsgröße für die Entwicklung von Erwerbstätigen und Wirtschaftsleistung. Kurz- und mittelfristig stehen dem Arbeitsmarkt etwas mehr Erwerbstätige zur Verfügung; langfristig nimmt die Zahl aufgrund der älter und kleiner werdenden Bevölkerung ab. Die Erwerbsquote insgesamt bleibt etwa konstant. Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) wächst real insgesamt im Mittel um 1,2 % pro Jahr. Im Zeitraum 2014 - 2050 ergibt sich somit eine Zunahme um insgesamt 56 %.

Tabelle 7: Wichtigste gemeinsame Rahmendaten beider Szenarien

Kenngröße	Einheit	2014	2020	2030	2040	2050	'14-'50
Bevölkerung	Mio.	81	82	81	79	77	-5%
Erwerbstätige	Mio.	43	44	43	39	37	-11%
Land-/Forstwirtschaft, Fischerei	Mio.	1	1	1	0	0	-22%
Verarbeitendes Gewerbe	Mio.	7	7	7	6	5	-27%
Sonst. Produzierendes Gewerbe	Mio.	3	3	3	2	2	-33%
Dienstleistungen	Mio.	32	33	32	31	30	-6%
Bruttowertschöpfung	Mrd. €	2460	2678	3087	3461	3849	56%
Land-/Forstwirtschaft, Fischerei	Mrd. €	18	18	18	19	21	17%
Verarbeitendes Gewerbe	Mrd. €	568	619	705	784	877	54%
Nicht-energieintensive Branchen	Mrd. €	469	516	593	663	745	59%
Energieintensive Branchen	Mrd. €	99	103	112	121	132	33%
Sonst. Produzierendes Gewerbe	Mrd. €	184	197	224	248	267	45%
Dienstleistungen	Mrd. €	1690	1844	2140	2410	2684	59%
Energiepreise (real)							
Rohöl	\$/bbl	97	80	115	122	132	36%
Kohle	€/t SKE	58	70	76	78	74	28%
Gas	ct/kWh	2,4	1,8	2,8	3	3,4	33%
CO₂-Preise (real)							
BAU-Szenario	€/t	6	10	30	40	50	733%
Ambitioniertes Szenario	€/t	6	10	40	65	76	1167%

Quelle: [Destatis 2015], [IEA 2014], Prognos

Die Branchenstruktur in der Industrie ist ein wesentlicher bestimmender Faktor sowohl für Energieverbräuche als auch für die Veränderung der Struktur und damit für die integrierte Energieproduktivität. Zwischen 2014 und 2050 wird eine Steigerung der Bruttowertschöpfung der Industrie um 54 % angenommen. Der Anteil der

energieintensiven Branchen nimmt von 2014 bis 2050 von 15 % auf 13 % leicht ab.

Die verwendeten realen Weltmarkt-Energiepreise und der eingesetzte reale CO₂-Preispfad basieren auf den Annahmen des World Energy Outlook 2014 [IEA 2014] und wurden z. T. leicht angepasst. Sie standen unter dem Eindruck der 2014 noch relativ hohen Weltmarkt-Rohölpreise: Der Rohölpreis sinkt bis 2020 auf 80 \$/bbl und steigt danach wieder an bis auf 132 \$/bbl. Der Erdgaspreis sinkt bis 2020 auf 1,8 ct/kWh, steigt danach wieder an auf 3,4 ct/kWh 2050. Der Kohlepreis steigt bis 2020 auf 70 €/t SKE.

Der reale Preis für CO₂-Zertifikate liegt in 2020 bei ca. 10 €/t, und steigt danach in den beiden Szenarien bis 2050 unterschiedlich stark an: Im BAU-Szenario auf 50 €/t, im Ambitionierten Szenario (Energiewendeszenario) auf 76 €/t.

Annahmen und definierende Faktoren im BAU-Szenario

Als BAU-Szenario wird die mit aktuellen Wirtschafts- und Bevölkerungsprognosen aufdatierte Referenzprognose bis 2030 und das daran angeschlossene Trendszenario bis 2050 verwendet [Prognos et al. 2014]. In diesem Szenario werden bisherige Trends konservativ fortgeschrieben. Es handelt sich um ein sogenanntes „indikatives“ Szenario, bei dem keine Zielvorgabe gemacht wird, die zwingend erreicht werden müsste – vielmehr wird berechnet, zu welchen Energieverbräuchen und Emissionen die aktuellen Trends und Instrumente führen. Eine gewisse „Ausnahme“ bildet allerdings der bereits beschlossene EEG-Zielkorridor, der in der Entwicklung des Kraftwerksparks angenommen wird.

Die technische Entwicklung wird im Wesentlichen entlang der in den letzten Jahren beobachteten Trends fortgeschrieben, insbesondere bezüglich des Einsatzes von Effizienztechnologien. Diese bleiben weit unter dem technischen Potenzial und auch in vielen Fällen unter dem wirtschaftlichen Potenzial. Die derzeit eingesetzten politischen Instrumente werden in ihrer jetzigen Intensität beibehalten, absehbare Verschärfungen werden (vorsichtig) fortgeschrieben. Es ist bis 2020 kein Kohleausstieg unterstellt.

Die Entwicklung der spezifischen Energieverbräuche und Effizienzfortschritte einzelner Technologien werden aus der Vergangenheit abgeschätzt und fortgeschrieben. Als Grundlage hierfür werden die aus der Statistik bekannten Werte zu den Verbräuchen nach Jahr, Branche, Energieträger und Verwendungszweck sowie zur wirtschaftlichen Entwicklung (Produktionsmenge, Produktionsindex, Bruttowertschöpfung, Wertdichte) verwendet. Darüber hinaus werden Orientierungswerte (min, max) aus der Fachliteratur (Evaluationen von Förderprogrammen, technologiespezifische Publikationen, Aussagen der Lösungen liefernden Branchen) herangezogen.

Annahmen und definierende Faktoren im Ambitionierten Szenario

Hierfür wird das derzeit noch nicht veröffentlichte Energiewende-szenario aus dem laufenden BMWi-Projekt „Gesamtwirtschaftliche Wirkungen und Verteilungswirkungen der Energiewende“ [GWS et al. 2018] verwendet. Genauere Beschreibungen und Ergebnisse zu diesem Szenario finden sich im aktuellen 3. Zwischenbericht dieses genannten Projekts, der dem BMWi vorliegt. Das Szenario ist ein Zielszenario mit der Zielvorgabe einer Reduktion der Treibhausgase bis zum Jahr 2050 insgesamt um mindestens 80 % gegenüber 1990. Da in den Sektoren der nicht energiebedingten Treibhausgase (insbesondere Landwirtschaft, Abfallwirtschaft) nur geringere prozentuale Emissionsreduktionen möglich sind, müssen die Sektoren der energiebedingten Emissionen überproportionale Reduktionen erbringen. Als Zielwert folgt aus einem Vergleich der Treibhausgasbilanzen [UBA 2017], dass 2050 maximal 155 Mio. t CO₂-Äquivalente emittiert werden dürfen. Derzeit (2015) werden rund 750 Mio. t an Treibhausgasen (ohne flüchtige Emissionen) emittiert.

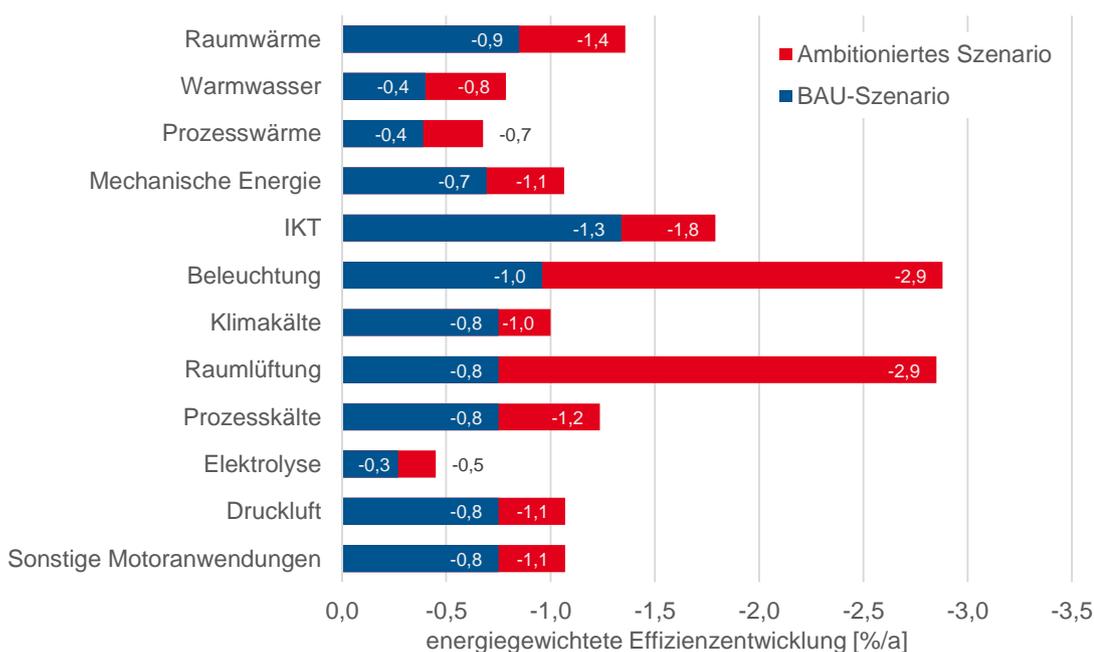
Die (nationalen) Potenziale für Wärme, Stromerzeugung und Treibstoffe aus erneuerbaren Energien sind begrenzt, da sie im Wesentlichen alle flächenabhängig sind. Am genauesten bekannt sind die Restriktionen für nachhaltig erzeugte energetisch genutzte Biomassen; hier werden die Potenziale für Rohbiomassen mit rund 1200 PJ pro Jahr angesetzt.

Die Potenziale für die Umsetzung technischer Energieeffizienz haben sowohl im Gebäudesektor als auch im Industriesektor gewisse Begrenzungen, die einer vollständigen Umsetzung des technisch möglichen Einsparpotenzials im Wege stehen. Z. B. sinkt die Wirtschaftlichkeit einer Energieeinsparinvestition bei fortschreitender Energieeffizienz der umgesetzten Maßnahme, weil es immer schwieriger und damit teurer wird, zusätzliche Energieeinsparungen zu realisieren; auch können produktionstechnische und Qualitätsanforderungen der produzierten Werkstoffe und Güter den Einsatz der effizientesten Technologie ausschließen. Es wird angenommen, dass die Umsetzung von Effizienztechnologien auf einem Pfad erfolgt, der zwischen der Ausschöpfung des bereits heute realisierten wirtschaftlichen Potenzials (mit sehr kurzen Amortisationszeiten) und des technologisch möglichen Potenzials (bei vollständiger Durchdringung) liegt.⁵ Insgesamt wird im Vergleich zum BAU-Szenario eine stärkere Durchdringung aller Verwendungszwecke mit Effizienztechnologien unterstellt (vgl. Abbildung

⁵ Ergänzend soll in diesem Zusammenhang erwähnt werden, dass sich volkswirtschaftlich rentable Technologien nicht automatisch auch betriebswirtschaftlich rechnen. U.a. berücksichtigt die volkswirtschaftliche Betrachtung den kompletten Lebenszyklus einer technischen Investition, während die betriebswirtschaftliche Betrachtung eine Investition nur dann als wirtschaftlich einstuft, wenn sie sich innerhalb weniger Jahre amortisiert.

3). Der große relative Unterschied der Einsparpotenziale bei den Verwendungszwecken Beleuchtung, Raumlüftung aber auch Raumwärme ist darauf zurückzuführen, dass im Ambitionierten Szenario nun auch die Haustechnik – neben der absolut und wirtschaftlich weitaus relevanteren Produktionstechnik – im Fokus von Energieeinsparungen des Verarbeitenden Gewerbes steht.

Abbildung 3: Energiegewichtete durchschnittliche Effizienzentwicklung der Industrie nach Verwendungszwecken und Szenarien, in %/a



Quelle: Prognos

Es wird eine starke Sektorkopplung bei Raumwärme (d. h. eine Elektrifizierung der Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen⁶) und beim Individualverkehr (d. h. Elektromobilität beim Personenverkehr⁷ und bei leichten Nutzfahrzeugen sowie PtL⁸ für den Flugverkehr) angenommen. Diese ist nur sinnvoll bei einem verstärkten Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energiequellen.

In diesem Szenario wird keine Anwendung von CCS-Technologien unterstellt. Im Stromsektor werden alle heute bekannten Technologien außer Kernkraft und CCS (Carbon Capture and Storage) eingesetzt.

Es wird darüber hinaus angenommen, dass es nicht zu einer breiten Einführung einer Wasserstoffwirtschaft kommt. Wasserstoff

⁶ Im Ambitionierten Szenario wird 2050 mit rund 350 PJ knapp drei Mal soviel Wärme durch Wärmepumpen bereitgestellt wie im BAU-Szenario.

⁷ Im Ambitionierten Szenario werden 2050 ca. 65 % der Pkw batterieelektrisch angetrieben. Derzeit (2015) sind es 0,04 %.

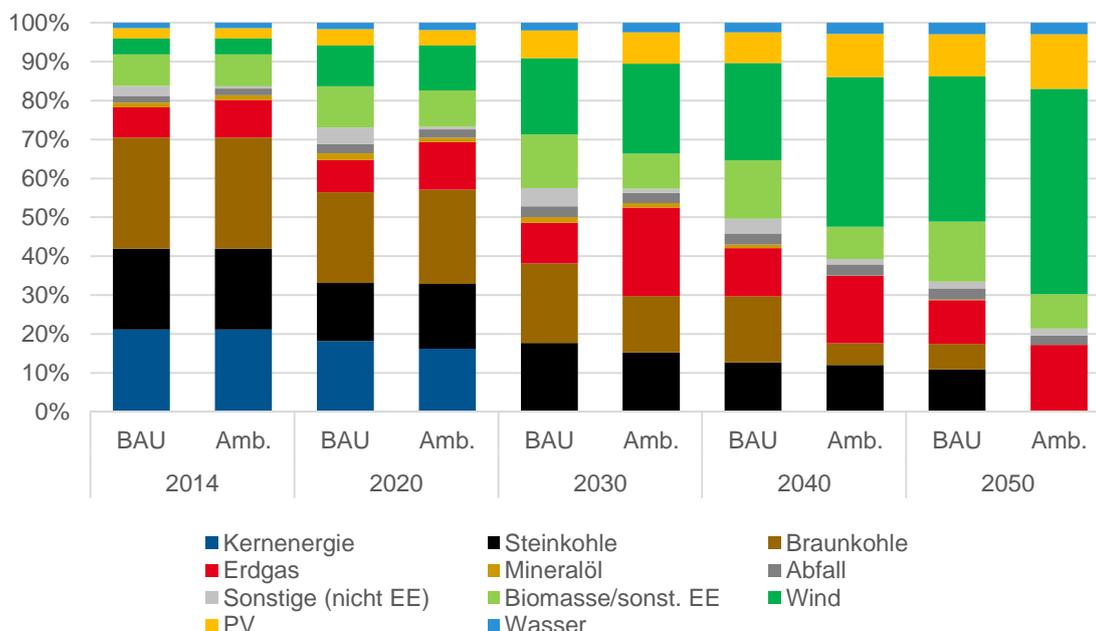
⁸ Im Ambitionierten Szenario werden 2050 365 PJ PtL (als Kerosin) eingesetzt, der überwiegende Teil davon ist importiert.

wird in zentralen Elektrolyseanlagen produziert und in der Industrie sowie zur Unterstützung und Absicherung des Stromsystems eingesetzt. Eine Nutzung im Verkehrssektor bleibt eine Nischenanwendung. Es werden keine Biokraftstoffe der 3. Generation (aus Algen) angenommen.

Die erreichbaren Reduktionen der Energieverbräuche und der Emissionen in den einzelnen Sektoren sind unterschiedlich.

Im Kraftwerkspark hat ein zukünftig neu gebautes Kraftwerk im Durchschnitt einen höheren Wirkungsgrad als ein bestehendes, jedoch konvergieren die Lernkurven für konventionelle Kraftwerke allmählich an physikalische Grenzen. Bis 2020 sind die Änderungen wegen der langen Lebensdauern der Anlagen insgesamt sehr gering. Aufgrund der unterschiedlichen Wirkungsgrade bei unterschiedlichen Kraftwerkstypen ist bei Einsatz unterschiedlicher Kraftwerkstypen eine Primärenergieeinsparung bei gleicher Produktion möglich (z. B. Photovoltaik: $\eta=100\%$, GuD: $\eta=60\%$). Der Zubau von Windenergie- und PV-Anlagen verbessert den Wirkungsgrad des Kraftwerksparks. Signifikant unterscheidet sich der Anteil Erneuerbarer an der Stromerzeugung in beiden Szenarien erst um das Jahr 2040 (Abbildung 4). Bei der Fahrweise der Kraftwerke ist bis 2020 lediglich die Substitution von Kohle- durch Erdgaskraftwerke zu beobachten.

Abbildung 4: Energieträgereinsatz zur Stromerzeugung 2014 - 2050, nach Energieträgern und Szenarien, in %



Quelle: Prognos

Zusammenfassung der Ergebnisse der Szenarien

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Szenarien (Endenergieverbrauch nach Energieträgern, Stromeinsatz und -produktion) im gesamten Zeitraum von 2014 bis 2050 kurz zusammengefasst. Wiederholend sei an dieser Stelle erwähnt, dass in beiden Szenarien inhaltlich begründete Annahmen zur weiteren Entwicklung der maßgeblichen Treiber getroffen wurden – weshalb sie keine Prognosen darstellen. Eine ausführlichere Beschreibung der Szenarienergebnisse erfolgt in Kapitel 4.

- Endenergieverbrauch nach Energieträgern im BAU-Szenario: Der Mineralölverbrauch reduziert sich um 1.470 PJ (-45 %); dies stellt den Großteil der EEV-Reduktion dar. Die Kohle-, Strom- und Gasverbräuche reduzieren sich um insgesamt 600 PJ, während der Einsatz erneuerbarer Energien (Biomasse, Solarthermie und Umgebungswärme) um ca. 350 PJ (bzw. 58 %) und der Fernwärmeverbrauch um 36 PJ (bzw. 9 %) steigen. 2050 haben Mineralöle, Kohle und Gase noch einen wesentlichen Anteil am EEV: 53 % (ggü. 67 % im Jahr 2014). Der Anteil erneuerbarer Energieträger (ohne Strom) am EEV erreicht 13 % im Jahr 2050.
Im Ambitionierten Szenario erfolgen zusätzliche Reduktionen bei allen konventionellen Energieträgern im Vergleich zum BAU-Szenario. Die erneuerbaren Energieträger nehmen absolut und anteilig weiter zu. 2050 beträgt der Anteil erneuerbarer Energieträger (ohne Strom) am EEV 26 % und der Anteil von Mineralölen, Kohle und Gasen noch 34 %.
- Strom gewinnt in beiden Szenarien an Gewicht: im Ambitionierten Szenario wird Strom der wichtigste Energieträger mit einem Anteil am EEV von 32 % (ggü. 21 % im Jahr 2014). Dies folgt aus dem starken Einsatz von Sektorkopplung im Wärmebereich (Wärmepumpen) und der Elektrifizierung des Individualverkehrs sowie des leichten motorisierten Nutzverkehrs. Im BAU-Szenario erreicht er einen Anteil von 25 %.

Die absoluten Trends im Kraftwerkspark in beiden Szenarien sind:

- Die Kernkraft nimmt ab und geht bis 2022 aus dem Mix. Produktion aus Kohlekraftwerken wird reduziert, die Produktion aus Gaskraftwerken ebenfalls. Die Stromerzeugung aus Biomasse, Wind und Photovoltaik nimmt absolut zu.
- Der Einsatz des konventionellen Kraftwerksparks wird durch die Merit-Order bestimmt: Unterschiedliche Preissignale pro Kraftwerkstyp bzw. Energieträger führen zu Änderungen in der Zusammensetzung der Stromerzeugung. Die steigende Einspeisung fluktuierender Erzeugung sorgt für eine volatilere Residuallast, auf die konventionelle Kraftwerke in zunehmender Weise flexibler reagieren müssen. Dadurch steigen die ineffizienteren

Zeiten des Teillastbetriebes an, wodurch ein negativer Effekt auf den effektiven Wirkungsgrad entsteht. Darüber hinaus steigen die Zeiten in denen die Kraftwerke ganz abgeschaltet werden, wodurch potenziell ineffizientere Anfahrzeiten häufiger werden.

- In beiden Szenarien werden die fossilen Kraftwerke (insbesondere Kohle) am Ende ihrer Lebensdauer nicht durch neue Kohlekraftwerke ersetzt, weil sich ein Zubau ökonomisch nicht mehr lohnt. Stattdessen werden verhältnismäßig emissionsärmere Kraftwerke zugebaut (insbesondere Gas zur Spitzenlastdeckung).

3.4.3 Rahmendaten in der Abgrenzung für die Berechnung der Energieintensität des Produzierenden Gewerbes

In der am Anfang dieses Kapitels beschriebenen Abgrenzung entwickeln sich Bruttowertschöpfung und Bruttoproduktionswert des gesamten Produzierenden Gewerbes bis 2020 in etwa analog zur BWS bzw. zum BPW der Industrie. Als Ergebnis der Rahmendatenvorgabe liegen nur Bruttowertschöpfungen vor. Diese werden zu Bruttoproduktionswerten als Basis für die Energieverbrauchs-ermittlungen umgerechnet. Dabei werden die Wachstumsraten der BWS mit denen des BPW korreliert, sodass die Bruttowertschöpfung zwischen 2015 und 2020 anhand der Bruttowertschöpfung fortgeschrieben werden kann (vgl.

Abbildung 21a-e im Anhang). Die Bruttowertschöpfung in der sektoralen Abgrenzung der hier gestellten Aufgabe wächst von 2015 bis 2020 um 7 %, der Bruttoproduktionswert um 9 % (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 9).

Die folgenden Abbildungen (Abbildung 5 bis

Abbildung 8) zeigen die Entwicklung des BPW und der BWS jeweils nach den hier betrachteten Sektoren in absoluten Größen sowie in indexierten Einheiten mit Bezug auf 2010. Deutlich zu sehen ist, dass lediglich der Bergbau rückläufig ist, alle anderen Branchen wachsen, das Verarbeitende Gewerbe am stärksten.

Tabelle 8: Bruttoproduktionswert 2015 bis 2020 nach Sektor, real, in Mrd. €₂₀₀₅

WZ 2008	Sektoren	2015	2016	2017	2018	2019	2020	'15-'20
B	Bergbau	9	8	8	8	8	7	-19%
C	Verarbeitendes Gewerbe	1.627	1.649	1.678	1.706	1.734	1.762	+8%
D	Energieversorgung	111	113	116	119	121	124	+12%
36	Wasserversorgung	8	8	8	8	8	8	+3%
F	Baugewerbe	218	223	227	231	236	240	+10%
B/C/D	Industrie und Energie	1.747	1.771	1.803	1.833	1.863	1.893	+8%
B/C/D/36/F	Produzierendes Gewerbe	1.973	2.001	2.038	2.072	2.106	2.141	+9%

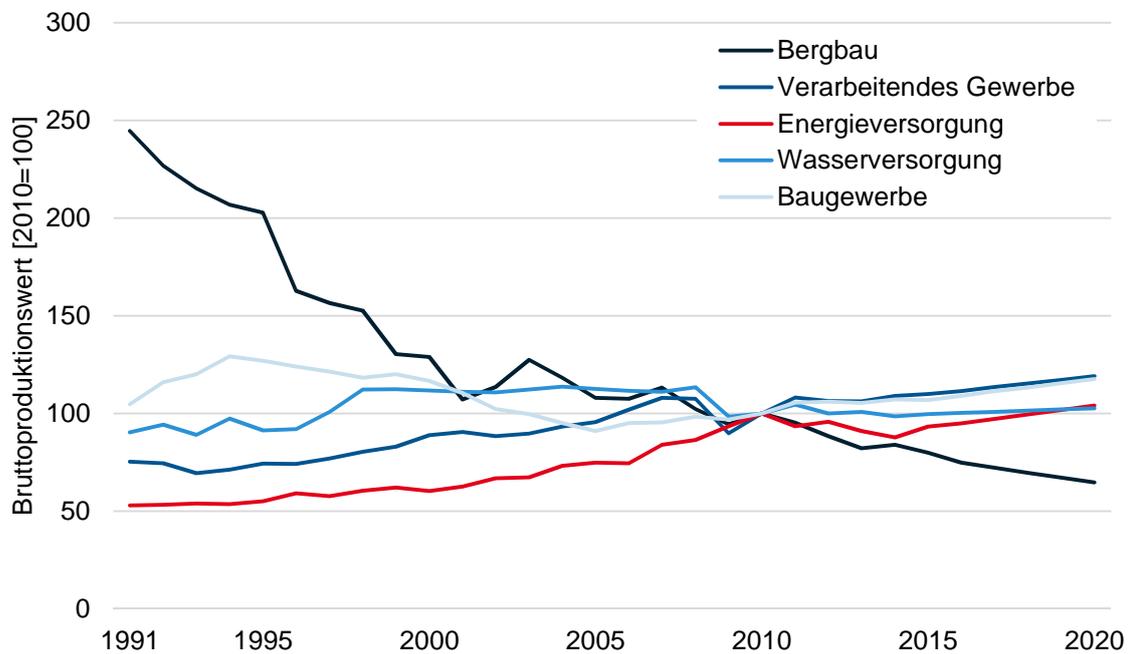
Quelle: [StaBu 2017], Prognos

Tabelle 9: Bruttowertschöpfung 2015 bis 2020 nach Sektor, real, in Mrd. €₂₀₀₅

WZ 2008	Sektoren	2015	2016	2017	2018	2019	2020	'15-'20
B	Bergbau	4	4	4	3	3	3	-14%
C	Verarbeitendes Gewerbe	567	579	588	595	602	609	+7%
D	Energieversorgung	40	40	40	41	41	42	+4%
36	Wasserversorgung	5	5	5	5	5	5	+0%
F	Baugewerbe	85	87	88	89	90	91	+6%
B/C/D	Industrie und Energie	611	623	632	639	647	654	+7%
B/C/D/36/F	Produzierendes Gewerbe	701	714	724	733	741	750	+7%

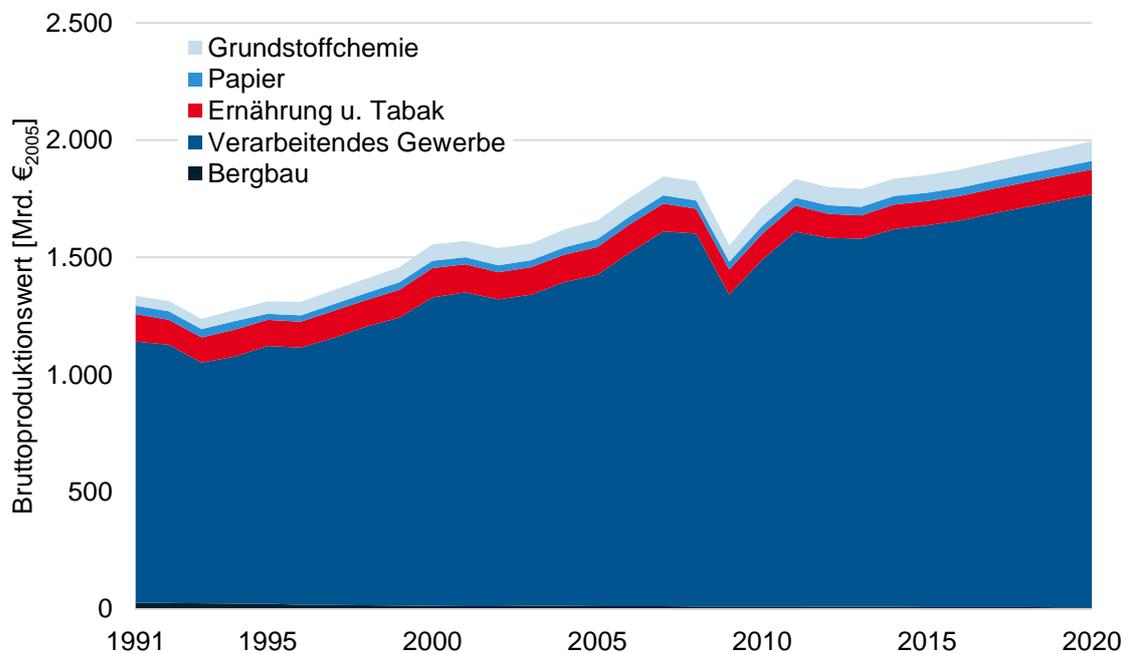
Quelle: [StaBu 2017], Prognos

Abbildung 5: Bruttoproduktionswert 1991 - 2020, nach Sektoren, in Indexeinheiten (2010=100)



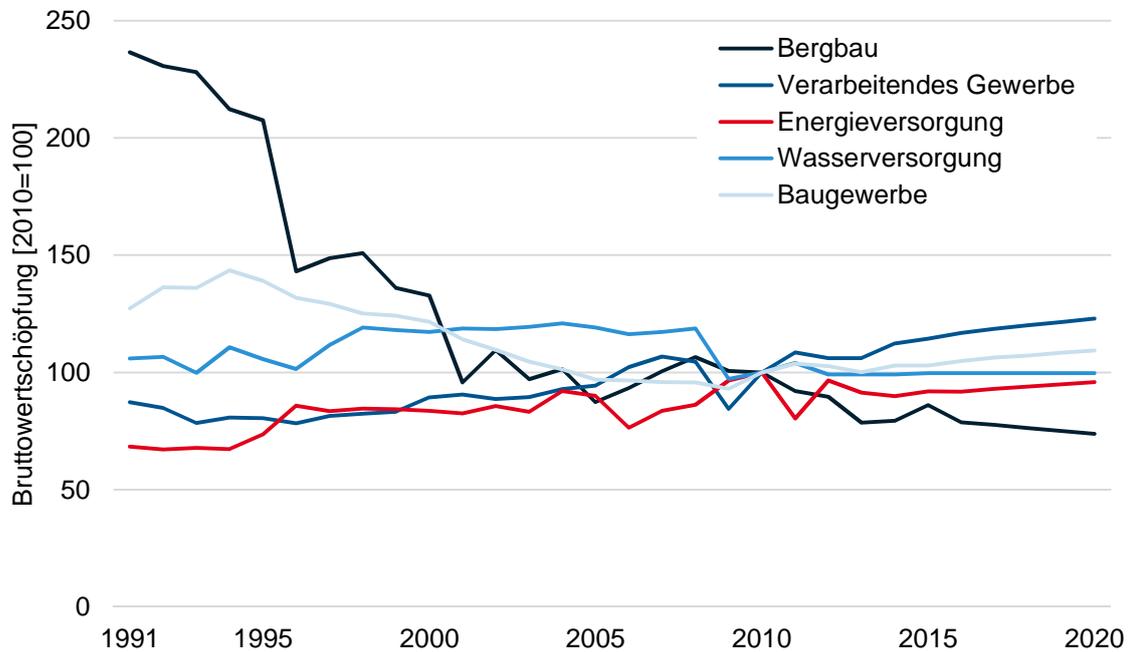
Quelle: [StaBu 2017], Prognos

Abbildung 6: Bruttoproduktionswert 1991 - 2020, nach Sektoren, in Mrd. €₂₀₀₅



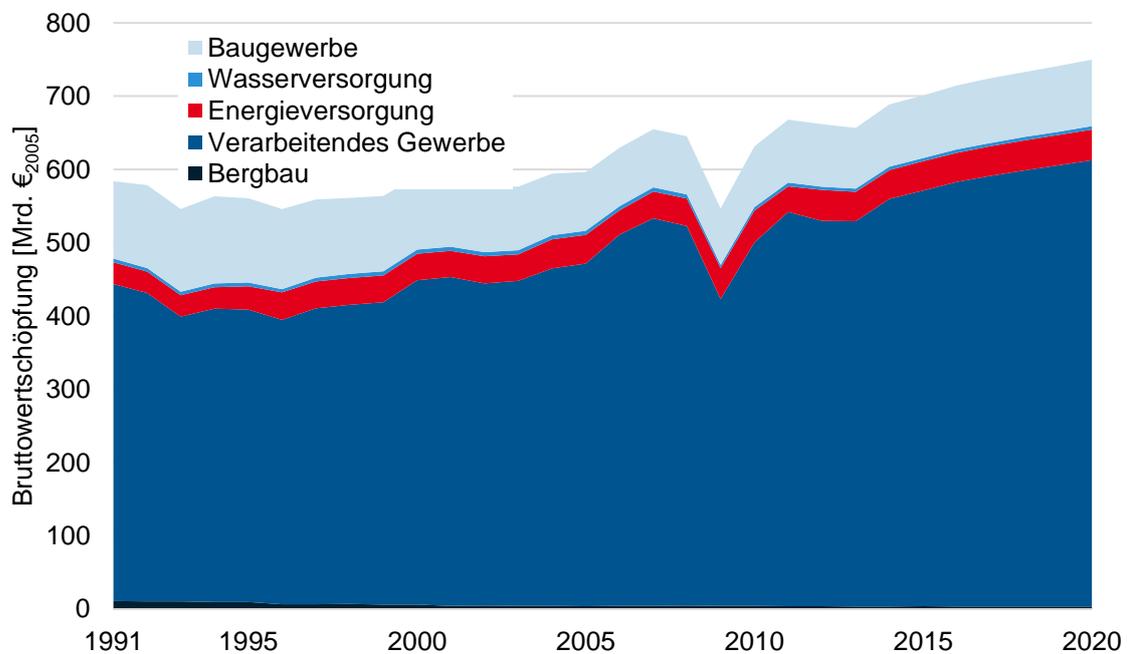
Quelle: [StaBu 2017], Prognos

Abbildung 7: Bruttowertschöpfung 1991 - 2020, nach Sektoren, in Indexeinheiten (2010=100)



Quelle: [StaBu 2017], Prognos

Abbildung 8: Bruttowertschöpfung 1991 - 2020, nach Sektoren, in Mrd. €₂₀₀₅



Quelle: [StaBu 2017], Prognos

3.5 Effektzerlegung

Das methodische Vorgehen der Effektzerlegung basiert auf dem Prinzip, dass die zeitliche Entwicklung einer komplex zusammengesetzten Größe – hier: die Energienachfrage des Produzierenden Gewerbes – aufgrund der zeitlichen Veränderung der zugrundeliegenden Eingangsgrößen des Modells bzw. Szenarios bestimmt wird. Die in der Untersuchung unterschiedenen bzw. unterscheidbaren Effekte sind im Folgenden genannt:

- **Mengenfaktoren/Ausstattung:** Dazu gehören alle Einflussfaktoren, die mit dem Bevölkerungs- und dem Wirtschaftswachstum und dadurch mit der Anzahl der Energieanwendungen zusammenhängen. Beispiele sind die Wirtschaftsleistung insgesamt (an dieser Stelle ohne Struktureffekte), zu beheizende Gebäudeflächen usw. Die genaue Ausgestaltung hängt dabei von den jeweiligen sektoralen Gegebenheiten und deren Umsetzung in den Modellen ab.
- **Struktur:** Der Struktureffekt gibt den integrierten Effekt unterschiedlicher Wachstumsraten in den einzelnen Branchen wieder und muss getrennt vom Mengeneffekt, der das Wachstum der Wirtschaft insgesamt beschreibt, analysiert werden. Konkret werden dem Struktureffekt z. B. das unterschiedliche Wachstum der Industriebranchen und die damit verbundenen Verschiebungen in der Energieintensität der Wertschöpfung zugewiesen.
- **Effizienz:** Effizienzeffekte (genauer: Effekte eines veränderten spezifischen Energieverbrauchs) werden hervorgerufen durch technischen Fortschritt, welcher durch Neubau oder Modernisierung in den Bestand übergeht, politische Maßnahmen bzw. Vorgaben und Verhaltensänderungen. Die Einflüsse von Politik und langfristigen Preisveränderungen können nicht immer stringent von den Effekten der (autonomen oder inzwischen im Markt umgesetzten) Technologieentwicklung getrennt werden, da diese Bestimmungsfaktoren selbst eng miteinander verzahnt sind. Der Bestimmungsfaktor „Effizienz“ könnte demnach auch „Technik und Politik“ heißen; ihm werden alle Faktoren zugerechnet, die auf den spezifischen Verbrauch und damit auf die rationelle Energieverwendung einwirken: energiepolitische Instrumente, freiwillige und politische Maßnahmen – sofern diese nicht separat zu bestimmen sind. Diese Größe entspricht dem „realen“, von allen anderen Einflüssen bereinigten in der Vergangenheit oder zukünftig im Szenario erschlossenen bzw. umgesetzten Effizienzpotenzial.
- **Energieträgersubstitution:** Unter der Kategorie der Energieträgersubstitution werden diejenigen Effekte erfasst, die durch den Wechsel zwischen den Energieträgern für ein- und densel-

ben Verwendungszweck entstehen, z. B. den Wechsel von Heizöl zu Gas bei Öfen oder den Ausbau erneuerbarer Energien und Kraft-Wärme-Kopplung. Diese Effekte sind meist mit einer Substitution der zugrundeliegenden Technologie verbunden. In der vorliegenden Studie ist der *ausgewiesene* Substitutionseffekt für alle Sektoren immer Null, weil je Sektor nur die Summe über alle Energieträger ausgewiesen wird und sich dabei substituierende und substituierte Energieträger bilanziell nivellieren. Etwaige Wirkungsgradverbesserungen, die anlagenseitig durch den Energieträgerwechsel entstehen, werden im Effizienzeffekt abgebildet.

- **Klima/Witterung:** Äußere langfristige (Klima) bzw. kurzfristig stochastische (Witterung) Wetterphänomene. Die Witterungsbedingungen bestimmen die Nachfrage nach Raumwärme, Klimakälte (Raumklimatisierung) – der Prozesswärmebedarf bleibt von den Witterungsbedingungen nahezu unbeeinflusst. Sie sind entscheidend für das Verständnis von Energieverbrauchs-schwankungen zwischen aufeinanderfolgenden Jahren. Die Veränderungen der Witterungsbedingungen verlieren in der Langfristbetrachtung im Allgemeinen an Bedeutung, da die langfristige Klimaveränderung deutlich geringer ist als die jährlichen Schwankungen. Die Witterungseffekte stützen sich auf das Witterungsbereinigungsverfahren auf Basis von Monatsdaten für Gradtage. Für die Vergangenheit werden die tatsächlichen Verbräuche üblicherweise mit den aktuellen Witterungsdaten „bereinigt“ oder „normiert“, basierend auf bevölkerungsgewichteten Mittelwerten über alle Wetterstationen. Für die Zukunft werden – sowohl für die Berechnung der Nachfrage als auch des Stromangebots – Standard-Wetterjahre bzw. -profile zugrunde gelegt. In den Energieverbräuchen der Industrie spielt die Witterung eine untergeordnete Rolle; bei der Fernwärmeerzeugung jedoch eine große.
- **Nichtlinearitäten:** Diese Kategorie, auch „Joint-Effekt“ genannt, weist den Grad der Nichtlinearität der Ergebnisse aus, d. h. die Differenz zwischen den in den Modellen kombinierten Effekten und der Summe der Einzeleffekte. Nichtlinearitäten werden relevant, sobald mindestens ein vorgenannter Effekt eine große Veränderung zum Vorjahreswert aufweist. Diese Nichtlinearitäten sind methodisch unvermeidbar, da die Isolierung der Effekte mathematisch gesehen jeweils eine lineare diskrete Näherung in einem oder wenigen Parametern ist.

Hierzu ein Beispiel: Angenommen, der Energieverbrauch stellt sich vereinfacht als Produkt aus Menge und spezifischem Energieverbrauch dar, $EV = M \times \varepsilon$. Dann lässt sich der Unterschied zwischen zwei aufeinander folgenden Jahren durch die Summe des Mengen- und des Effizienzeffekts darstellen: $\Delta EV = \Delta M + \Delta \varepsilon$. Der Mengeneffekt ist definiert als Differenz zwischen dem Energieverbrauch des Betrachtungsjahres (Zeit-

punkt t) unter der Bedingung konstanter spezifischer Verbräuche und dem Energieverbrauch des Vorjahres (Zeitpunkt $t-1$): $\Delta M = M^t \times \varepsilon^{t-1} - EV^{t-1}$. Analog dazu ergibt sich der Effizienzeffekt als $\Delta \varepsilon = M^{t-1} \times \varepsilon^t - EV^{t-1}$. Die Addition beider Effekte liefert $\Delta EV = M^t \times \varepsilon^{t-1} + M^{t-1} \times \varepsilon^t - 2EV^{t-1}$. Der Unterschied des Energieverbrauchs lässt sich laut der ersten Formel ebenso darstellen als $\Delta EV = M^t \times \varepsilon^t - EV^{t-1}$. Ein Vergleich der rechten Seiten der letzten beiden Formeln zeigt nun die sich aufgrund der Effektlinearisation ergebende Ungleichheit: $M^t \times \varepsilon^{t-1} + M^{t-1} \times \varepsilon^t - 2EV^{t-1} \neq M^t \times \varepsilon^t - EV^{t-1}$. Diese Ungleichheit ist unter der Bedingung kleiner Änderungen der Menge und des spezifischen Energieverbrauchs ebenfalls klein. In jedem Fall muss sie mittels eines Joint-Effekts kompensiert werden.

Die zeitliche Wirkung einzelner Einflussfaktoren oder Effekte wird in der vorliegenden Untersuchung bestimmt, indem alle Effekte mit jeweils einer Ausnahme konstant gehalten werden.⁹ Mit dieser Methode werden alle im Weiteren genannten Effekte analytisch isoliert. Ein einzelner Effekt zwischen zwei aufeinander folgenden Jahren wird damit als lineare Näherung berechnet. Das heißt, dass explizit nur ein Effekt zwischen zwei aufeinander folgenden Jahren verändert wird, während alle anderen Parameter konstant bleiben. Die sich daraus ergebende Verbrauchsänderung isoliert und quantifiziert den Effekt. Eine verallgemeinerte Darstellung der Rechnungen lautet:

$$EV^t = EV^{t-1} \times \prod_i \left(\frac{\text{Einflussfaktor}_i^t}{\text{Einflussfaktor}_i^{t-1}} - 1 \right)$$

Die Reihenfolge der Faktorenbestimmung ergibt sich aus inhaltlichen Überlegungen und dem Modellansatz. Zuerst wird die Wirkung der Mengenkomponeute isoliert, denn ohne vorhandenes Mengengerüst können politische und technische Faktoren keine Wirkung zeigen¹⁰. Konjunktur- und Witterungseffekte werden nur ex-post ermittelt, da für die Zukunft per Definition bereinigte durchschnittliche Rahmenentwicklungen zugrunde gelegt werden. Welche konkreten Parameter je Sektor den Effekten zugeordnet werden, veranschaulicht Tabelle 10.

⁹ Diese sogenannte „Basis-Definition“ ist eine Möglichkeit der Effektbestimmung. Eine andere Berechnungsmöglichkeit ändert alle Effekte außer dem zu bestimmenden Effekt („Ziel-Definition“). Beide Varianten sind je nach zugrunde liegender Berechnung gleichwertig und weisen ähnliche (jedoch nicht zwingend dieselben) Ergebnisse auf.

¹⁰ Das ist trivial: Gäbe es beispielsweise keine inländische Primäraluminiumproduktion, zeigten politische und technische Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz bei der Primäraluminiumproduktion keine Wirkung.

Tabelle 10: Zuordnung der bestimmenden Parameter zu den Effekten je Sektor

Effekt nach Sektor	Bestimmender Parameter
Menge	
Bergbau	Produktionsindex
Verarbeitendes Gewerbe	Produktionsmenge bzw. -index je Branche
Wasserversorgung	Bruttowertschöpfung, Erwerbstätige
Energieversorgung	Stromproduktion, Fernwärmeproduktion, Ausstoß der Raffinerien und Kokereien
Baugewerbe	Bruttowertschöpfung, Erwerbstätige
Struktur	
Bergbau	Kein Struktureffekt, weil innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes behandelt (analog RWI-Methodik, [RWI 2014])
Verarbeitendes Gewerbe	Mengenentwicklungen der einzelnen Branchen jeweils bezogen auf die Mengenentwicklung des gesamten Sektors
Wasserversorgung	kein Struktureffekt, weil modellseitig keine Substruktur abgebildet wird
Energieversorgung	Verschiebungen im Kraftwerkspark (z. B. Zubau von Erneuerbaren und KWK-Anlagen, Abschalten fossiler Kapazitäten, Merit-Order-Effekt)
Baugewerbe	kein Struktureffekt, weil modellseitig keine Substruktur abgebildet wird
Effizienz	
Bergbau	Effizienzen nach Verwendungszwecken
Verarbeitendes Gewerbe	Effizienzen nach Branchen und Verwendungszwecken (z. B. Prozesswärme und Mechanische Energie)
Wasserversorgung	auf Basis der bisherigen Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs
Energieversorgung	Effizienzen der Kernprozesse der Umwandlung (z. B. Turbinenwirkungsgrad)
Baugewerbe	auf Basis der bisherigen Entwicklung des Verbrauchs pro Euro
Energieträgersubstitution	
Bergbau	(wie Verarbeitendes Gewerbe)
Verarbeitendes Gewerbe	Shift von einem Energieträger zu einem anderen bei identischem Verbrauch (bzw. Wirkungsgrad)
Wasserversorgung	kein Einfluss, da fast ausschließlich Strom verbraucht wird
Energieversorgung	kein Struktureffekt, da eine Energieträgersubstitution einer Änderung des Kraftwerktyps entspricht und diese über den Struktureffekt abgebildet ist
Baugewerbe	kein wesentlicher Einfluss auf den Verbrauch
Klima/Witterung	
Bergbau	(wie Verarbeitendes Gewerbe)
Verarbeitendes Gewerbe	minimaler Einfluss von Heizgradtagen auf den gesamten EE wegen des geringen Raumwärmeanteils
Wasserversorgung	kaum Einfluss
Energieversorgung	Kein Witterungseffekt, da eine witterungsabhängige Nachfrageänderung über den Mengeneffekt behandelt wird
Baugewerbe	beeinflusst den Raumwärmeverbrauch in den Gebäuden
Joint-Effekt	
alle Sektoren	aufgrund der Nichtlinearitäten bei der Effekteisolation; bilanzieller Restwert benötigt zur korrekten Angabe der Summe aller Effekte

Quelle: Prognos

3.5.1 Vorgehen bei der Energieversorgung

Das Vorgehen bei der Effektzerlegung bei der Energieversorgung bzw. dem Umwandlungssektor soll an dieser Stelle gesondert beschrieben werden, weil hierbei einige systematische Abweichungen verglichen mit dem Vorgehen in den Nachfragesektoren erforderlich sind. Insbesondere werden in diesem Sektor die statistischen Angaben bis inklusive 2016 verwendet, weil diese größtenteils zum Bearbeitungszeitpunkt vorlagen.

Der Umwandlungssektor unterteilt sich in die Untersektoren zur Stromerzeugung, zur Fernwärmeerzeugung, der Sonstigen Umwandlung, z. B. Raffinerien und Kokereien, sowie in den (vernachlässigbaren) Posten der Fackel- und Leitungsverluste. Jeder Untersektor muss aufgrund der Verschiedenheit des Mengentreibers (Strom, Fernwärme, Mineralölprodukte, Koks) getrennt von den jeweils anderen Untersektoren ausgewertet werden. Die Höhe des Verbrauchs und der Verluste im Umwandlungssektor wird mit rund 80 % maßgeblich vom Stromsektor bestimmt.

Stromerzeugung

Die Faktorzerlegung in der Stromerzeugung bezieht sich auf den Kraftwerkspark mit seinen verschiedenen Kraftwerkstypen, welche sich im Wesentlichen durch die jeweils verwendeten Primärenergieträger der Stromerzeugung definieren:

- Steinkohlen → Steinkohlekraftwerke
- Braunkohlen → Braunkohlekraftwerke
- Mineralöl → Heizölkraftwerke
- Erdgas → Gaskraftwerke (Gas-und-Dampf- sowie Gasturbinenkraftwerke)
- Kernenergie → Kernkraftwerke
- Erneuerbare → Photovoltaik-Anlagen, Wind-, Wasser-, Biomasse-, Geothermie-Kraftwerke u. a.
- Sonstige Energieträger → Pumpwerke, Abfallverbrennungsanlagen
- Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen → KWK-Anlagen

Zwei Ausnahmen hiervon bilden die letztgenannten Sonstigen Energieträger und KWK-Anlagen. Die Erzeugungsart Sonstige Energieträger stellt Pumpstrom und Abfall aggregiert dar. KWK bezeichnet die Erzeugungsart der gekoppelten Wärme und Stromerzeugung, wobei hier nicht nach einzelnen Primärenergieträgern

unterschieden wird sondern prinzipiell alle möglichen Energieträger zum Einsatz kommen. Im Übrigen ist eine Betrachtung in dieser Kraftwerksstruktur erst ab 2003 möglich, da erst ab diesem Jahr Daten für die KWK-Anlagen vorhanden sind. Um diesen statistischen Bruch und die daraus resultierende Verzerrung der Faktorzerlegung zu umgehen, werden die Ergebnisse der Faktorzerlegung generell erst ab 2005 ausgewiesen.

Für die einzelnen Energieträger bzw. Kraftwerkstypen wurden der Umwandlungseinsatz und die Bruttostromerzeugung aus der Energiebilanz bezogen [AGEB 2017]. Da die EBil die Stromerzeugung nicht nach Energieträgern differenziert ausweist, wird die Bruttostromerzeugung den Energiedaten [BMWi 2017] entnommen (vgl. hierzu die Formeln zum Primärenergieverbrauch in Abschnitt 3.2.1). Die Ermittlung des Brennstoffeinsatzes und der Bruttostromerzeugung für die KWK-Anlagen erfolgt ebenfalls auf Basis der Energiedaten. Der in den Energiedaten ausgewiesene Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung wird im Verhältnis von Gesamtbrennstoffeinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung aufgeteilt. Die Aufteilung der ausgewiesenen Nettoerzeugung nach Energieträgern erfolgt ebenfalls anhand dieses Verhältnisses. Um die Bruttostromerzeugung zu erhalten, wird die Nettostromerzeugung um einen zuvor ermittelten Eigenverbrauchsanteil erhöht. Der Anteil des Eigenverbrauchs wird anhand von [Destatis 2006-2015] bestimmt. Hierbei wird zwischen unterschiedlichen Primärenergieträgern unterschieden. Da die Bruttostromerzeugung und der Brennstoffeinsatz der KWK-Anlagen in den Gesamtdaten enthalten sind, müssen diese um den Primärenergieträgereinsatz der KWK-Anlagen bereinigt werden. Die so ermittelten Bruttostromverbräuche werden anhand der ermittelten Eigenverbrauchsanteile in die Nettostromerzeugung überführt.

Anhand der Division der Nettostromerzeugung durch den Brennstoffeinsatz lassen sich für alle Kraftwerkstypen die jeweiligen jährlichen effektiven Wirkungsgrade berechnen.

Die separierbaren Effekte des Umwandlungssektors sind der Mengeneffekt, der Struktureffekt sowie der Effizienzeffekt. Für die Berechnung des **Mengeneffektes** wird in einem ersten Schritt der modifizierte Brennstoffeinsatz anhand der Stromerzeugung und des Wirkungsgrades des Vorjahres sowie der Wachstumsrate der Gesamtstromerzeugung auf das jeweilige Betrachtungsjahr ermittelt:

$$\text{Brennstoffeinsatz}_{Menge}^t = \frac{\text{Stromerzeugung}^{t-1}}{\text{Wirkungsgrad}^{t-1}} \times \text{Wachstumsrate}_{gesamt}^t$$

Der Mengeneffekt berechnet sich in einem zweiten Schritt aus der Differenz des eben berechneten Brennstoffeinsatzes mit dem Brennstoffeinsatz des Vorjahres.

$$\begin{aligned} \text{Mengeneffekt} = & \\ & \text{Brennstoffeinsatz}_{Menge}^t \\ & - \text{Brennstoffeinsatz}^{t-1} \end{aligned}$$

Für die Berechnung des **Struktureffektes** wird in einem ersten Schritt der modifizierte Brennstoffeinsatz anhand der Stromerzeugung und des Wirkungsgrades des Vorjahres ermittelt. Die Stromerzeugung wird mit der Differenz aus der Gesamtwachstumsrate der Stromerzeugung und des Wachstums des jeweiligen Kraftwerktyps i gewichtet:

$$\begin{aligned} \text{Brennstoffeinsatz}_{Struktur}^t = & \\ & \frac{\text{Stromerzeugung}^{t-1}}{\text{Wirkungsgrad}^{t-1}} \\ & \times (\text{Wachstumsrate}_i^t - \text{Wachstumsrate}_{gesamt}^t) \end{aligned}$$

Wie der Mengeneffekt bestimmt sich der Struktureffekt aus der Differenz des eben berechneten Brennstoffeinsatzes mit dem Brennstoffeinsatz des Vorjahres.

Für die Berechnung des **Effizienzeffektes** wird in einem ersten Schritt der modifizierte Brennstoffeinsatz anhand der Stromerzeugung des Vorjahres sowie des Wirkungsgrades des jeweiligen Jahres ermittelt:

$$\text{Brennstoffeinsatz}_{Effizienz}^t = \frac{\text{Stromerzeugung}^{t-1}}{\text{Wirkungsgrad}^t}$$

Wie bereits die beiden anderen Effekte zuvor bestimmt sich der Effizienzeffekt durch Subtraktion von modifiziertem Brennstoffeinsatz und Brennstoffeinsatz des Vorjahres.

Fernwärmeerzeugung

Im Fernwärmesektor wird aufgrund der mangelnden Datenverfügbarkeit nicht zwischen unterschiedlichen Erzeugungsarten, d. h. den unterschiedlichen Typen der Fernheizwerke, unterschieden. Diese Vereinfachung genügt unserer Genauigkeit, weil der Fernwärmesektors nur einen geringfügigen Anteil an den Gesamtverlusten des Umwandlungssektors verursacht.

Die Berechnung der Effekte erfolgt analog zum Vorgehen im Stromsektor, wobei beim Ausstoß nicht zwischen Netto- und Bruttoerzeugung unterschieden wird.

Sonstige Umwandlung

Bei der Sonstigen Umwandlung werden Effekte für die Kokereien, die Raffinerien und die Sonstigen Erzeuger separat berechnet. Auch bei der Sonstigen Umwandlung kann sinnvoll keine Energie-

trägersubstitution ausgewiesen werden, denn die Koksherstellung kann z. B. nicht durch die Raffinerieerzeugung ausgetauscht werden, weil beide Produkte unterschiedliche Märkte bedienen.

Die berechneten Mengen- und Effizienzeffekte ergeben sich analog zur Berechnung im Stromsektor. Vor der Berechnung wird der in der Energiebilanz ausgewiesenen Umwandlungsausstoß noch um den Eigenverbrauch bereinigt.

Fackel- und Leitungsverluste sowie Statistische Differenzen

Für diese beiden Posten werden nur Mengeneffekte unterstellt.

4 Ergebnisse

4.1 Bisherige Entwicklung der Energieintensität

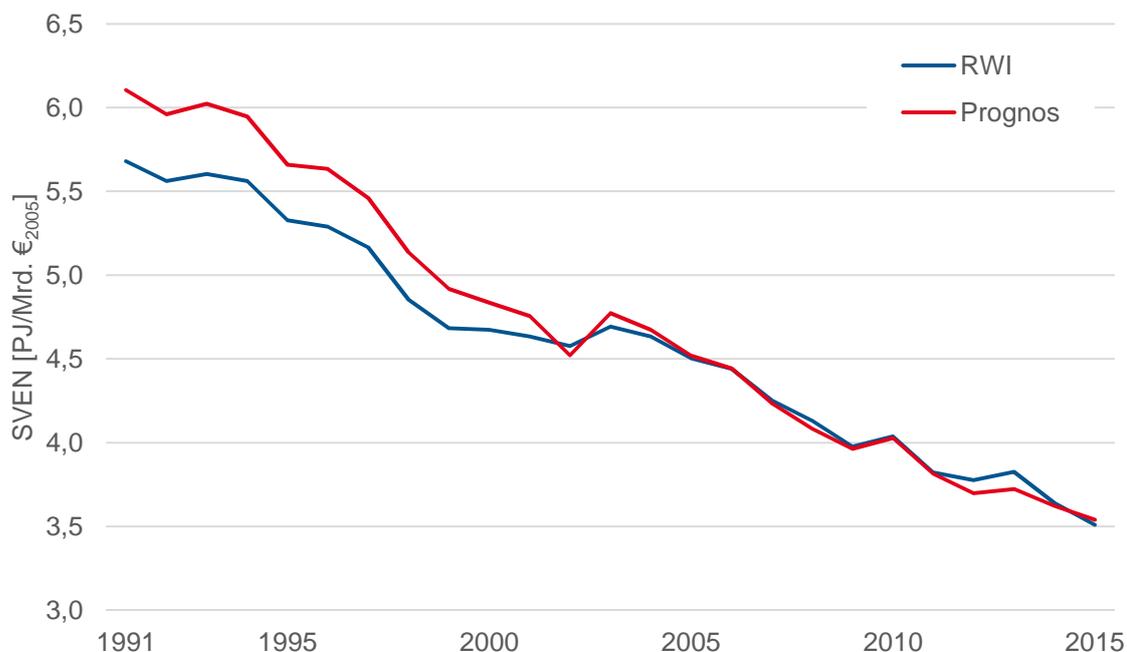
In diesem Ergebnisabschnitt wird die ex-post Entwicklung der Energieintensität im Produzierenden Gewerbe dargestellt. Die Faktoren Energieverbrauch und Bruttoproduktionswert sind hierbei die Treiber für die Ermittlung der Energieintensität (vgl. Formel aus Abschnitt 2). Gemäß der Methodik der Monitoringberichte wird der Bruttoproduktionswert zuerst um Preissteigerungen bereinigt. In einem weiteren Schritt findet eine Kompensation mittels eines abgeleiteten Auslastungsgrades statt. Bezugszeitraum sind die Jahre von 2007 bis 2012. Die Berechnungen erfolgen jeweils auf Sektorebene und verwenden aktualisierte Daten für die relevanten Größen. Abschnitt 3.3 behandelt die einzelnen Rechenschritte ausführlich. Es ist an dieser Stelle essenziell, dass die Darstellung der bisherigen Entwicklung unter Verwendung der Methodik erfolgt, die in der Vereinbarung festgelegt und im Monitoringprozess verwendet wurde. Abschnitt 4.3 widmet sich einer alternativen Herangehensweise zur Bestimmung der Energieintensität. Insbesondere wird dabei die Definition der „Energieintensität“ enger gefasst, indem interferierende Effekte (insbesondere die strukturelle Entwicklung in den einzelnen Sektoren) herausgerechnet werden, welche in der im Folgenden angewendeten Methodik noch im Sinne einer „Energieintensität“ Berücksichtigung finden.

Die Neuberechnung der Energieintensität (SVEN) basierend auf aktualisierten Statistiken zeigt Abbildung 9. Ab dem Jahr 2003 sind die Ergebnisse der Monitoringberichte (RWI) mit denen in der vorliegenden Studie berechneten Ergebnissen (Prognos) vergleichbar. Die neu berechnete Energieintensität weicht im Zeitraum von 2007 bis 2015 um 3,7 % RMS ab. Gründe für diese leichte Abweichung sind vermutlich Revisionen der langen Reihen in den einzelnen Statistiken zum Energieverbrauch und den wirtschaftlichen Daten. Die Berechnung der Energieintensität für die Jahre bis 2013 stammen bereits aus dem Jahr 2012. In den folgenden Monitoringberichten wurden jeweils nur die Jahre ab 2013 aktualisiert. Bedingt durch die zeitliche Dringlichkeit der Veröffentlichung der Effizienz- bzw. Energieintensitätsentwicklung für die Zuteilung des Spitzenausgleichs wurden zudem z. T. vorläufige Daten des Energieverbrauchs bzw. des Bruttoproduktionswerts seitens RWI verwendet. Die größeren Abweichungen bis 2002 von jährlich rund 4 % stammen aus einer Abweichung beim Bruttoproduktionswert in der gleichen Größenordnung und können nicht erklärt werden¹¹

¹¹ Es übersteigt den Rahmen der vorliegenden Studie, die Revisionen aller verwendeten Statistiken aus den Monitoringberichten den hier verwendeten Statistiken gegenüberzustellen, um eine systematische Abweichung begründen zu können. Prinzipiell genügt die sehr hohe Übereinstimmung während der letzten 14 Jahre, um die Äquivalenz der Berechnungen von RWI und von Prognos zu zeigen.

– sie sind für die zu bearbeitende Aufgabenstellung jedoch nicht von Bedeutung, weil sich die Vereinbarung auf den Referenzzeitraum 2007 - 2012 bezieht.

Abbildung 9: Ex-post-Entwicklung der bereinigten Energieintensität (SVEN), in PJ/Mrd. €₂₀₀₅



Quelle: Prognos AG, [RWI 2014-2017]

Auch beim Vergleich der aktualisierten und neu berechneten Effizienzwerte mit den Daten der RWI-Monitoringberichte zeigen sich nur geringe Unterschiede: Eine durchschnittliche jährliche Energieintensitätsänderung von 4,08 %/a (3,62 %/a in der von Prognos angewendet Methodik) sowie ein etwas niedrigerer kumulierter Wert 2015 von 12,2 % (nach Prognos 10,9 %) (Tabelle 11). Die vorgenommene ex-post Berechnung bestätigt damit das bisherige Ergebnis der Monitoringberichte im Wesentlichen.

Tabelle 11: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012, in %

	2013	2014	2015	Ø p.a.
gesetzlicher Zielwert für das Produzierende Gewerbe	1,3	2,6	3,9	1,30
Monitoringberichte (RWI)	4,4	9,0	12,2	4,08
Ex-post Berechnung (Prognos)	6,2	8,8	10,9	3,62

Quelle: Prognos AG

4.2 Modellierung von Energieverbrauch und Bruttoproduktionswert für die Bezugsjahre 2016 - 2020 anhand unterschiedlicher Entwicklungsszenarien

Für diesen Ergebnisabschnitt werden die wirtschaftliche Entwicklung sowie der End- und Primärenergieverbrauch ausgehend vom aktuellen Stand anhand der beiden in Abschnitt 3.4 beschriebenen Szenarien bis zum Jahr 2020 modelliert. Ziel ist dabei, die Potenziale für Energieintensitätssenkungen für die Bezugsjahre 2016 - 2020 im Verhältnis zur Basisperiode 2007 - 2012 abzuschätzen, die den gesetzlichen Zielwerten zugrunde liegt.

Das erste Szenario – Business-as-usual (BAU) – entspricht einer angenommenen Referenzentwicklung, d. h. die wesentlichen Modelltreiber werden konservativ fortgeschrieben. Das zweite, Ambitionierte Szenario entspricht einer ambitionierten Entwicklung der spezifischen Energieeinspareffizienz gegenüber derjenigen des BAU-Szenarios. Damit grenzen die beiden Szenarien ein wahrscheinliches Band möglicher Energieverbrauchsentwicklungen ein. Die sich unterscheidenden szenarischen Annahmen betreffen Variationen von im Wesentlichen politischen und technischen Parametern, beispielsweise bestimmte Fördermaßnahmen oder einen beschleunigten Effizienzpfad bzw. stärkere Durchdringung mit marktbesten technologischen Lösungen. Identisch in beiden Szenarien sind hingegen die Rahmendaten, insbesondere die demographische und wirtschaftliche Entwicklung, damit die Vergleichbarkeit der Szenarien untereinander gegeben ist. Für die Studie werden bereits bestehende Szenarien angepasst und ausgewertet.

Die Methodik der Szenarienrechnungen, die Definition der Treiber und Rahmendaten sowie wesentliche Annahmen sind in Abschnitt 3.4 beschrieben. Die modellseitigen Ergebnisse zu den Bruttowertschöpfungen finden sich in

Abbildung 8 und Tabelle 9 bzw. zu den Bruttoproduktionswerten in

Abbildung 6 und Tabelle 8. Der Bruttoproduktionswert der Industrie und Energieversorgung (B/C/D) nimmt zwischen 2015 und 2020 jährlich um 1,6 % zu, auf dann 1.893 Mrd. €₂₀₀₅. Die Wachstumsrate 2005 bis 2015 war mit 1,5 %/a sehr ähnlich. Mit identischen Wachstumsraten erreicht das Produzierende Gewerbe insgesamt (B/C/D/36/F) einen Bruttoproduktionswert 2020 von 2.141 Mrd. €₂₀₀₅.

Die berechneten Energieverbräuche (Primärenergie bei der Energieversorgung, sonst Endenergie) sind in Tabelle 12 für das BAU-Szenario sowie in Tabelle 13 für das Ambitionierte Szenario aufgeführt (die Verbräuche bis 2015 finden sich in Tabelle 4) und in Abbildung 10 gezeigt (in

Abbildung 22a-g jeweils nach Sektoren differenziert). Der absolute Niveauunterschied zwischen Industrie und Energieversorgung

(B/C/D) sowie Produzierendem Gewerbe (B/C/D/36/F) ist gering, die jährlichen Änderungsraten sind gleich. Der Unterschied zwischen beiden Szenarien äußert sich im Wesentlichen in einem etwa doppelt so schnellen Rückgang des Energieverbrauchs zwischen 2015 und 2020 von -10 % im BAU-Szenario auf -19 % im Ambitionierten Szenario aufgrund verstärkter Maßnahmen zur Effizienzsteigerung¹².

Tabelle 12: Energieverbrauch 2015 bis 2020 nach Sektor, BAU-Szenario, in PJ

WZ 2008	Sektoren	2015*	2016	2017	2018	2019	2020	'15-'20
B	Bergbau	15,4	15,3 [§]	15,1	14,9	14,7	14,6	-6%
C	Verarbeitendes Gewerbe	2.532	2.514 [§]	2.489	2.476	2.464	2.452	-3%
D	Energieversorgung	3.406	3.332	3.140	3.035	2.963	2.895	-15%
36	Wasserversorgung	8,3	8,3	8,2	8,2	8,1	8,0	-4%
F	Baugewerbe	61,9	65,8	66,0	66,1	66,2	66,2	+7%
B/C/D	Industrie und Energie	5.954	5.862	5.644	5.526	5.442	5.362	-10%
B/C/D/36/F	Produzierendes Gewerbe	6.024	5.936	5.719	5.601	5.516	5.436	-10%

* ex-post

[§] Laut [AGEB 2017b] beträgt die erste Schätzung für die Sektoren B und C zusammen 2.581 PJ. Die Abweichung der Modellergebnisse von -2 % zur vorläufigen Statistik wurden an dieser Stelle akzeptiert.

Quelle: [AGEB 2017a]

Tabelle 13: Energieverbrauch 2015 bis 2020 nach Sektor, Ambitioniertes Szenario, in PJ

WZ 2008	Sektoren	2015*	2016	2017	2018	2019	2020	'15-'20
B	Bergbau	15,4	15,2	15,0	14,7	14,5	14,3	-8%
C	Verarbeitendes Gewerbe	2.532	2.498	2.461	2.437	2.413	2.390	-6%
D	Energieversorgung	3.406	3.332*	2.609 ¹³	2.521	2.384	2.428	-29%
36	Wasserversorgung	8,3	8,3	8,2	8,2	8,1	8,0	-5%
F	Baugewerbe	61,9	65,8	65,6	65,6	65,7	65,6	+6%
B/C/D	Industrie und Energie	5.954	5.829	5.085	4.973	4.811	4.832	-19%
B/C/D/36/F	Produzierendes Gewerbe	6.024	5.903	5.159	5.046	4.885	4.906	-19%

* ex-post

Quelle: [AGEB 2017a]

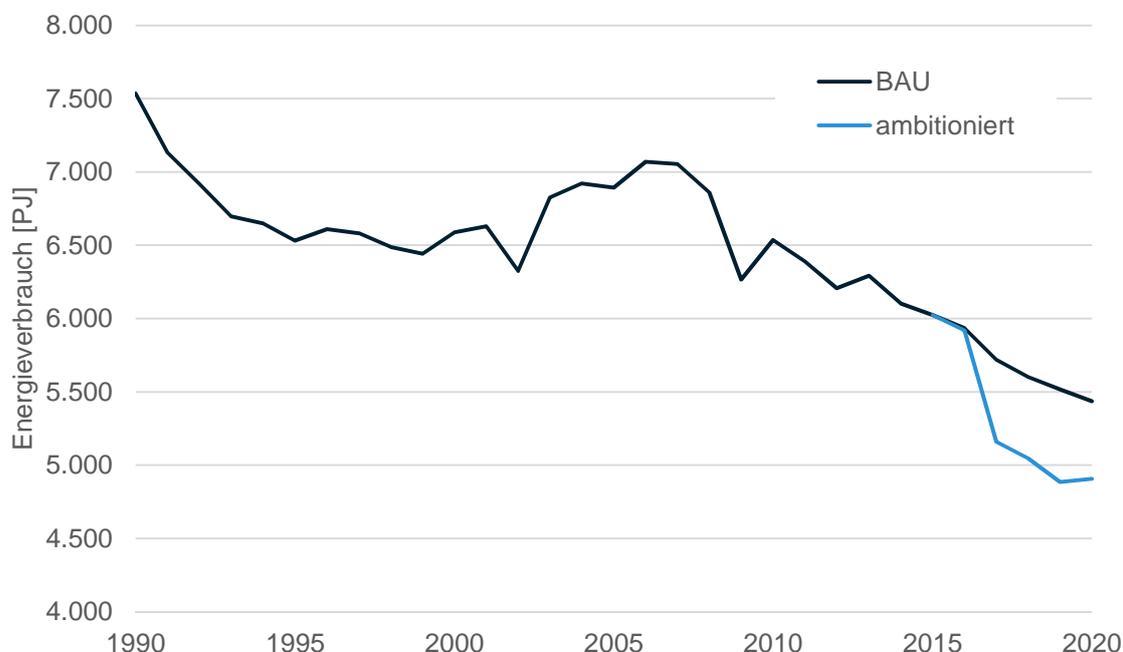
Die aus den Modellergebnissen berechneten bereinigten Energieintensitäten (SVEN), als Quotient aus Energieverbrauch und Bruttoproduktionswert, sind in Abbildung 11 für beide Sektorabgrenzungen und Szenarien gezeigt. Die „Szenariengabel“ ist deutlich

¹² Der Anstieg des Primärenergiebedarfs der Energieversorgung zwischen 2019 und 2020 im Ambitionierten Szenario begründet sich mit der im Jahr 2020 (per Szenariodefinition) einsetzenden Umwandlung von Biomasse der 2. Generation bzw. dem daraus resultierenden zusätzlichen Energiebedarf.

¹³ Für den deutlichen Sprung im Ambitionierten Szenario zwischen 2016 und 2017 ist der Energieverbrauch der Energieversorgung ursächlich: Da in diesem Sektor der Verbrauch bis inklusive 2016 statistisch vorliegt und auch verwendet wird (bei den anderen Sektoren endet die statistische Reihe bei 2015, vgl. Abschnitt 3.5.1), schwenkt der Energieverbrauchs-pfad der Energieversorgung erst 2017 auf den ambitionierten Pfad, woraus sich ein deutlicher Sprung ergibt, den es im zugrundeliegenden Szenario nicht gibt, weil der ambitionierte Pfad dort bereits 2015 beginnt.

zu erkennen: im Ambitionierten Szenario liegt der Energieverbrauch um rund 9 % unter derjenigen des BAU-Szenarios.

Abbildung 10: Energieverbrauch des Produzierenden Gewerbes für die Jahre 1990 - 2020, in PJ

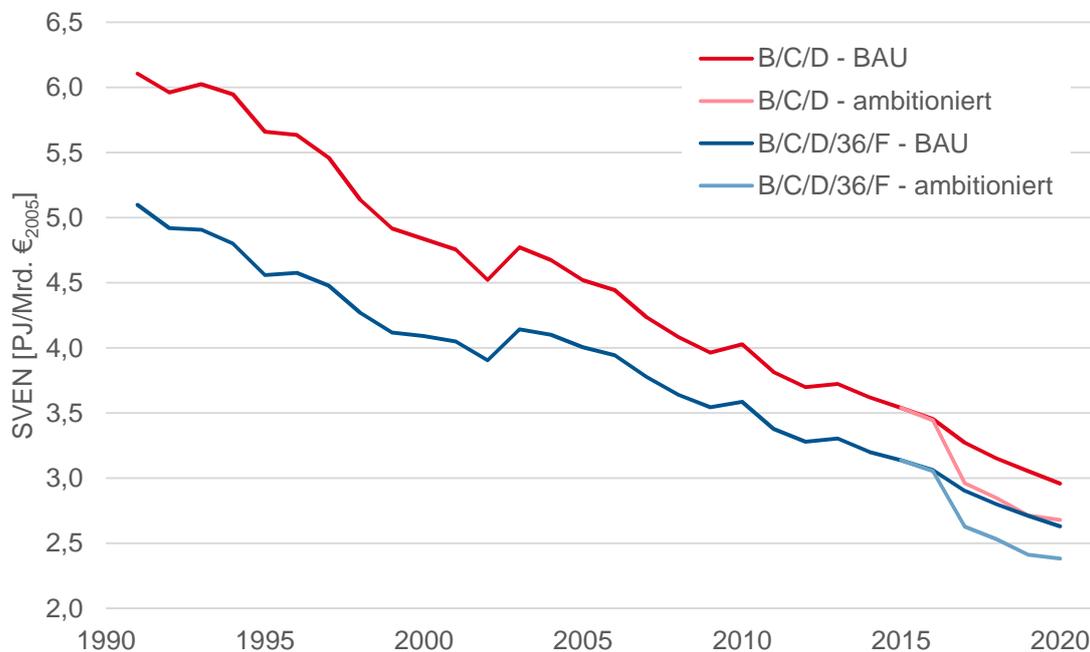


Quelle: Prognos AG, [RWI 2014-2017]

Industrie und Energieversorgung sowie Produzierendes Gewerbe entwickeln sich abgesehen vom Niveau identisch. Dies äußert sich in nahezu gleichen kumulierten Energieintensitätsreduktionen von 25,5 bis 25,6 % (BAU-Szenario) bzw. 32,5 bis 32,6 % (Ambitioniertes Szenario) bis 2020 im Vergleich zur Basisperiode 2007 - 2012 – beide Male deutlich oberhalb des anvisierten gesetzlichen Zielwertes der deutschen Wirtschaft von 10,65 % (siehe Tabelle 14).

Ein weiteres wichtiges Ergebnis ist, dass die Spanne der Zielwerte zwischen einer trendmäßigen und einer ambitionierten Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen innerhalb weniger Jahre rund 7 Prozentpunkte (oder knapp ein Drittel) betragen kann. Diese Spanne spiegelt die zusätzlich umgesetzten Effizienzmaßnahmen im Ambitionierten Szenario wider.

Abbildung 11: Bereinigte Energieintensität (SVEN) nach Sektorabgrenzung (Industrie und Energieversorgung sowie Produzierendes Gewerbe) und Szenario (BAU sowie Ambitioniert), in PJ/Mrd. €₂₀₀₅



Quelle: Prognos AG, [RWI 2014-2017]

Tabelle 14: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012, in %

	ex-post			ex-ante					Ø p.a.
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
gesetzlicher Zielwert für das Produzierende Gewerbe	1,3	2,6	3,9	5,25	6,6	7,95	9,3	10,65	1,33
BAU-Szenario									
RWI-Monitoring (B/C/D)	4,4	9,0	12,2	13,8	18,7	21,5	23,7	25,8	3,23
Prognos (B/C/D)	6,2	8,8	10,9	13,0	17,6	20,6	23,1	25,5	3,18
Prognos (B/C/D/36/F)	6,5	9,4	11,2	13,4	17,8	20,8	23,2	25,6	3,19
Ambitioniertes Szenario									
RWI-Monitoring (B/C/D)	4,4	9,0	12,2	13,8	26,5	29,0	32,2	32,8	4,10
Prognos (B/C/D)	6,2	8,8	10,9	13,2	25,4	28,2	31,7	32,5	4,07
Prognos (B/C/D/36/F)	6,5	9,4	11,2	13,6	25,6	28,4	31,7	32,6	4,07

Quelle: Prognos AG

4.3 Untersuchung der Determinanten der Energieintensität und Identifizierung der realistischen Effizienzpotenziale

In diesem Ergebnisabschnitt werden für die Sektoren und für das Produzierende Gewerbe insgesamt realistische Effizienzpotenziale anhand einer Effektzerlegung bestimmt. Die daraus resultierenden einzelnen Determinanten (Effekte) sind die Treiber des Energieverbrauchs. Sie werden der Energieintensität (SVEN) für beide Szenarien aus den vorigen Ergebnisabschnitten gegenübergestellt. Die Ergebnisse beider Szenarien liefern qualitativ identische Aussagen.

Hintergrund dieser Betrachtung ist, dass die definierte Energieintensität als Quotient aus Energieverbrauch und Bruttoproduktionswert in der Vereinbarung zwar als Indikator zur Messung der Energieeffizienz herangezogen wird¹⁴, jedoch neben der Energieeffizienz (im Sinne eines technischen Fortschritts bzw. politischer Maßnahmen) auch weitere Einflüsse beinhaltet, wie beispielsweise die Energiepreisentwicklung, gesetzliche Regelungen, umweltpolitische Ge- und Verbote, der Zubau Erneuerbarer Energien und von KWK-Anlagen sowie den inter- und intrasektoralen Strukturwandel. Insbesondere letzterer hat durch die höhere Dynamik der nicht-energieintensiven im Vergleich zu den stagnierenden energieintensiven Branchen einen dämpfenden Einfluss auf die Energieintensität. Dieser Strukturanteil wird – neben anderen Effekten – in Abbildung 16,

Abbildung 17 und insbesondere in Abbildung 18 dargestellt.

Effekte

Um die realen und erwartbaren Potenziale zur Verringerung der Energieintensität zu ermitteln ist es notwendig, die berechnete Entwicklung der Energieintensität auf die Determinanten herunterzubrechen. Dafür wird die Methode der Effektzerlegung angewendet, wie sie in Abschnitt 3.5 beschrieben ist. Die nach Anwendung der Effektzerlegung resultierenden Abbildungen nach Sektoren, welche nicht in der folgenden Diskussion dargestellt sind, finden sich im Anhang (Abbildung 23a-f für das BAU-Szenario sowie

Abbildung 24a-f für das Ambitionierte Szenario). Im Folgenden werden die relevanten Entwicklungen je Sektor beschrieben.

Beim **Bergbau** ist der seit 2005 nur leicht sinkende Endenergieverbrauch bestimmt durch die tendenziell energieverbrauchsdämpfenden, sinkenden Produktionsmengen sowie anteilig recht große Nichtlinearitäten, die aus der deutlichen jährlichen Konjunktur resultieren. Effizienzverbesserungen ergeben sich nach diesen Bereinigungen praktisch in keinem Szenario.

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im **Verarbeitenden Gewerbe** ist dominiert vom Mengenwachstum, welches in fast al-

¹⁴ Eigentlich vereinbarungsrelevant sind „alle Maßnahmen, die im Rahmen unternehmerischer Entscheidungen zur Steigerung der Energieeffizienz oder zur Substitution von Energie durch (Sekundär)Rohstoffe beitragen“ [Bundesanzeiger 2012].

len Jahresschritten zu einer Verbrauchssteigerung führt (Abbildung 12 und Abbildung 13). Deutlich zu erkennen ist der Mengen- und damit auch Verbrauchsrückgang im Jahr der Weltwirtschaftskrise 2009 sowie das Aufholen auf das Niveau vor der Krise in den beiden Folgejahren. Ein moderater, aber steter Strukturwandel hin zu weniger energieintensiven Branchen ist der Hauptgrund für eine Dämpfung des Endenergiebedarfs im Verarbeitenden Gewerbe, denn er weist fast durchweg ein negatives Vorzeichen auf. Der danach verbleibende Effizienzeffekt selbst ist klein – definitorisch jedoch im Ambitionierten Szenario leicht höher als im BAU-Szenario.

Bei der **Energieversorgung** stellen sich die einzelnen Determinanten unsteter dar (Abbildung 14 und

Abbildung 15). Es dominiert bis 2015 ein positives Mengenwachstum, welches ab 2016 immer negativ ist. Einen durchweg dämpfenden Einfluss auf den Primärenergiebedarf hat der Struktureffekt: Hier zeigt sich der langsame aber fortgesetzte Umbau des Kraftwerkparks hin zu mehr Erneuerbaren sowie KWK. Die Energieintensität des Kraftwerkparks ist im Mittel leicht rückläufig, führt also zu einer PEV-Einsparung. Die recht hohe Schwankung des Effizienzeffekts von Jahr zu Jahr bildet den Einsatz der Kraftwerke ab. Die Einsatzreihenfolge zur Deckung der Residuallast ergibt sich anhand der Merit-Order, die sich aus den Grenzkosten der Kraftwerke bildet. Die Grenzkosten der Kraftwerke werden maßgeblich von der Entwicklung der Brennstoffkosten und den CO₂-Preisen bestimmt. Durch die Veränderung der Brennstoffkostenverhältnisse und/oder des CO₂-Preises, können zwischen den Jahren größere Unterschiede darin bestehen, welche Kraftwerke tatsächlich zur Stromerzeugung beitragen.

Weitere Schwankungen des Effizienzeffektes sind auf die zunehmende Einspeisung durch fluktuierende Stromerzeugung zurückzuführen. Durch die fluktuierende Einspeisung kommt es zu einer volatileren Residuallast, auf die die konventionellen Kraftwerke flexibel reagieren müssen. Hierdurch produzieren Kraftwerke häufiger im ineffizienteren Teillastbetrieb und es kommt potenziell häufiger zu Kraftwerksabschaltungen. Die notwendigen Anfahrzeiten der betroffenen Kapazitäten wirken sich negativ auf die Effizienz aus.

Im Übrigen ist auch bei der Energieversorgung der Einfluss der Weltwirtschaftskrise in den Jahren 2008/2009 auf die Energienachfrage deutlich zu erkennen. Beim Ambitionierten Szenario fallen der starke negative Ausreißer 2017 (insbesondere der Joint-Effekt) sowie der positive Effizienzeffekt 2020 auf. Ersterer lässt sich mit dem PEV-Sprung der Energieversorgung erklären (vgl. Fußnote 13) und letzterer mit der im Jahr 2020 einsetzenden Biokraftstoffproduktion (vgl. Fußnote 17 und den Berichtstext dort).

Bei der **Wasserversorgung** ist ein abnehmender Trend des Energieverbrauchs zu erkennen (es überwiegen die Jahre mit einem negativen Netto-Effekt). Tendenziell ist im Laufe der letzten Jahre eine Abnahme der Wassergewinnung festzustellen. Die Witterungseffekte spielen dabei keine Rolle. Vielmehr beeinflussen die Effizienz und die Mengen den Verbrauch stark. Da es wenig belastbare statistische Daten gibt, dominieren die Joint-Effekte. Beide Szenarien liefern ähnliche Ergebnisse.

Beim **Baugewerbe** spielt in der Vergangenheit die Witterung eine wesentliche Rolle. Die Witterungsbedingungen bestimmen die Nachfrage nach Raumwärme in Gebäuden.¹⁵ Die Veränderungen der Witterungsbedingungen verlieren in der Langfristbetrachtung im Allgemeinen an Bedeutung. Die jährlichen Witterungsschwankungen kompensieren sich in der Regel weitgehend und die langfristige Klimaveränderung ist deutlich geringer als die jährlichen Schwankungen. Für die Jahre 2011 und 2014 sind die Energieeinsparungen als Folge der wärmeren Witterung erkennbar. Die hohen Joint-Effekte in den Jahren 2006 und 2007 sind auf statistische Schwankungen zurückzuführen. Beide Szenarien liefern ähnliche Ergebnisse.

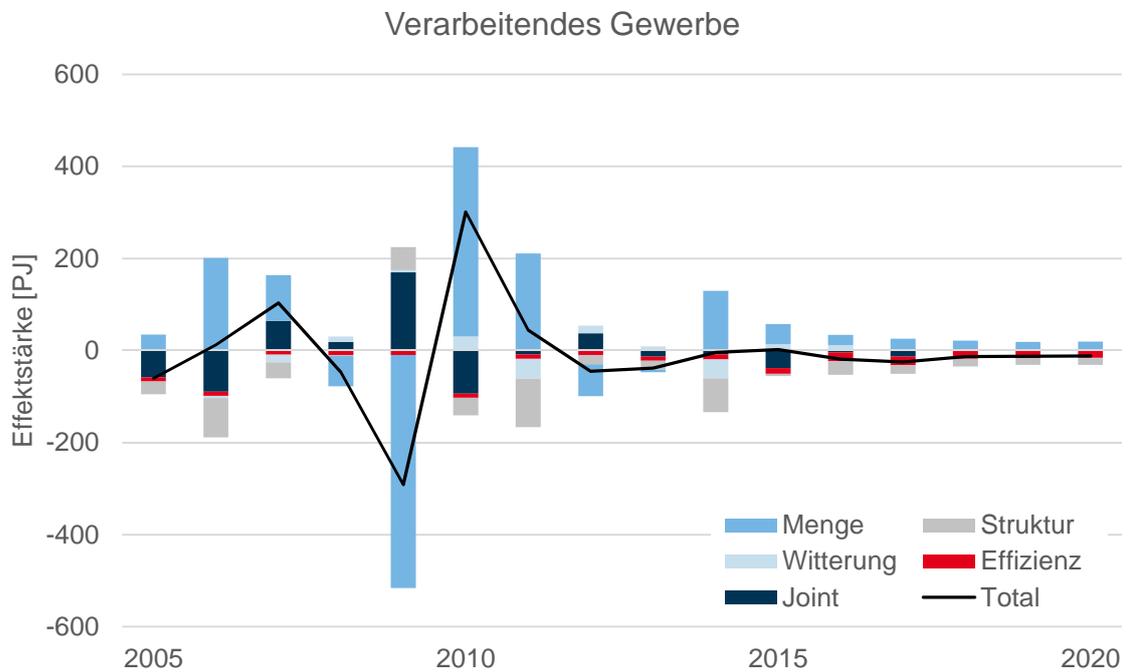
*Für das **Produzierende Gewerbe** insgesamt als Summe aller Sektoren (und nahezu identisch auch für Industrie und Energieversorgung, wegen der absolut sehr geringen Beiträge der Wasserversorgung und des Baugewerbes) ergibt sich Abbildung 16 für das BAU-Szenario bzw.*

Abbildung 17 für das Ambitionierte Szenario. Insbesondere in den szenarischen Jahren ab 2016 dominiert die Energieversorgung die Effektzerlegung des Produzierenden Gewerbes. Bei den Ergebnissen des Ambitionierten Szenarios sind die unterstellten höheren Effizienzgewinne ab 2016 deutlich zu erkennen.

Erläuternd sei angemerkt, dass der Joint-Effekt tendenziell dann einen großen Ausschlag zeigt, wenn die Gesamtentwicklung eine große Änderung im Vergleich zum Vorjahr aufweist, weil dann die aus der Berechnungsmethodik stammenden Nichtlinearitäten zunehmen.

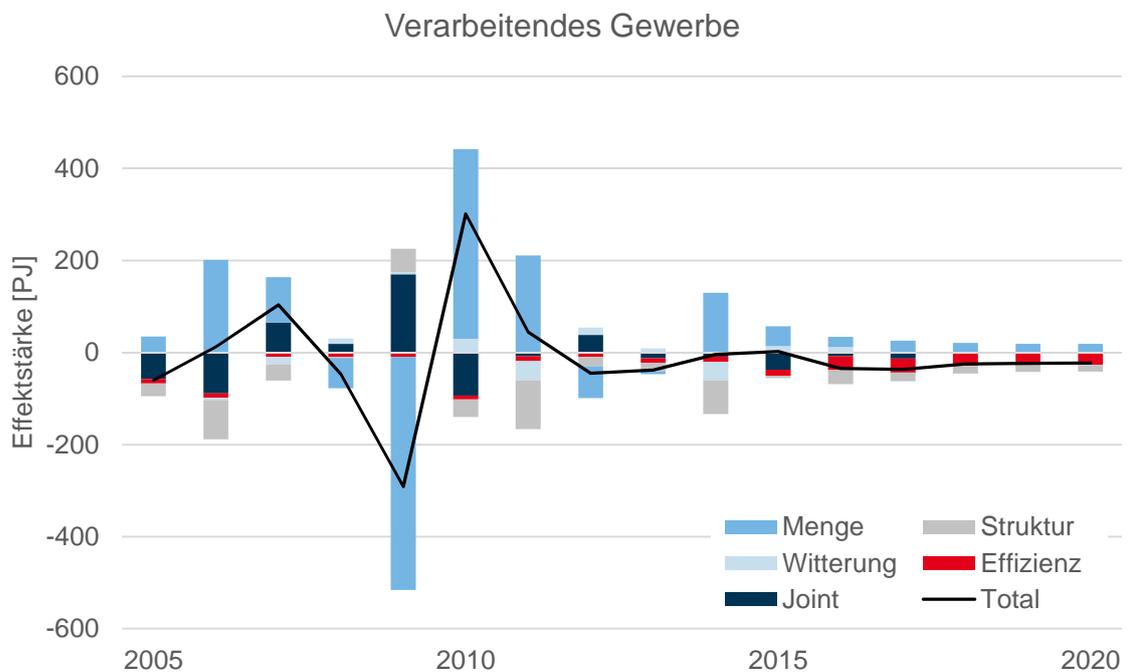
¹⁵ Möglicherweise entgegen der Erwartung weist das Baugewerbe eine Witterungsabhängigkeit beim Endenergieverbrauch auf. Der Raumwärmebedarf im Baugewerbe betrug 2011 8,9 TWh. Zum Vergleich: der Raumwärmebedarf von Krankenhäusern betrug im gleichen Jahr 7,4 TWh [ISI et al. 2013].

Abbildung 12: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für das Verarbeitende Gewerbe, BAU-Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ



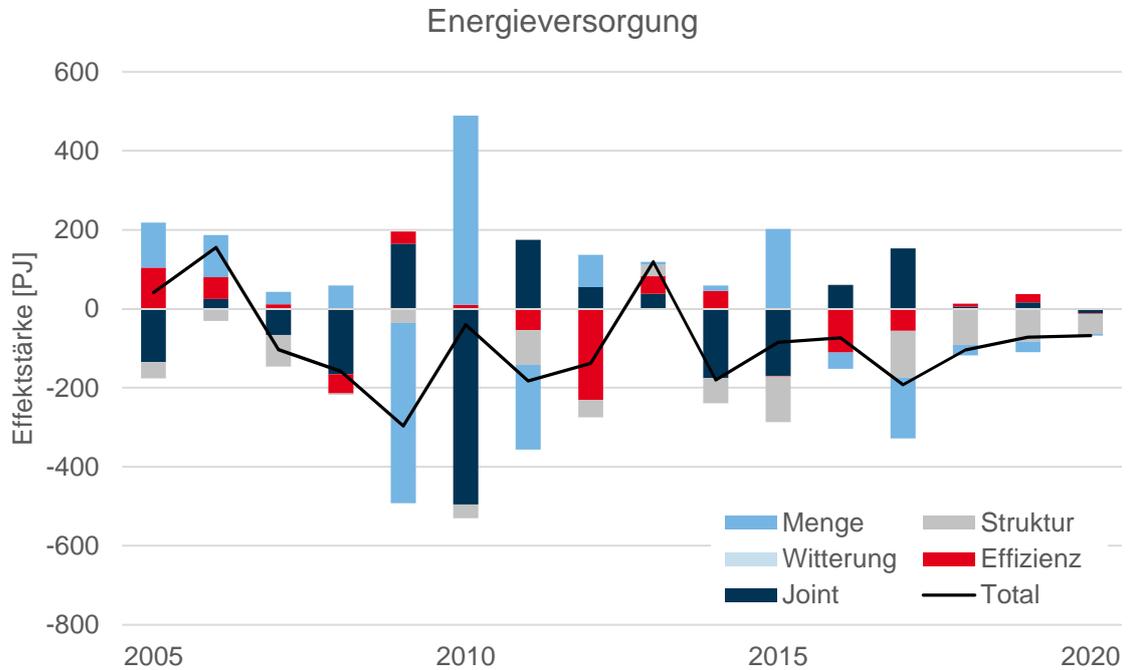
Quelle: Prognos

Abbildung 13: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für das Verarbeitende Gewerbe, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ



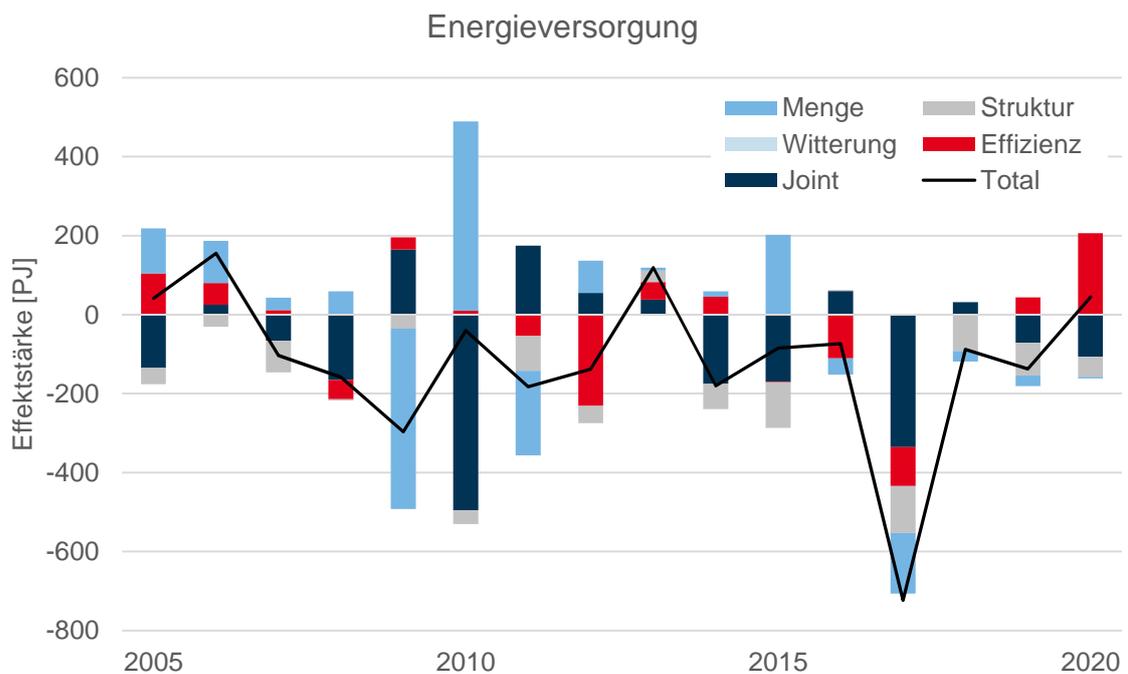
Quelle: Prognos

Abbildung 14: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für die Energieversorgung, BAU-Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ



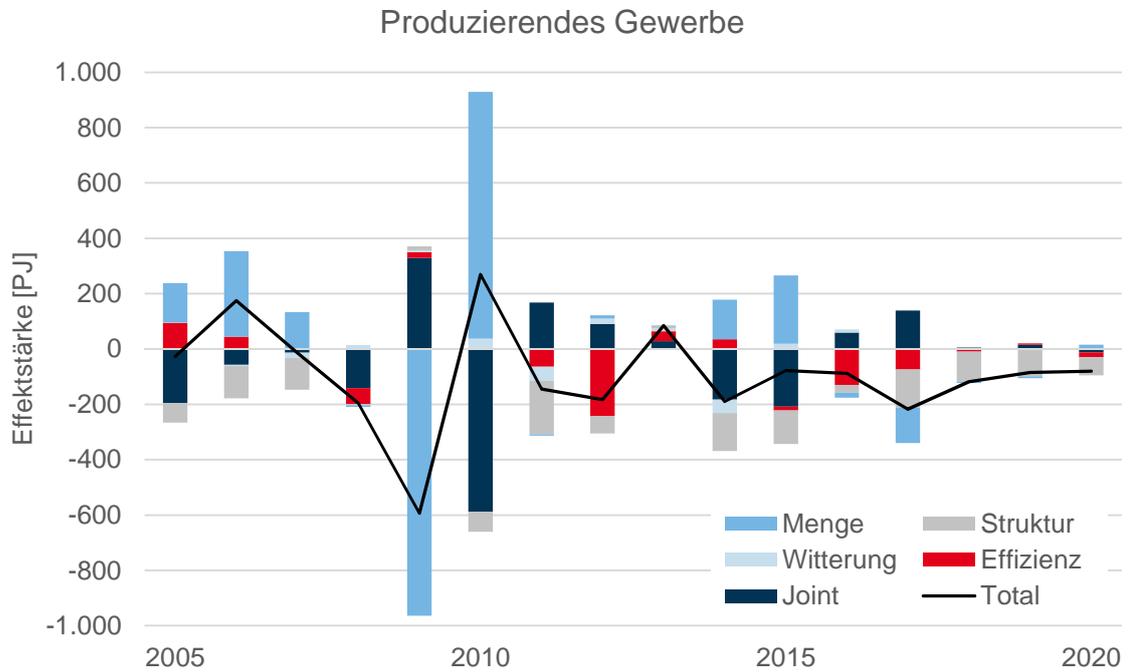
Quelle: Prognos

Abbildung 15: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für die Energieversorgung, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ



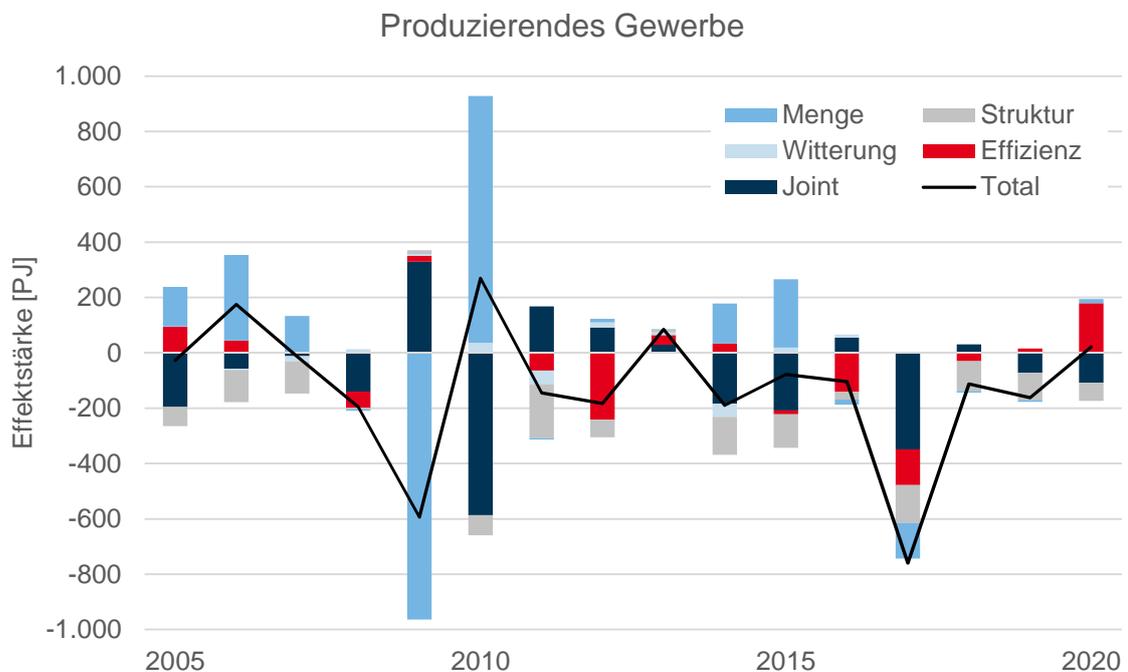
Quelle: Prognos

Abbildung 16: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für das Produzierende Gewerbe, BAU-Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ



Quelle: Prognos

Abbildung 17: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs für das Produzierende Gewerbe, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ

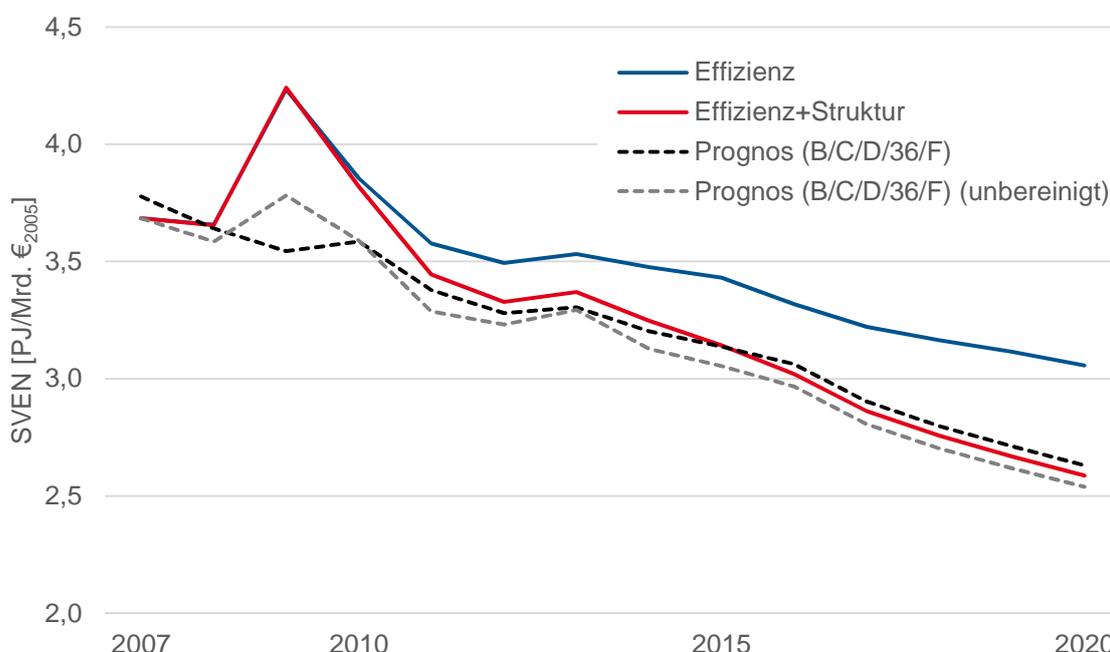


Quelle: Prognos

Bereinigte Energieintensität

Abbildung 18 zeigt die potenzielle Entwicklung der Energieintensität (SVEN) des Produzierenden Gewerbes¹⁶ unter Berücksichtigung nur einzelner Effekte. So wird einmal nur der Effizienzeffekt berücksichtigt, denn dieser ist der eigentliche Treiber einer Effizienzsteigerung im Sinne eines technischen Fortschritts bzw. einer Maßnahmenumsetzung. Zudem wird der Effizienzeffekt mit dem Struktureffekt kombiniert, was in etwa der Definition der Energieintensität aus der Vereinbarung entspricht. Der Einfluss von Mengenänderungen, der Witterung oder den Nichtlinearitäten wird explizit *nicht* der Änderung der Energieintensität zugeschrieben.

Abbildung 18: Energieintensität (SVEN) für das Produzierende Gewerbe, ausschließlich Effizienz- bzw. Effizienz- und Struktur-getrieben, BAU-Szenario für die Jahre 2007 - 2020, in PJ/Mrd. €₂₀₀₅



Quelle: Prognos

Die Energieintensitäten basierend auf den Faktoren „Effizienz+ Struktur“ sowie „Prognos (B/C/D/36/F)“ (berechnet im vorigen Abschnitt) bzw. „Prognos (B/C/D/36/F) (unbereinigt)“ (d. h. ohne Auslastungsberreinigung) entwickeln sich etwa parallel zueinander, während die Energieintensität basierend auf der bloßen Effizienz (Effizienzeffekt laut Faktorzerlegung) einen geringeren Rückgang aufweist. Die daraus abgeleiteten Abweichungen der Zielwerte (jährliche prozentuale Veränderung der kumulierten Energieintensität gegenüber dem Referenzzeitraum) zeigt Tabelle 15:

¹⁶ Die Ergebnisse der Effekterlegung liegen prinzipiell sektorscharf vor, werden für diese Untersuchung jedoch auftragsgemäß summiert als Produzierendes Gewerbe dargestellt.

- Der gesetzliche Zielwert der deutschen Wirtschaft 2020 von 10,65 % wird bereits durch den isolierten Effizienzeffekt mit einer Einsparung von 18,5 % deutlich übertroffen.
- Die erreichte Senkung der Energieintensität basierend auf dem Effizienz- und Struktureffekt reicht noch etwas über die kumulierte Energieintensitätsreduktion hinaus: Statt 25,6 % sind es 30,0 %.
In der vorigen Abbildung wird ersichtlich, dass sich innerhalb des Basiszeitraums der 2009er-Ausreißer der Weltwirtschaftskrise befindet. Für die SVEN-Berechnungen mit den Zahlen der Faktorzerlegung wurde keine Auslastungsberichtigung vorgenommen, weshalb der gemittelte Basiszeitraum als Vergleichspunkt höher liegt als mit Auslastungsberichtigung. Aus diesem Grund wurde in der Abbildung und der Tabelle vergleichend der unberichtigte SVEN aufgenommen. 2020 ergibt sich für den unberichtigten SVEN eine Energieintensitätsenkung von 28,0 % – deutlich näher an den 30,0 % Energieintensitätsreduktion auf Grundlage des Effizienz- und Struktureffekts.

Tabelle 15: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012 für das Produzierende Gewerbe, BAU-Szenario, in %

	ex-post			ex-ante					Ø	Ø
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	'13-'20 p.a.	'13-'19 p.a.
<i>gesetzlicher Zielwert für das Produzierende Gewerbe</i>	1,3	2,6	3,9	5,25	6,6	7,95	9,3	10,65	1,33	1,33
Prognos (B/C/D/36/F)	6,5	9,4	11,2	13,6	17,8	20,8	23,2	25,6	3,19	3,32
Prognos (B/C/D/36/F), unberichtigt	6,6	11,3	13,4	16,1	20,4	23,3	25,7	28,0	3,50	3,68
Determinanten										
Effizienz	5,8	7,3	8,5	11,5	14,1	15,6	16,9	18,5	2,31	2,42
Effizienz + Struktur	8,8	12,1	15,0	18,3	22,6	25,4	27,8	30,0	3,75	3,97

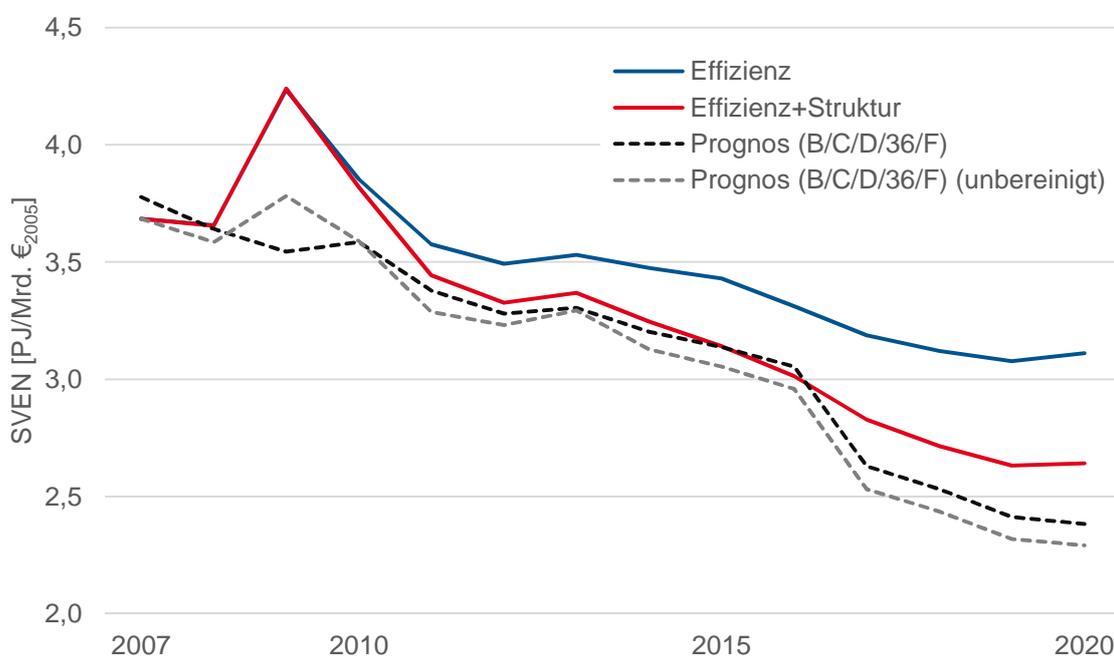
Quelle: Prognos

Eine analoge Betrachtung für das Ambitionierte Szenario unterscheidet sich nicht wesentlich vom BAU-Szenario, da der definitive Unterschied zwischen beiden Szenarien bei den Nachfragesektoren gerade die Effizienzentwicklung betrifft (und nicht die anderen Effekte beeinflusst). Bei der Energieversorgung stellt sich der Unterschied zwischen beiden Szenarien jedoch anders dar: Hier wird bis 2020 kaum Effizienzfortschritt erwartet. Stattdessen nimmt die Produktion von Biokraftstoffen ab 2020 deutlich zu¹⁷, was zu einem Verbrauchszuwachs führt. In Summe gleichen sich die gegenläufigen Trends aus dem Nachfrage- und dem Umwandlungssektor annähernd aus (vgl. Abbildung 19 und Tabelle 16) –

¹⁷ Die höhere Biokraftstoffproduktion ist eine Annahme des Ambitionierten Szenarios (des Energiewendeszenarios).

noch 2019 sind (wie zu erwarten) die gesamten Einsparungen des Ambitionierten Szenarios höher als diejenigen des BAU-Szenarios. Ergänzend wurde in Tabelle 15 und Tabelle 16 eine Spalte mit der durchschnittlichen jährlichen Reduktion nicht nur zwischen 2013 und 2020 sondern auch zwischen 2013 und 2019 ausgewiesen. So verzerrt der die 2020 einsetzende Biokraftstoffproduktion bei der Energieversorgung (s.o.) nicht den bis 2019 herrschenden Trend und die beiden Szenarien sind besser miteinander vergleichbar.

Abbildung 19: Energieintensität (SVEN) für das Produzierende Gewerbe, ausschließlich Effizienz- bzw. Struktur-getrieben, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ/Mrd. €₂₀₀₅



Quelle: Prognos

Tabelle 16: Kumulierte Reduktion der Energieintensität (SVEN) bzgl. Referenzzeitraum 2007 - 2012 für das Produzierende Gewerbe, Ambitioniert Szenario, in %

	ex-post			ex-ante					Ø	Ø
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	'13-'20 p.a.	'13-'19 p.a.
gesetzlicher Zielwert für das Produzierende Gewerbe	1,3	2,6	3,9	5,25	6,6	7,95	9,3	10,65	1,33	1,33
Prognos (B/C/D/36/F)	6,5	9,4	11,2	13,8	25,6	28,4	31,7	32,6	4,07	4,53
Prognos (B/C/D/36/F), unbereinigt	6,6	11,3	13,4	16,3	28,2	30,9	34,2	35,0	4,38	4,89
Determinanten										
Effizienz	5,8	7,3	8,5	11,7	15,0	16,8	17,9	17,0	2,13	2,56
Effizienz + Struktur	8,8	12,2	15,0	18,4	23,5	26,5	28,8	28,5	3,56	4,11

Quelle: Prognos

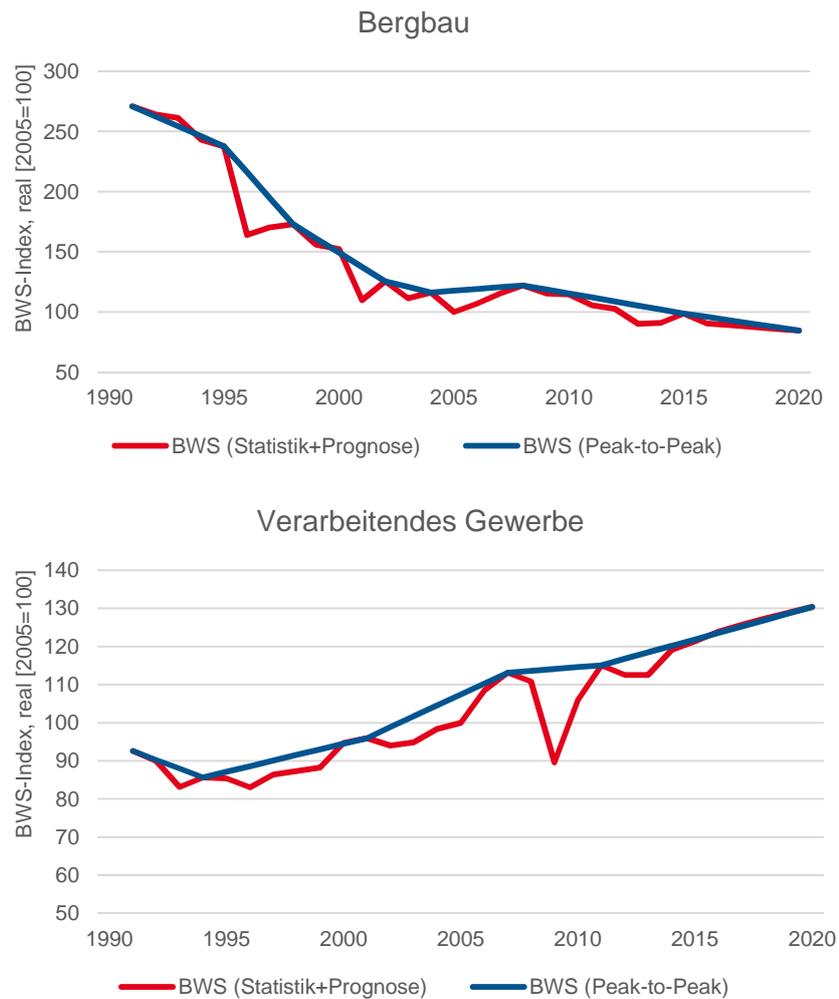
Für die dargestellten Ergebnisse beider Szenarien gilt, dass zwischen 2016 und 2020 die jeweiligen Effizienzeffekte den kombinierten Effekt aus Effizienz- und Struktureffekt dominieren – obwohl der Struktureffekt in absoluten Größen fast durchweg energieverbrauchsenkender wirkt (vgl. Abbildung 16 und

Abbildung 17). Dies ist eine Eigenschaft der SVEN-Berechnungsmethodik, welche nur den relativen Unterschied bezüglich der Basisperiode ausweist.

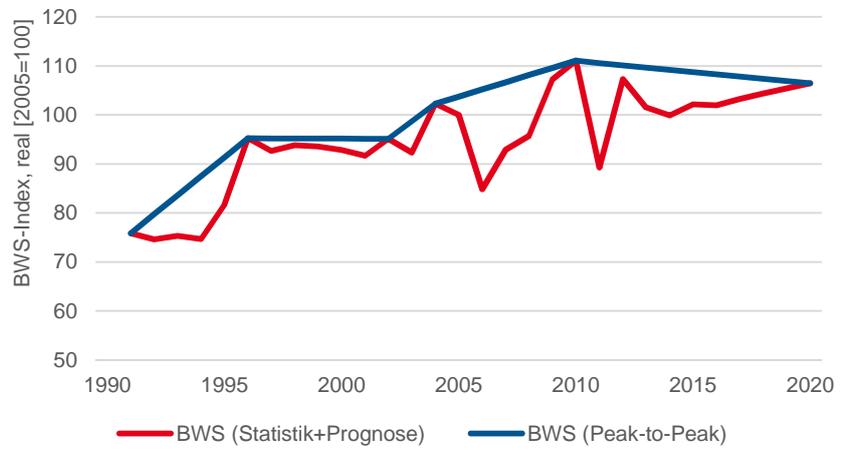
5 Anhang

5.1 Abbildungen

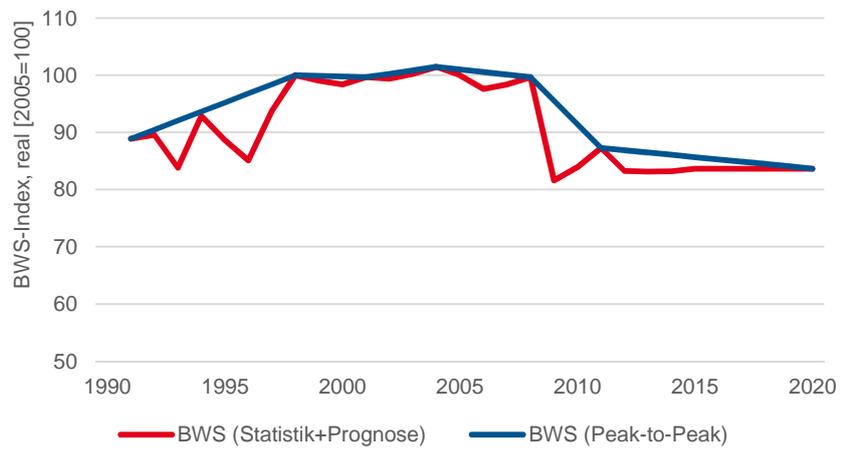
Abbildung 20a-g: Bruttowertschöpfung und deren Peak-to-Peak-Entwicklung, nach Sektoren, in Indexeinheiten (2005=100)



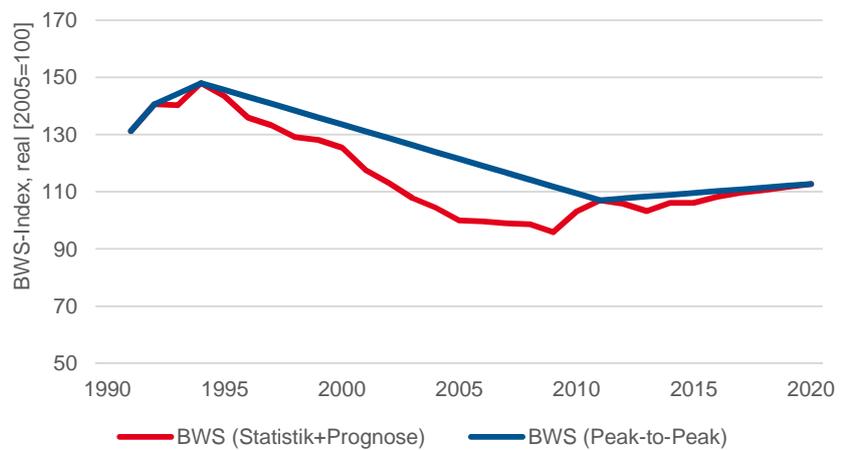
Energieversorgung



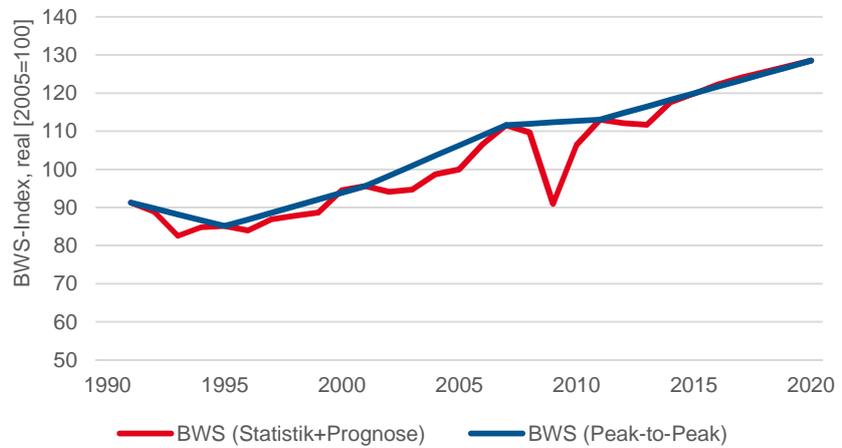
Wasserversorgung



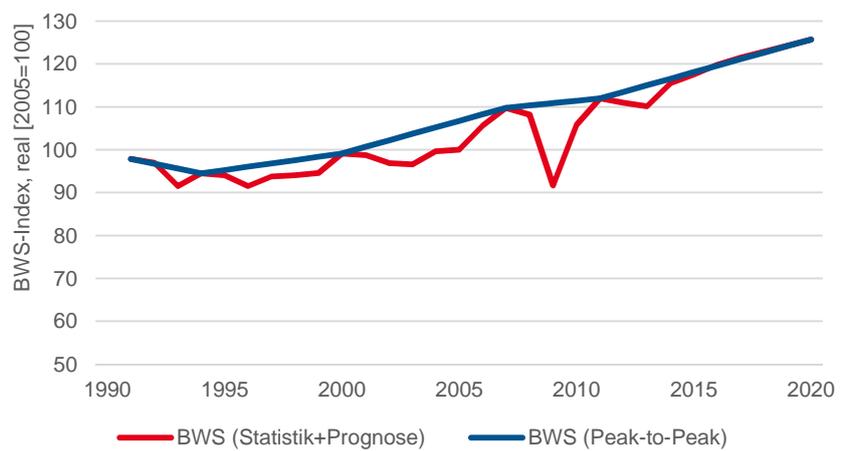
Baugewerbe



Industrie und Energieversorgung



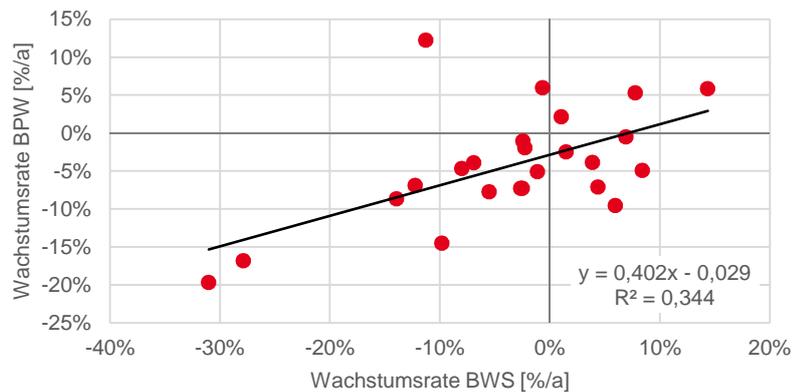
Produzierendes Gewerbe



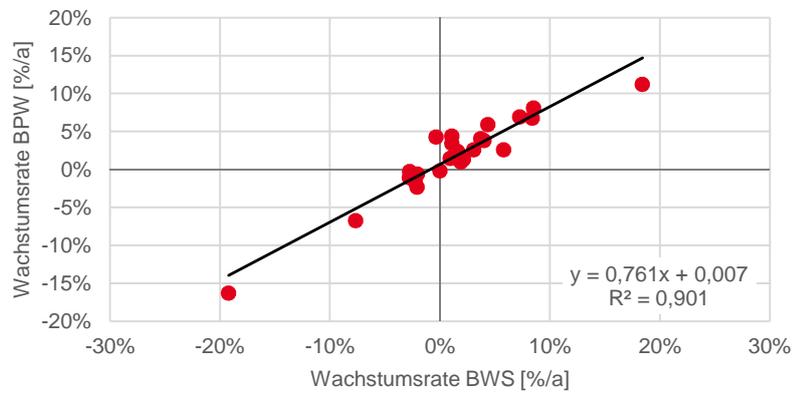
Quelle: [StaBu 2017], Prognos

Abbildung 21a-e: Korrelation der Wachstumsraten von Bruttowertschöpfung und Bruttoproduktionswert nach Sektoren für die Jahre 1991 - 2015, in %/a

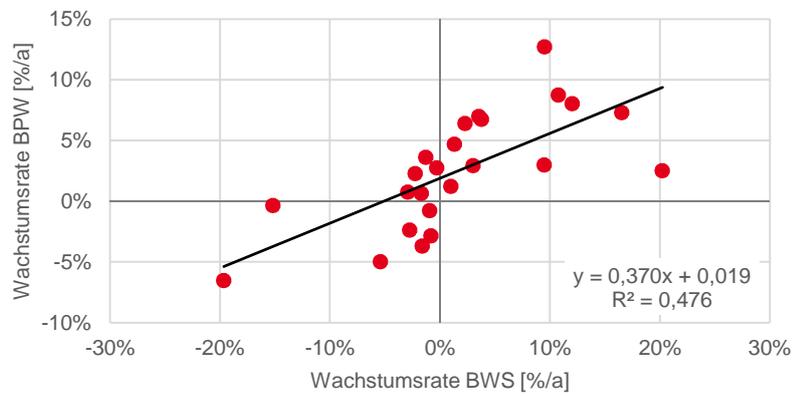
Bergbau



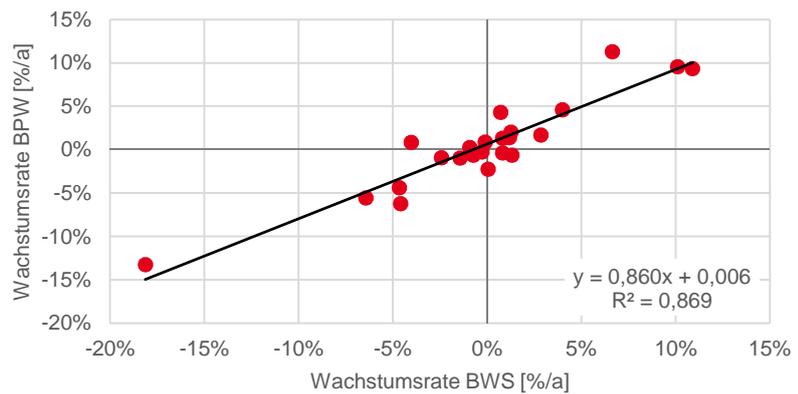
Verarbeitendes Gewerbe

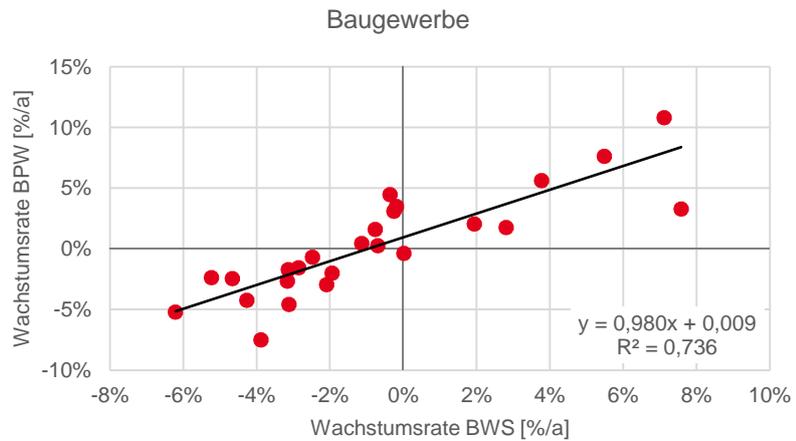


Energieversorgung



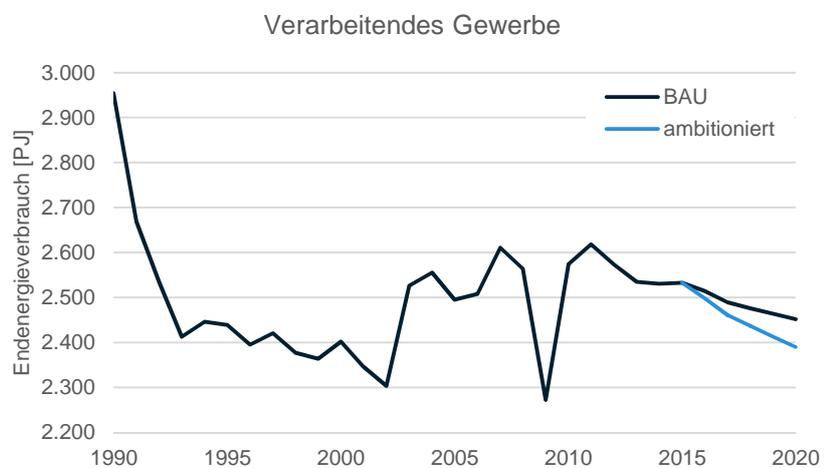
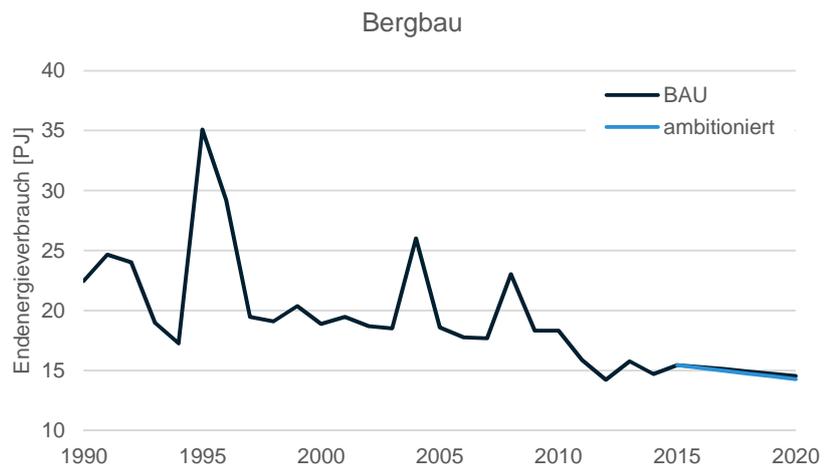
Wasserversorgung

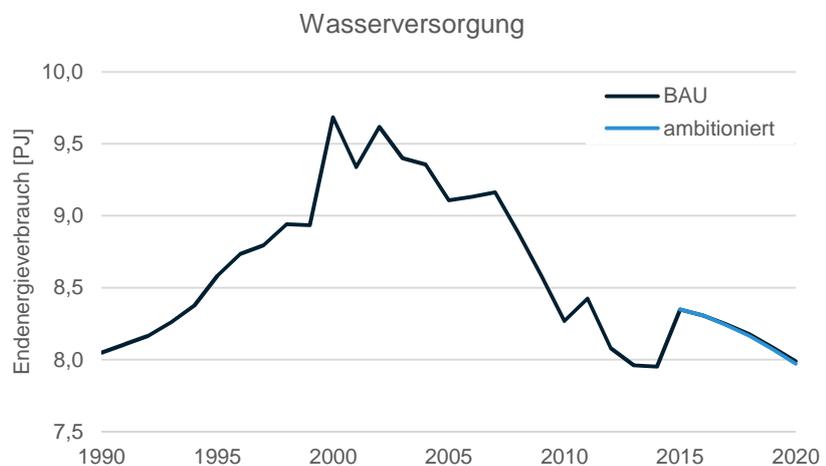
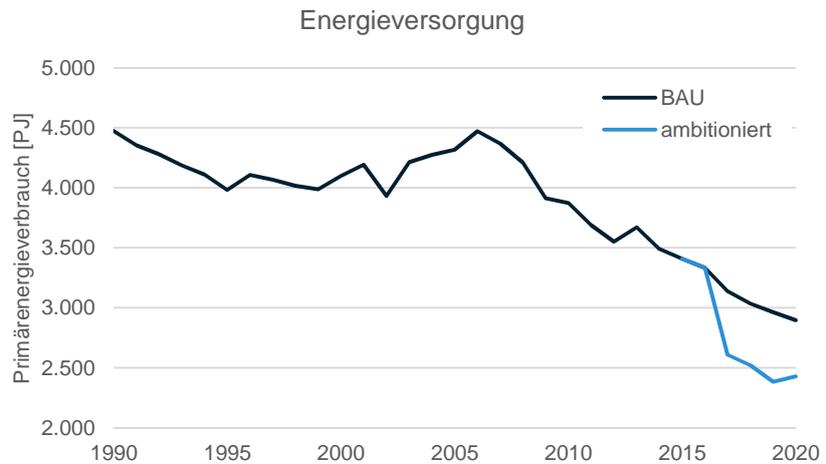




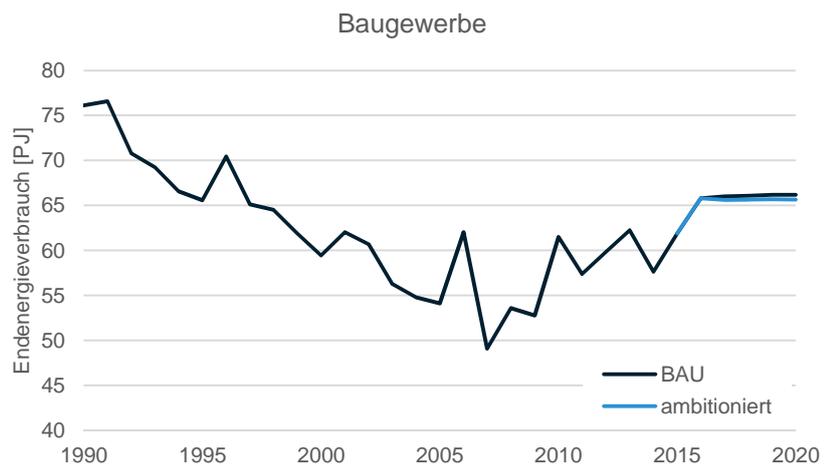
Quelle: [StaBu 2017]

Abbildung 22a-g: Endenergie- bzw. Primärenergieverbrauch nach Sektoren und Szenarien für die Jahre 1990 - 2020, in PJ





18

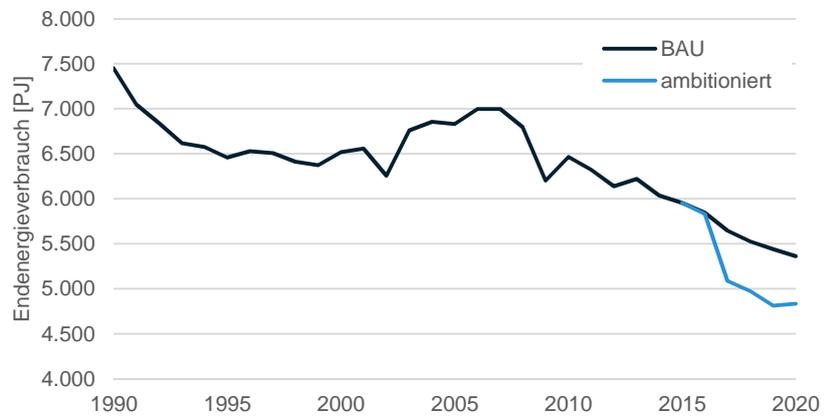


19

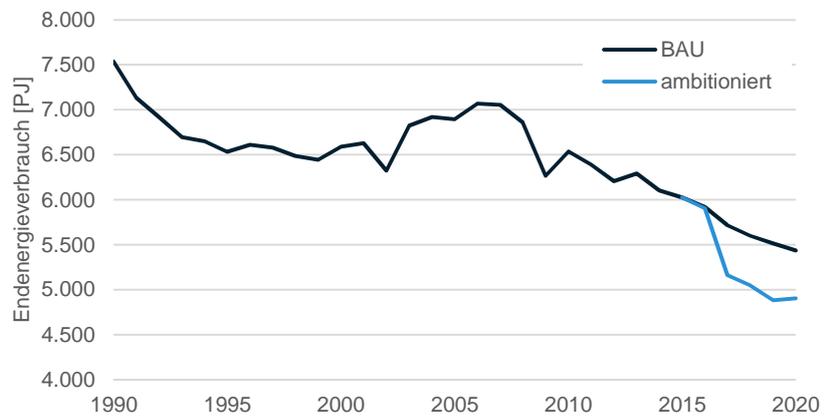
¹⁸ Der Energieverbrauch für die Wasserversorgung stieg im Jahr 2015 parallel zur allgemeinen Wirtschaftsentwicklung an: die Bruttowertschöpfung stieg um 1,4 % im Jahr 2015 gegenüber 2014 an, nach zwei Jahren rückläufigem Wachstum.

¹⁹ 2015 stieg der Verbrauch im Baugewerbe hauptsächlich aufgrund einer kühleren Witterung im Vergleich zu 2014 an (2014 war das wärmste Jahr seit 1990). Dadurch wurde mehr Energie für den Raumwärmebedarf benötigt.

Industrie und Energieversorgung

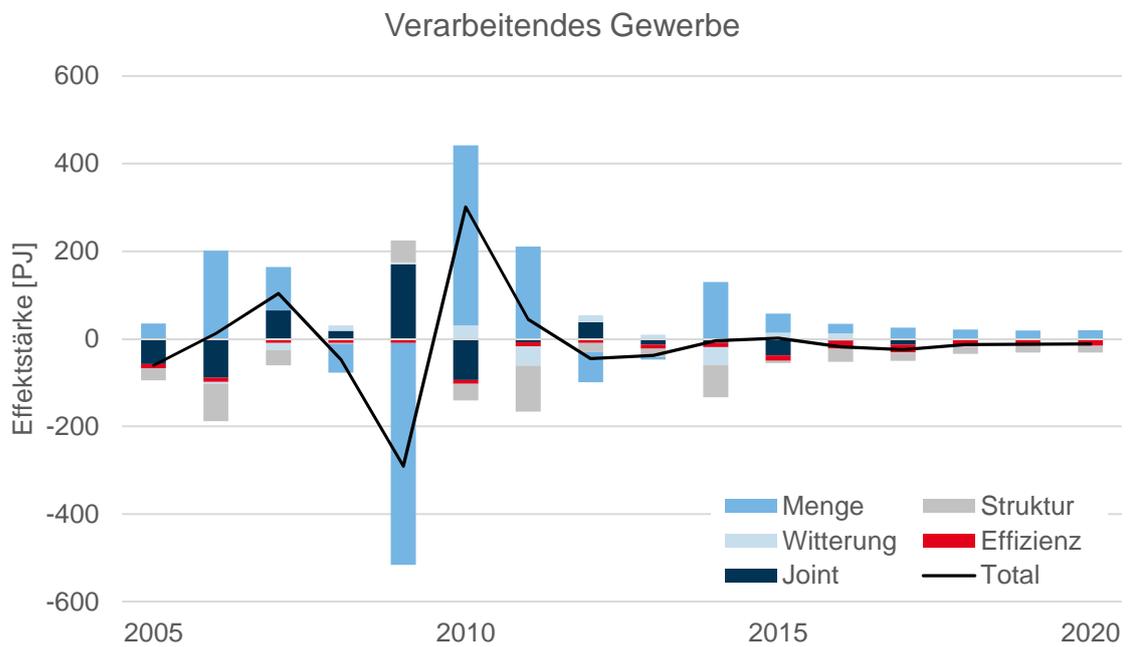
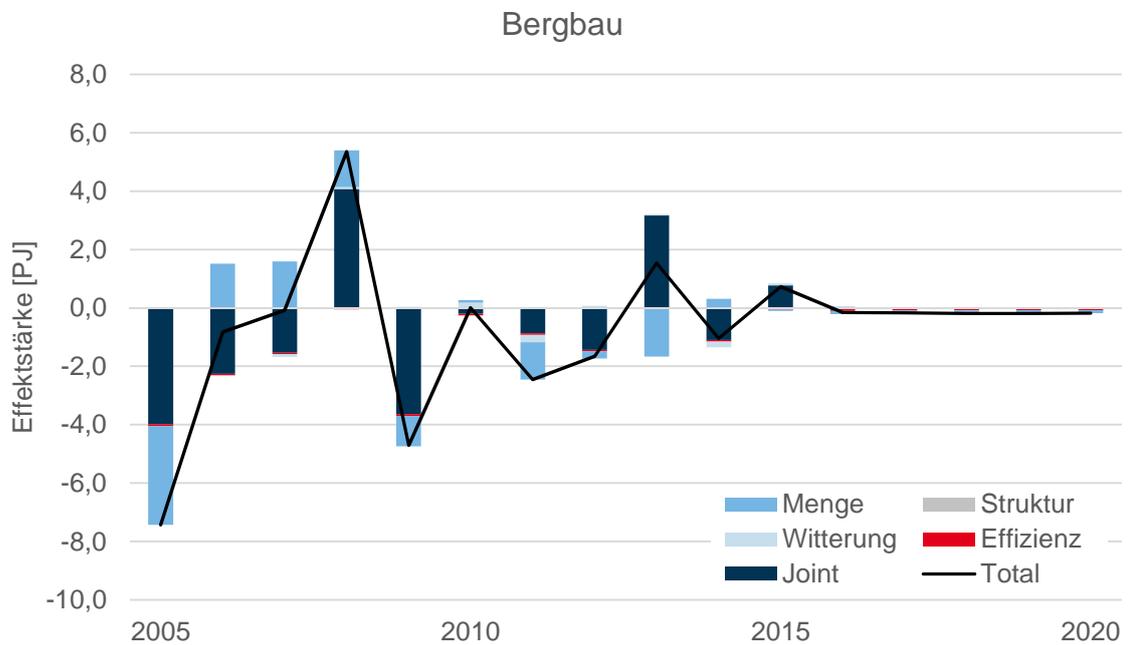


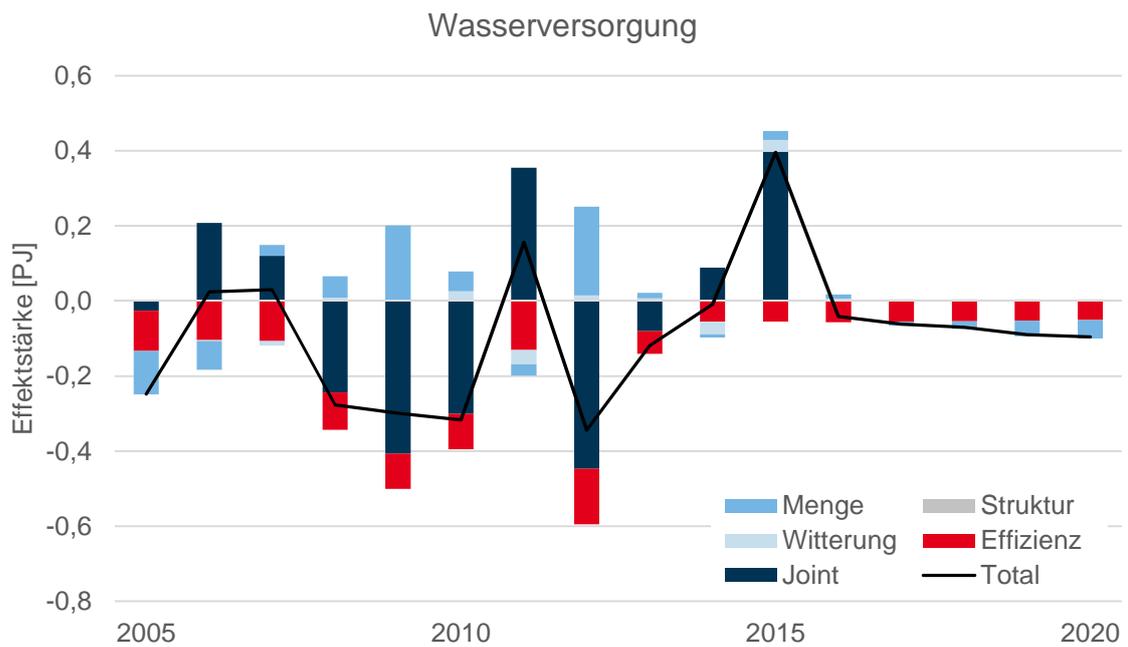
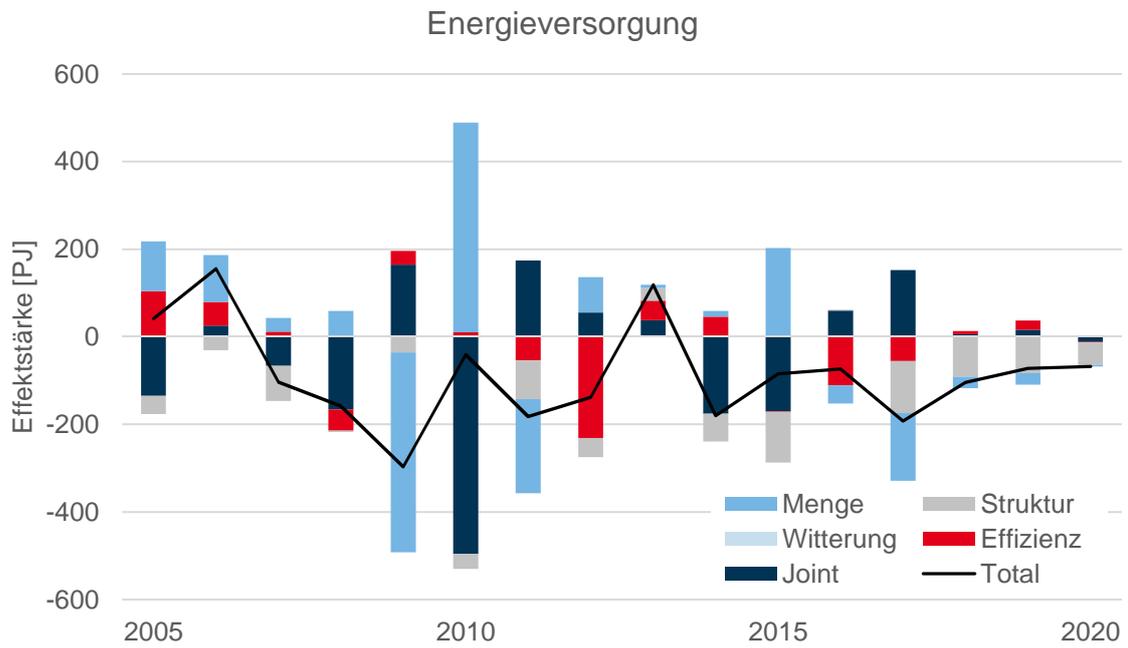
Produzierendes Gewerbe

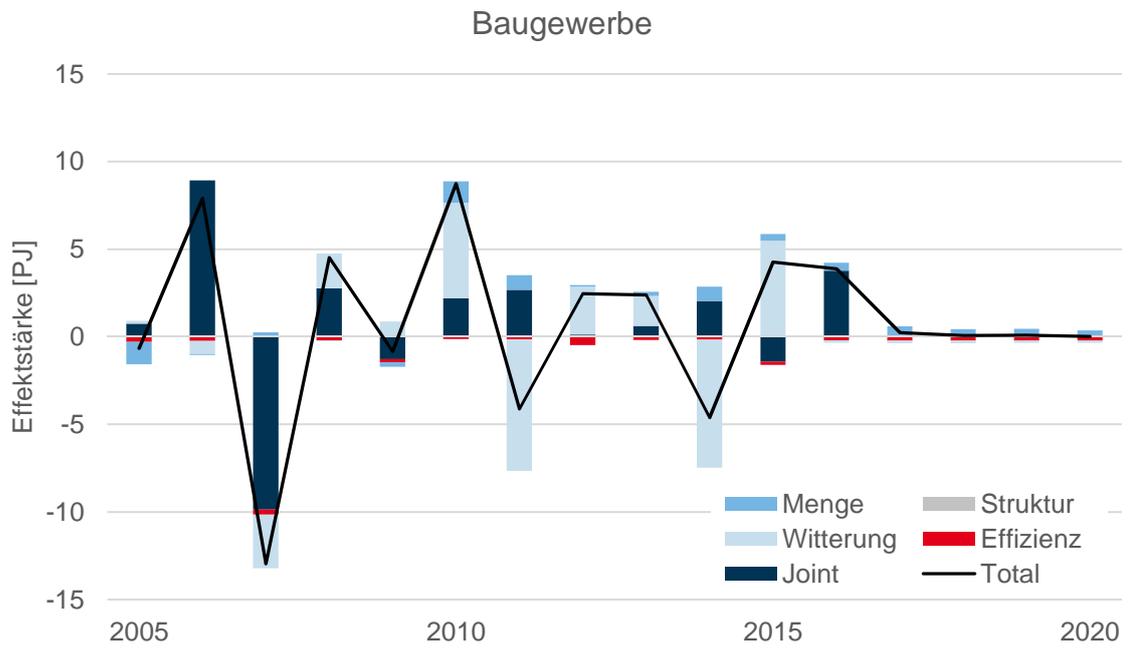


Quelle: [AGEB 2017a], Prognos

Abbildung 23a-f: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs nach Sektoren, BAU-Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ

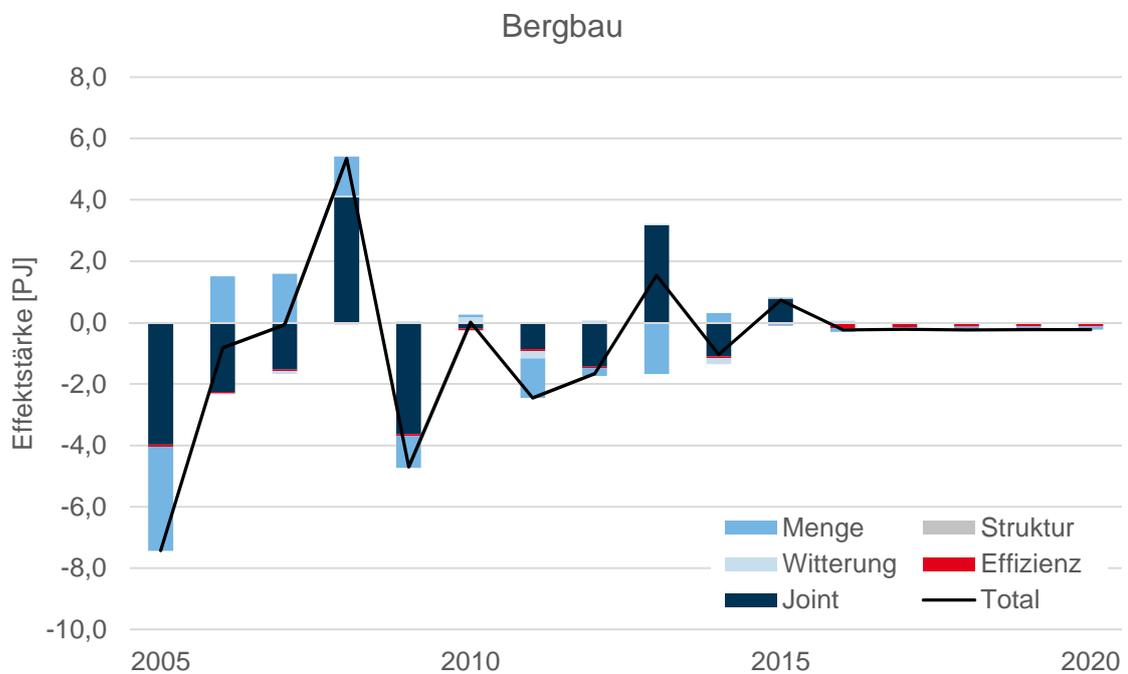


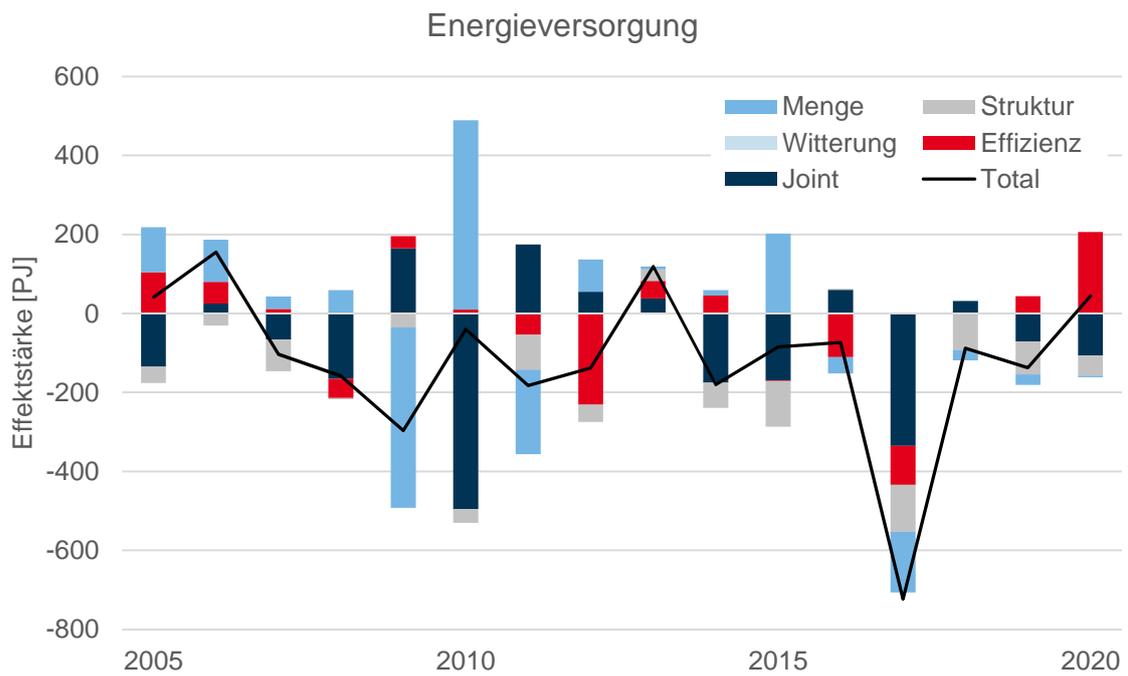
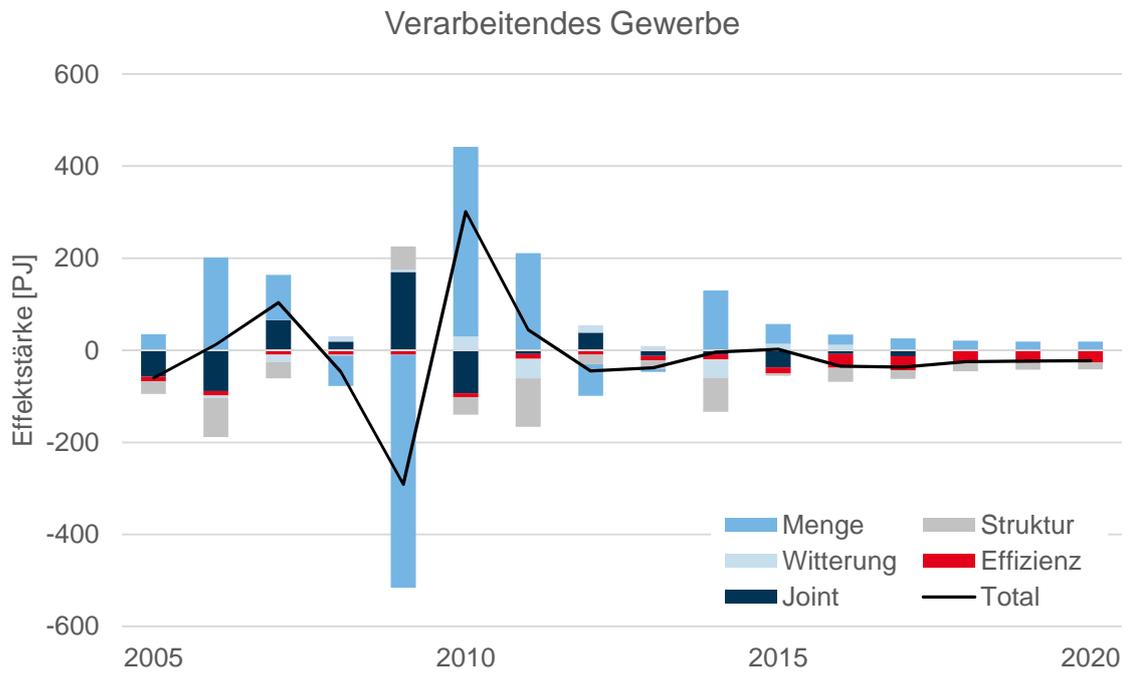


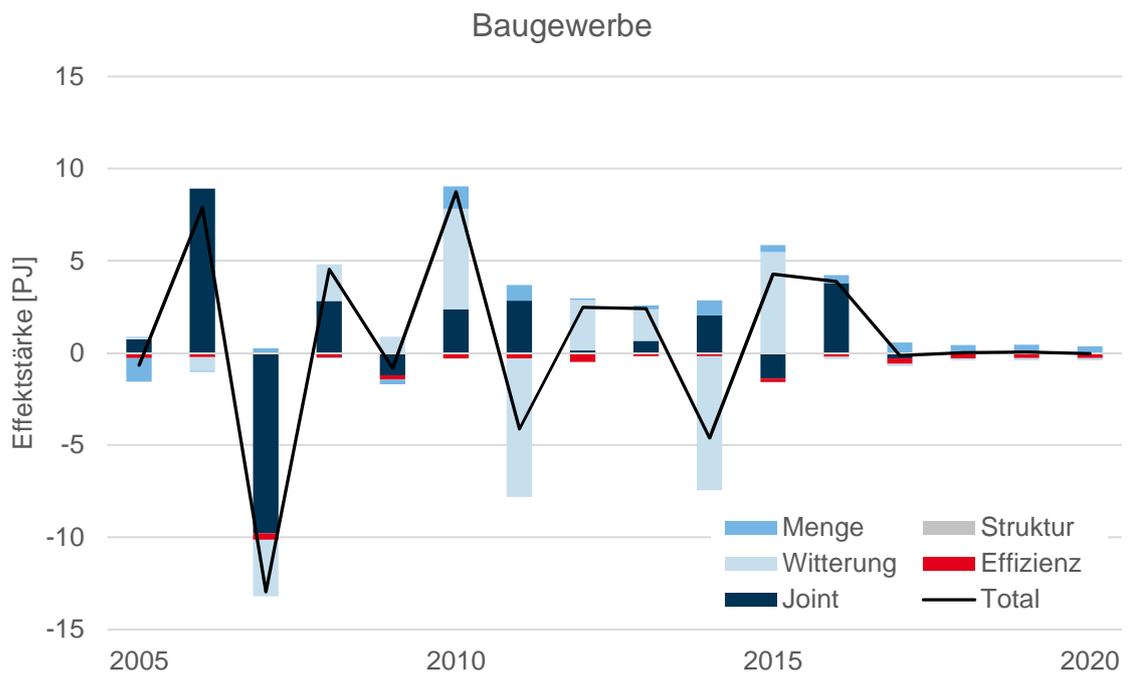
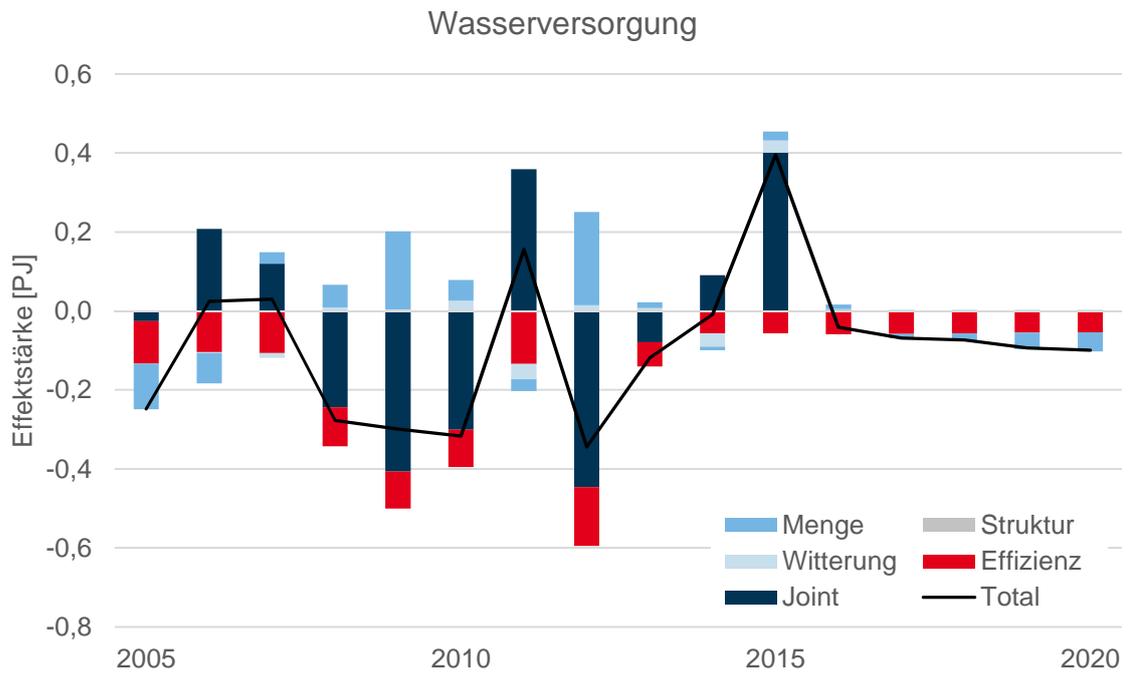


Quelle: Prognos

Abbildung 24a-f: Effekte der Änderung des Energieverbrauchs nach Sektoren, Ambitioniertes Szenario für die Jahre 2005 - 2020, in PJ







Quelle: Prognos

5.2 Literatur

- [AGEB 2017a] Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2016, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (diese Quelle liefert ebenfalls die Energieverbräuche für alle Jahre von 1990 bis 2015)
- [AGEB 2017b] Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2016, Datenstand Juli 2017, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
- [BMWi 2017] Energiedaten, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, vom 4.10.2017
- [Bundesanzeiger 2012] Bekanntmachung der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Steigerung der Energieeffizienz, BAnz AT 16.10.2012 B1
- [Destatis 2014a] Preise und Preisindizes für gewerbliche Produkte, Artikelnummer 2170200141104, Stand 20.11.2014, Ausgabe Oktober 2014, Statistisches Bundesamt
- [Destatis 2014b] Inlandsproduktberechnung 2013. Detaillierte Jahresergebnisse. Fachserie 18 „Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen“, Reihe 1.4., Statistisches Bundesamt
- [Destatis 2015] Bevölkerung Deutschlands bis 2060 – 13. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Statistisches Bundesamt
- [Destatis 2006-2015] Stromerzeugungsanlagen der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe sowie im Bergbau und in der Gewinnung von Steinen und Erden, Fachserie 4 Reihe 6.4
- [GWS et al. 2018] Gesamtwirtschaftliche Wirkungen der Energiewende, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH (GWS), Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (Projekt 21/15), in Zusammenarbeit mit Fraunhofer ISI, DIW Berlin, DLR und Prognos, *in Arbeit, noch nicht publiziert*
- [IEA 2014] World Energy Outlook 2014, International Energy Agency (IEA)
- [ISI et al. 2013] Endenergieverbrauch des GDH-Sektors in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010, Fraunhofer ISI, IREES, GfK, IfE
- [Prognos et al. 2014] Entwicklung der Energiemärkte – Energieferenzprognose, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für

Wirtschaft und Technologie (Projekt 57/12), in Zusammenarbeit mit dem Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität zu Köln (EWI) und der Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturfor- schung mbH (GWS)

[RWI 2002] Die Klimaschutzklärung der deutschen Industrie vom März 1996 – eine abschließende Bilanz, Monitoring-Bericht 2000, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

[RWI 2014] Verifikation der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Steigerung der Energieeffizienz vom 1. August 2012 (Monitoring 2013), Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

[RWI 2015] Verifikation der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Steigerung der Energieeffizienz vom 1. August 2012 (Monitoring 2014), Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

[RWI 2016] Verifikation der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Steigerung der Energieeffizienz vom 1. August 2012 (Monitoring 2015), Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

[RWI 2017] Verifikation der Vereinbarung zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der deutschen Wirtschaft zur Steigerung der Energieeffizienz vom 1. August 2012 (Monitoring 2016), Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung

[StaBu 2008] Gliederung der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008), Statistisches Bundesamt

[StaBu 2017] Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Detaillierte Jahresergebnisse 2016, Statistisches Bundesamt

[UBA 2017] Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015, Umweltbundesamt (UBA)

5.3 Abkürzungen

AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
bbf	Barrel
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BPW	Bruttoproduktionswert
BWS	Bruttowertschöpfung
CCS	Carbon Capture and Storage
EEV	Endenergieverbrauch
η	Wirkungsgrad
GuD	Gas- und Dampfturbine
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
PEV	Primärenergieverbrauch
PtL	Power to Liquid
RMS	Root Mean Square, Wurzel aus Summe der Quadrate