

Endbericht

# **Energie- und Klimaschutz- szenarien für das Land Bremen**

Aktualisierung mit Zeithorizont 2020

Freie Hansestadt Bremen  
Der Senator für Umwelt,  
Bau und Verkehr

Ansprechpartner:  
Samuel Straßburg

Alex Auf der Maur  
Dr. Alexander Piégsa  
Florian Ess  
Dr. Andreas Kemmler  
Sylvie Koziel  
Sven Kreidelmeyer  
Dr. Almut Kirchner

Basel, 30. Juni 2017

## Das Unternehmen im Überblick

Geschäftsführer  
Christian Böllhoff

Präsident des Verwaltungsrates  
Dr. Jan Giller

Handelsregisternummer  
Berlin HRB 87447 B

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 entwickeln wir praxisnahe Entscheidungsgrundlagen und Zukunftsstrategien für Unternehmen, öffentliche Auftraggeber sowie internationale Organisationen.

Arbeitsprachen  
Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz  
Prognos AG  
Henric Petri-Str. 9  
4010 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](mailto:info@prognos.com)  
[www.prognos.com](http://www.prognos.com)  
[twitter.com/prognos\\_ag](https://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 28083591-910

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

<b>1</b>	<b>Einleitung und zentrale Ergebnisse</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Methodik</b>	<b>5</b>
2.1	Szenariendefinition	5
2.2	Szenarienerstellung, Regionalisierungsmethodik und Bilanzierungslogik	6
2.3	Abgrenzung nach KEP-Systematik	8
<b>3</b>	<b>Rahmenannahmen und -daten</b>	<b>10</b>
3.1	Bevölkerung	10
3.2	Wirtschaftliche Rahmendaten	11
3.3	Neubautätigkeit und Entwicklung der Wohnflächen	13
3.4	Nationale und internationale Energiepolitik	14
3.5	Energiepreisentwicklung	15
<b>4</b>	<b>Referenzszenario</b>	<b>16</b>
4.1	Sektorübergreifende Entwicklungen des Endenergieverbrauchs und der CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik (ohne Stahlindustrie)	16
4.2	Endenergieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik der Industrie exklusive Stahlindustrie und Sonstige Wirtschaftszweige/Abfallverbrennung	20
4.3	Endenergieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik der Sektoren Private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	22
4.4	Endenergieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik des Verkehrssektors	23
4.5	Entwicklung der spezifischen Emissionen von Strom und Fernwärme	25
4.6	Endenergieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik der Stahlindustrie	26
<b>5</b>	<b>Maßnahmen zur Reduzierung des Endenergieverbrauchs und zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Klimaschutzszenario</b>	<b>29</b>
5.1	Sektorübergreifende Betrachtung der Maßnahmenwirkung	29
5.2	Maßnahmen der Industrie (ohne Stahlindustrie)	30
5.3	Maßnahmen im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	32
5.4	Maßnahmen im Sektor Private Haushalte	35
5.5	Maßnahmen im Sektor Verkehr	37
5.6	Maßnahmen im Umwandlungsbereich	39
5.7	Gesamtwirkung der Maßnahmen auf die CO <sub>2</sub> -Emissionen	40
5.8	Maßnahmen der Stahlindustrie	42
<b>6</b>	<b>Klimaschutzszenario</b>	<b>43</b>
6.1	Sektorübergreifende Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik (ohne Stahlindustrie)	43

6.2	Endenergieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik der Industrie ohne Stahlindustrie und Sonstige Wirtschaftszweige/Abfallverbrennung	47
6.3	Endenergieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik der Sektoren Private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	49
6.4	Endenergieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik des Verkehrssektors	51
6.5	Entwicklung der spezifischen Emissionen von Strom und Fernwärme	52
6.6	Endenergieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen gemäß KEP-Systematik der Stahlindustrie	53
<b>7</b>	<b>Szenarienvergleich: Klimaschutzszenario versus Referenzszenario</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>Weitere Maßnahmenvorschläge</b>	<b>60</b>
<b>9</b>	<b>Sensitivitätsbetrachtung zum Kraftwerksbereich</b>	<b>72</b>
<b>10</b>	<b>Vergleich mit den Ergebnissen des Klimaschutzszenarios 2010</b>	<b>74</b>
10.1	Vergleich der Entwicklungen von Endenergieverbrauch und CO <sub>2</sub> -Emissionen im Zeitverlauf	74
10.2	Vergleich der sozioökonomischen Rahmendaten	77
10.3	Detaillierter Vergleich der Ergebnisse im Jahr 2020	80
10.4	Effektzerlegung der Abweichung der CO <sub>2</sub> -Emissionen im Jahr 2020	91
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>101</b>
<b>12</b>	<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b>	<b>103</b>
<b>13</b>	<b>Tabellenanhang</b>	<b>105</b>
13.1	Referenzszenario	105
13.2	Klimaschutzszenario	106

# 1 Einleitung und zentrale Ergebnisse

Das Land Bremen verfolgt das Ziel, die (energiebedingten) Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) bis zum Jahr 2020 um mindestens 40 % gegenüber 1990 zu senken. Diese Zielsetzung bezieht sich auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Endenergieverbrauch im Land Bremen (mit Ausnahme der Stahlindustrie) entstehen. Beim Verbrauch von Strom und Fernwärme entstehen keine direkten Emissionen. Mit der Produktion der beiden Energieträger sind jedoch indirekte Emissionen verbunden. Auf Basis des aktuell bestehenden Anlagenparks werden jeweils spezifische Emissionen ermittelt und dem Endenergieverbrauch von Strom und Fernwärme die verursachten Emissionen zugeordnet. Das CO<sub>2</sub>-Minderungsziel ist vom Senat im Rahmen des Klimaschutz- und Energieprogramms (KEP) 2020 am 15. Dezember 2009 beschlossen worden. Es ist außerdem Bestandteil der Zielbestimmungen des Bremischen Klimaschutz- und Energiegesetzes (BremKEG) vom 24. März 2015.

Durch das handlungsorientierte KEP, das sich auf quantitativ erarbeitete Szenarien für das gesamte Energiesystem des Landes Bremen stützt, werden die Ziele zusätzlich konkretisiert [Freie Hansestadt Bremen, 2010]. Seit der Erstellung der letzten Szenarienarbeit in den Jahren 2009/2010 [BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010] haben sich sowohl die soziodemografischen und ökonomischen Rahmendaten als auch die Rahmensetzungen durch die Klimaschutz- und Energiepolitik auf nationaler und europäischer Ebene erheblich verändert.

Um eine Standortbestimmung der Entwicklungen des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen, sowie des Klimaschutzes vorzunehmen und dabei die Wirkung der bereits beschlossenen sowie der aktuell geplanten Maßnahmen auf Ebene des Bundeslandes abzuschätzen, werden die Klimaschutz- und Energieszenarien für das Land Bremen in der vorliegenden Studie aktualisiert. Dabei handelt es sich zum einen um ein Referenzszenario, das die bundespolitischen Strategien, Instrumente und Maßnahmen auf Basis der aktuellen Rahmenbedingungen abbildet, sowie um ein Klimaschutzszenario, in dem die Auswirkungen von zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen auf Landes- und kommunaler Ebene in Ergänzung zu den Maßnahmen auf Bundesebene abgeschätzt werden.

Um den Handlungsspielraum des Landes aufzuzeigen, wird im Referenzszenario der hypothetische Fall untersucht, dass auf Landes- und kommunaler Ebene die bestehenden Klimaschutzprogramme nicht weiter fortgeführt werden. Das Klimaschutzszenario geht hingegen davon aus, dass die

Klimaschutzmaßnahmen auf Landes- und kommunaler Ebene im Zeitraum 2016 bis 2020 weitergeführt werden. Hierbei werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die im Arbeitsentwurf der KEP-Fortschreibung (Stand: 9. Februar 2016) [SUBV, 2016] enthalten sind. In beiden Szenarien wird für die Bundespolitik eine einheitliche Fortführung der bestehenden Klimaschutzanstrengungen unterstellt.

Die Erstellung des Referenzszenarios für das Land Bremen basiert auf einer Regionalisierung der Referenzprognose im Auftrag der Bundesregierung [Prognos/EWI/GWS, 2014]. Die Regionalisierung erfolgt für die einzelnen Verbrauchssektoren (Private Haushalte [PHH], Gewerbe, Handel, Dienstleistungen [GHD], Industrie und Verkehr), wobei jeweils der Energieverbrauch durch Bottom-up-Modelle unter Berücksichtigung von regionalen Rahmen- und Strukturdaten (vgl. Kapitel 3) und der Vergangenheitsentwicklung des Energieverbrauchs gemäß Energiestatistik fortgeschrieben. Daneben werden bisherige Maßnahmen auf Ebene des Landes und der Kommunen in ihrer Wirkung auf Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen untersucht und der hypothetische Pfad abgebildet, dass die Maßnahmen seit 2016 nicht fortgeführt werden.

Das Klimaschutzszenario wird ausgehend vom Referenzszenario durch Abbildung der untersuchten Maßnahmenwirkung des Arbeitsentwurfs der KEP-Fortschreibung (Stand: 9. Februar 2016) definiert [SUBV, 2016].

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde keine detaillierte Evaluation von Maßnahmen durchgeführt. Die Wirkungsabschätzungen der Maßnahmen basieren einerseits auf Zielen und Planwerten der Programme, andererseits auf Evaluationen der Maßnahmenwirkung in der Vergangenheit, vergleichbaren Maßnahmen auf Bundesebene und bekannten Rahmendaten.

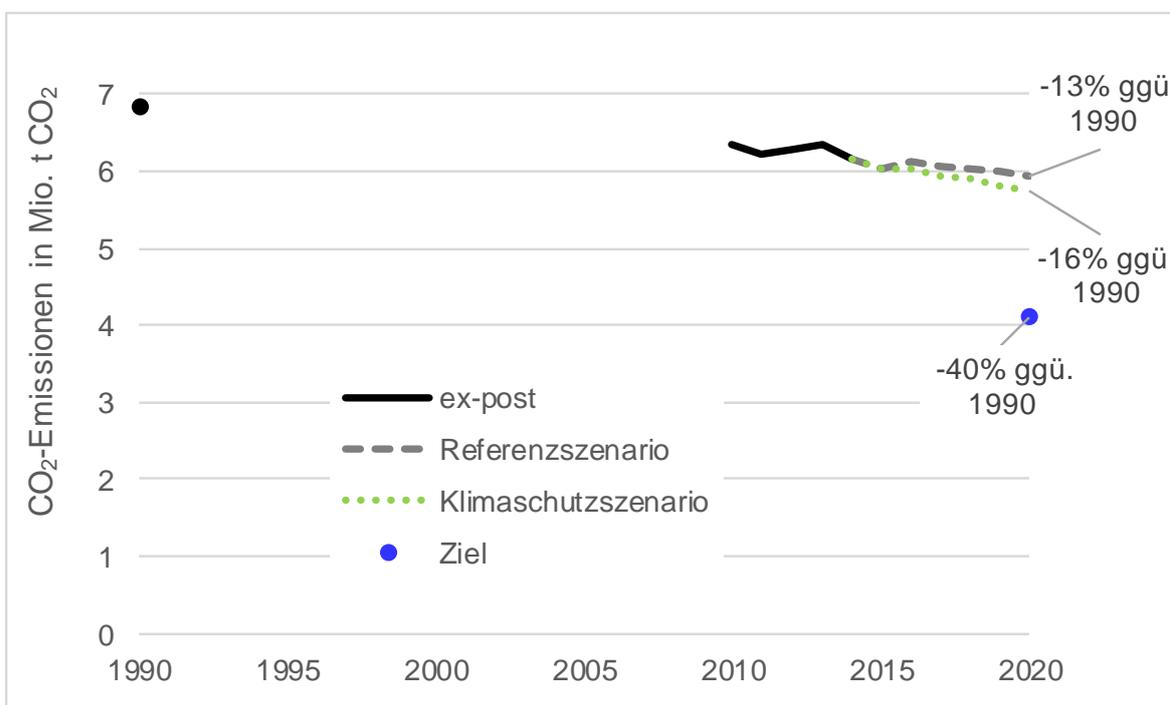
Die neuen Szenarien knüpfen konzeptionell und methodisch an die vorliegenden Energie- und Klimaschutzszenarien für das Land Bremen an [BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010]. Insbesondere wird die gleiche Methodik der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung (nachfolgend als KEP-Systematik bezeichnet) verwendet. Die neuen Szenarien sind damit sowohl mit den vorliegenden Szenarien als auch mit den Ergebnissen der jährlichen CO<sub>2</sub>-Berichterstattung des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr unmittelbar vergleichbar.

Im vorliegenden Bericht werden zunächst die Methodik der Szenarien (Kapitel 2) und der Bilanzierung sowie die für die Entwicklung bis 2020 unterstellten Rahmendaten beschrieben (Kapitel 3). Anschließend werden die Ergebnisse des Referenzszenarios (Kapitel 4), die untersuchten Maßnahmen

(Kapitel 5), sowie die Ergebnisse des Klimaschutzszenarios (Kapitel 6) vorgestellt. Die Ergebnisse der beiden Szenarien werden in Kapitel 7 verglichen und in Kapitel 8 werden mögliche weitere Maßnahmen eingeschätzt. Ergänzend wird in Kapitel 9 untersucht, welche Auswirkung ein Einsatz eines Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerks (GuD-Kraftwerk) gemäß ursprünglicher Planung hätte und in Kapitel 10 wird das vorliegende Klimaschutzszenario mit dem Klimaschutzszenario der Vorgängerstudie aus dem Jahr 2010 verglichen.

Im Jahr 2020 liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik<sup>1</sup> des Bundeslandes Bremen ohne Emissionen der Stahlindustrie im Referenzszenario bei 5,95 Mio. t und damit 13% unter den CO<sub>2</sub>-Emissionen des Jahres 1990 (vgl. Abbildung 1-1). Im Klimaschutzszenario liegt der entsprechende Wert bei 5,76 Mio. t und damit 16% unter dem Wert von 1990. Damit wird eine zusätzliche Absenkung um drei Prozentpunkte erreicht, wenngleich das Ziel einer Minderung von mindestens 40% in beiden Szenarien deutlich verfehlt wird.

Abbildung 1-1: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik 1990 bis 2020 Ex-post-Entwicklung, Szenarienvergleich Referenz-, Klimaschutzszenario und Ziel, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>



Quellen: für die Jahre 1990, 2010 bis 2014: KEP-Bilanz, ab 2015: eigene Berechnungen

<sup>1</sup> Die CO<sub>2</sub>-Emissionen beinhalten die direkten Emissionen, die bei Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brenn- und Treibstoffe entstehen, exklusive der Emissionen bei Verbrennung von Biomasse, zu welcher insbesondere auch die Hälfte des Abfalls gerechnet wird. Daneben werden indirekte Emissionen für Strom- und Wärmenutzung angerechnet. Es werden dabei spezifische Emissionsfaktoren der Kommunen verwendet, die lokale Erzeugungsanlagen und Stromimporte berücksichtigen. Diese Emissionsfaktoren werden für die Szenarien auf Basis des aktuell vorhandenen Anlagenparks berechnet.

## 2 Methodik

Nachfolgend werden zunächst die Philosophie der beiden Szenarien beschrieben, die verwendete Modelllogik und die spezielle Bilanzierung von Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen nach KEP-Bilanz erläutert.

### 2.1 Szenariendefinition

Das Referenzszenario beschreibt den hypothetischen Fall, dass bestehende Maßnahmen des KEP auf Ebene des Bundeslandes und der Kommunen seit 2016 nicht weiter fortgeführt werden. Auf Bundesebene wird eine Politik unterstellt, nach der die energie- und Klimaschutzpolitischen Anstrengungen weiter verschärft werden und die Politik auf Anzeichen einer Zielverfehlung reagiert (vgl. Kapitel 3.4).

Das Klimaschutzszenario geht davon aus, dass die Klimaschutzmaßnahmen auf Landes- und kommunaler Ebene im Zeitraum 2016 bis 2020 weitergeführt werden. Hierbei werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die im Arbeitsentwurf der KEP-Fortschreibung (Stand: 9. Februar 2016) [SUBV, 2016] enthalten sind. Auf Ebene der Bundespolitik wird von einer gegenüber dem Referenzszenario unveränderten Klimaschutzpolitik ausgegangen. Die Bewertung der Maßnahmen, die den Unterschied zwischen dem Referenz- und dem Klimaschutzszenario definieren, erfolgte teilweise aufgrund der Annahme, dass Planwerte erreicht werden.

Bezüglich der Strom- und Wärmeerzeugung gehen sowohl das Referenz- als auch das Klimaschutzszenario davon aus, dass die Ende 2015 in Betrieb befindlichen Kraftwerke und Abfallbehandlungsanlagen der swb-Gruppe im bisherigen Umfang über das Jahr 2020 hinaus betrieben werden. Das neue GuD-Kraftwerk am Standort Mittelsbüren, das 2016 in Betrieb genommen wurde, wird nur im Klimaschutzszenario berücksichtigt. Hierbei wird angenommen, dass die Anlage mit einer geringen Auslastung von 1.000 Vollbenutzungsstunden/Jahr betrieben wird und die erzeugte elektrische Arbeit zu jeweils 50 % auf die Stromversorgung der Stadt Bremen und die – außerhalb des Bilanzrahmens liegende – Erzeugung von Fahrstrom für die Deutsche Bahn entfällt. Alle Annahmen zum Betrieb der Kraftwerke und Abfallbehandlungsanlagen der swb-Gruppe wurden mit der Betreiberin abgestimmt.

Im Bereich der dezentralen Stromerzeugung geht das Klimaschutzszenario davon aus, dass die Windkraft, die Photovoltaik (PV) und die dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gemäß dem Arbeitsentwurf der KEP-Fortschreibung (Stand: 9. Februar 2016) [SUBV, 2016] ausgebaut werden. Im Referenzszenario findet demgegenüber ab 2016 kein weiterer

Ausbau der Windkraft und der dezentralen KWK statt. Für die PV wird im Klimaschutzszenario ein moderater Ausbau der Kapazitäten um 1 MW<sub>peak</sub>/Jahr unterstellt. 50 % dieses Zubauvolumens werden auch im Referenzszenario berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass ein Teil des PV-Ausbaus auch ohne unterstützende Aktivitäten auf Landes- und kommunaler Ebene stattfinden würde.

## 2.2 Szenarienerstellung, Regionalisierungsmethodik und Bilanzierungslogik

Die Erstellung des Referenzszenarios für das Land Bremen basiert auf einer Regionalisierung der aktuellen energiewirtschaftlichen Referenzprognose des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie [Prognos/EWI/GWS, 2014]. Dabei wird der Energieverbrauch in den einzelnen Verbrauchssektoren (PHH, GHD, Industrie und Verkehr) durch Bottom-up-Modelle unter Berücksichtigung von regionalen Rahmen- und Strukturdaten (vgl. Kapitel 3) sowie der Vergangenheitsentwicklung des Energieverbrauchs fortgeschrieben.

Grundlage der Vergangenheitsentwicklung des Energieverbrauchs sind die KEP-Bilanzen der Jahre 2009 bis 2013. Darin wird der Energieverbrauch entsprechend der KEP-Methodik (vgl. Kapitel 2.3) nach 26 Energieträgern, drei Sektoren (Verarbeitendes Gewerbe, Verkehr und Summe der Sektoren PHH plus GHD) und regional (Bremen Stadt und Stadt Bremerhaven) differenziert. Der Energieverbrauch des Verarbeitenden Gewerbes wird weiter in 15 Branchen, der Energieverbrauch des Verkehrs nach vier Verkehrsträgern differenziert. Die in den Abbildungen ausgewiesenen Endenergieverbräuche und Emissionen des Jahres 2014 basieren auf der KEP-Bilanz des Jahres 2014, die im Laufe der Szenariendarstellung fertiggestellt wurde, sodass die entsprechenden Werte nachrichtlich übernommen werden konnten.

Die Modellierung des Endenergieverbrauchs des Industriesektors erfolgt für jede Branche mit Ausnahme der Stahlindustrie und der Sonstigen Wirtschaftszweige/Abfallverbrennung (Sonst. WZ/Abfall) basierend auf der jeweiligen Vergangenheitsentwicklung des branchenspezifischen Endenergieverbrauchs nach Energieträgern und der Entwicklung der Bruttowertschöpfung. Daneben werden branchenspezifische Informationen auf Bundesebene zu Wertdichteentwicklung und Anwendungsstruktur verwendet. Der Energieverbrauch wird jeweils anhand der Entwicklung der regionalen Bruttowertschöpfung sowie von Annahmen aus der Energiereferenzprognose der Bundesregierung zur Effizienzentwicklung und zur Energieträgersubstitution fortgeschrieben.

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Stahlindustrie wurde aus einer Prognose von ArcelorMittal Bremen übernommen. Für die Abfallverbrennung wurde von einem konstanten Energieeinsatz ab 2015 ausgegangen.

Im Verkehrssektor erfolgt die Modellierung des Endenergieverbrauchs analog zur Energiebilanz differenziert nach Verkehrsträgern: Straße, Schiene, Luft und Binnenschifffahrt. Im Straßenverkehr basiert die Modellierung auf der Bevölkerungsentwicklung, den Beständen der gemeldeten Fahrzeuge sowie durchschnittlichen Jahresfahrleistungen und spezifischen Verbräuchen auf Bundesebene unter Kalibrierung auf die Energiebilanz des Bundeslandes. Die Entwicklung des Energieverbrauchs der übrigen Verkehrsträger erfolgt ausgehend von den Mengenentwicklungen nach Verflechtungsprognose 2030 [Intraplan/BVU, 2014]. Die Effizienzentwicklung wurde für alle Verkehrsträger von der entsprechenden Entwicklung auf Bundesebene nach Energierferenzprognose übernommen.

Nach KEP-Bilanz liegt der Endenergieverbrauch von GHD und PHH nur in Summe vor. Deshalb wird der Verbrauch für beide Sektoren getrennt ohne Kalibrierung zunächst ausgehend von regionalen Strukturdaten anhand durchschnittlicher bundesdeutscher spezifischer Verbräuche modelliert. Die Kalibrierung auf die Bilanz erfolgt für die Summe beider Sektoren.

Grundlage für die Modellierung des Endenergieverbrauchs der PHH ist die Bevölkerungsentwicklung der beiden Kommunen Stadt Bremen und Bremerhaven, für die Stadt Bremen zusätzlich die Haushaltsprognose [Statistisches Landesamt Bremen, 2017b]. Es wurden Informationen zur Beheizungsstruktur aus dem Mikrozensus zur Wohnsituation 2010 [Statistisches Bundesamt, 2010] verwendet. Andere Modellparameter wie der spezifische Verbrauch für Raumwärme wurden aus der Referenzprognose übernommen. Der Energiebedarf für Raumwärme wurde witterungskorrigiert.

Die Prognose und Regionalisierung des Endenergieverbrauchs im Sektor GHD basiert auf der Entwicklung der Bruttowertschöpfung nach Branchen und den Erwerbstätigen nach Branchen. Der Energieverbrauch wird in Anlehnung an Modellparameter auf Bundesebene weiter nach Anwendungen aufgeteilt und die Effizienzentwicklung von der Energierferenzprognose der Bundesregierung übernommen.

Der sektorübergreifende Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik ergibt sich als Summe der Ergebnisse der einzelnen Sektormodelle und dient als Basis für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen beinhalten die direkten Emissionen, die bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brenn- und Treibstoffe entstehen, exklusive der Emissionen durch die Verbrennung von Biomasse, zu der insbesondere auch die Hälfte des Abfalls gerechnet wird. Die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Strom und Wärme wurden mit dem Berechnungsmodell des Statistischen Landesamtes ermittelt, das auch im Rahmen des jährlichen CO<sub>2</sub>-Monitorings eingesetzt wird. Das Berechnungsmodell bildet die einzelnen Kraftwerke und Abfallbehandlungsanlagen blockscharf ab und enthält darüber hinaus aggregierte Daten für die dezentralen Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen. Die Fortschreibung der Emissionsfaktoren erfolgte auf Basis von Angaben der swb-Gruppe zum künftigen Einsatz der Kraftwerke und Abfallbehandlungsanlagen sowie von Planwerten des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr zum Ausbau der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. In die Berechnung der Emissionsfaktoren gehen auch die Nachfrage nach Strom und die Höhe der Nettostromimporte ein.

Für die Bestimmung des Referenzszenarios werden bisherige KEP-Maßnahmen auf Ebene des Landes und der Kommunen in ihrer Wirkung auf Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen in den einzelnen Sektoren untersucht und der hypothetische Pfad abgebildet, nach dem die Maßnahmen seit 2016 nicht fortgeführt werden.

Die einzelnen Maßnahmen sowie das Vorgehen zur Abschätzung der Maßnahmenwirkung werden in Kapitel 5 dargelegt.

Das Klimaschutzszenario wird ausgehend vom Referenzszenario durch Abbildung der untersuchten Maßnahmenwirkung des Arbeitsentwurfs der KEP-Fortschreibung (Stand: 9. Februar 2016) [SUBV, 2016] abgebildet.

## 2.3 Abgrenzung nach KEP-Systematik

Die mit dieser Studie vorgelegten Klimaschutzszenarien knüpfen konzeptionell und methodisch an die früheren Energie- und Klimaschutzszenarien für das Land Bremen an [BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010]. Insbesondere wird die gleiche Methodik der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung (KEP-Systematik) verwendet und nachfolgend erläutert.

Im Rahmen der KEP-Systematik werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Abfallverbrennungsanlagen vollständig der Funktion der Abfallentsorgung zugeordnet. Sowohl die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Abfallverbrennung als auch der Energieinhalt der verbrannten Abfälle werden dementsprechend – im Unterschied zur Abgrenzung des Endenergieverbrauchs in den deutschen

Energiebilanzen – dem Sektor Industrie zugerechnet und nicht dem Umwandlungseinsatz bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung.

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt nach dem Konzept der Verursacherbilanz auf der Basis des Endenergieverbrauchs nach KEP-Systematik. Hierbei werden sowohl die direkten Emissionen der fossilen Brenn- und Treibstoffe als auch die indirekten Emissionen durch die Nutzung von Strom, Nah- und Fernwärme bilanziert. Für die Berechnung der indirekten Emissionen werden spezifische Emissionsfaktoren für die Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven verwendet, welche die lokalen Erzeugungsanlagen und Stromimporte berücksichtigen. Diese Emissionsfaktoren werden für die Szenarien auf der Basis des aktuell vorhandenen Anlagenparks sowie des zu erwartenden Zubaus von Strom- und Wärmeerzeugungsanlagen berechnet. Die Strom- und Wärmeerzeugung in Abfallverbrennungsanlagen wird hierbei als emissionsfrei betrachtet, da die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Abfallverbrennung vollständig der Funktion der Abfallentsorgung zugerechnet werden (siehe oben).

In die Berechnung der Emissionsfaktoren für elektrischen Strom werden alle Erzeugungsanlagen einbezogen, die in die Stromversorgungsnetze der Stadtgemeinden Bremen und Bremerhaven einspeisen. Unberücksichtigt bleiben das Kraftwerk Farge, das in das überregionale Verbundnetz einspeist, sowie die Erzeugung von Fahrstrom für die Deutsche Bahn im Kraftwerk Mittelsbüren der swb-Gruppe. Die Zurechnung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien erfolgt nach dem Territorialprinzip, d. h. in die Berechnung der Emissionsfaktoren gehen alle Anlagen ein, die sich auf dem Gebiet der Stadtgemeinde Bremen bzw. der Stadtgemeinde Bremerhaven befinden. Dementsprechend wird angenommen, dass kein erneuerbarer Strom importiert wird. Für die Bewertung der Stromimporte wird der mittlere CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des deutschen Strommixes ohne erneuerbare Stromerzeugung zugrunde gelegt.

### 3 Rahmenannahmen und -daten

Nachfolgend werden die Rahmenannahmen und -daten, die den Klimaschutzszenarien zugrunde liegen, beschrieben. Dabei wird auf die angenommene Bevölkerungsentwicklung, die wirtschaftlichen Rahmendaten, Neubautätigkeiten und die Entwicklung der Wohnflächen, nationale und internationale Energiepolitik und die Energiepreise eingegangen.

#### 3.1 Bevölkerung

Die unterstellte Bevölkerungsentwicklung des Landes Bremen sowie der Städte Bremen und Bremerhaven ist in Tabelle 3-1 angegeben und in Abbildung 3-1 abgebildet. Für die Aktualisierung der Energie- und Klimaschutzszenarien wurde die Bevölkerungsvorausschätzung des Statistischen Landesamtes Bremen vom August 2016 zugrunde gelegt, die auf einer Fortschreibung der Ergebnisse des Zensus 2011 basiert.<sup>2</sup> Zwischen 2015 und 2020 wird für das Land von einem Wachstum um insgesamt 2,1 % auf dann 685.500 Einwohner ausgegangen. Das Wachstum in Bremerhaven fällt dabei leicht höher aus als in der Stadt Bremen.

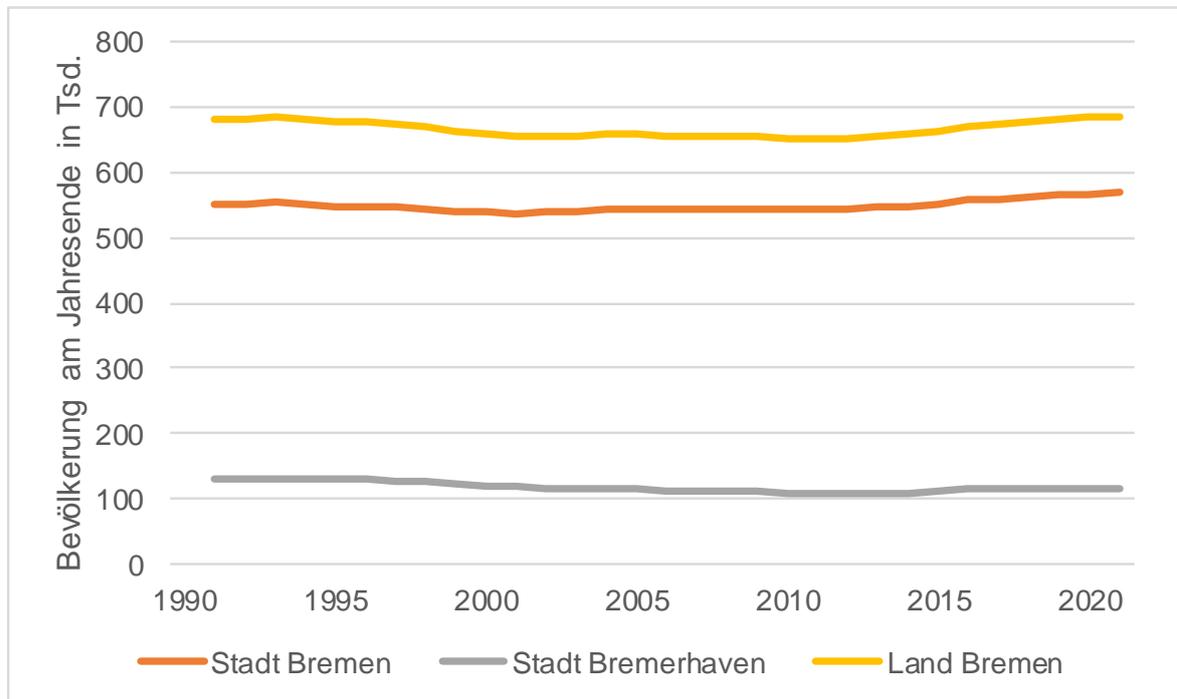
*Tabelle 3-1: Entwicklung der Bevölkerung in Stadt Bremen, Stadt Bremerhaven und Land Bremen, in Tsd. Einwohnern*

	1990	2005	2010	2013	2015	2020
Stadt Bremen	551	544	543	549	558	569
Stadt Bremerhaven	130	113	109	109	114	117
Land Bremen	681	657	658	657	672	686

*Quellen: Statistisches Landesamt Bremen, 2016; bis 2010 zensus-korrigierte Ist-Werte, 2011 bis 2015 Ist-Werte, ab 2016 Vorausberechnung, Abweichungen zwischen Land und Summe der Kommunen aufgrund von Rundungen*

<sup>2</sup> Der Zensus 2011 führte sowohl in der Stadt Bremen als auch in Bremerhaven zu einer Korrektur der Einwohnerzahlen, die in Bremerhaven mit einer Reduzierung der Einwohnerzahl um 4.843 Personen (-4,29%) vergleichsweise deutlich ausfiel [vgl. Statistisches Landesamt Bremen, Statistische Mitteilungen, Heft 116, S. 18]. Der Magistrat der Stadt Bremerhaven bewertet die auf Basis des Zensus 2011 festgestellte Einwohnerzahl als unrealistisch und nicht plausibel und hat deshalb nach der Feststellung der Zensusergebnisse den Rechtsweg beschritten. Das Verfahren ist noch nicht abgeschlossen. Der Magistrat der Stadt Bremerhaven geht davon aus, dass die Einwohnerzahl Bremerhavens um etwa 4.000 Personen höher liegt als mit dem Zensus 2011 festgestellt. Nach der Bevölkerungsvorausschätzung des Statistischen Landesamtes wird für Bremerhaven ein Anstieg der Einwohnerzahl von 114.025 (2015) auf 116.740 (2020) erwartet. Würde man die vom Magistrat der Stadt Bremerhaven als realistisch betrachtete Einwohnerzahl zugrunde legen, ergäbe sich ein Wachstum von 118.025 (2015) auf 120.740 (2020) Personen.

Abbildung 3-1: Entwicklung der Bevölkerung in Stadt Bremen, Stadt Bremerhaven und Land Bremen, in Tsd. Einwohnern

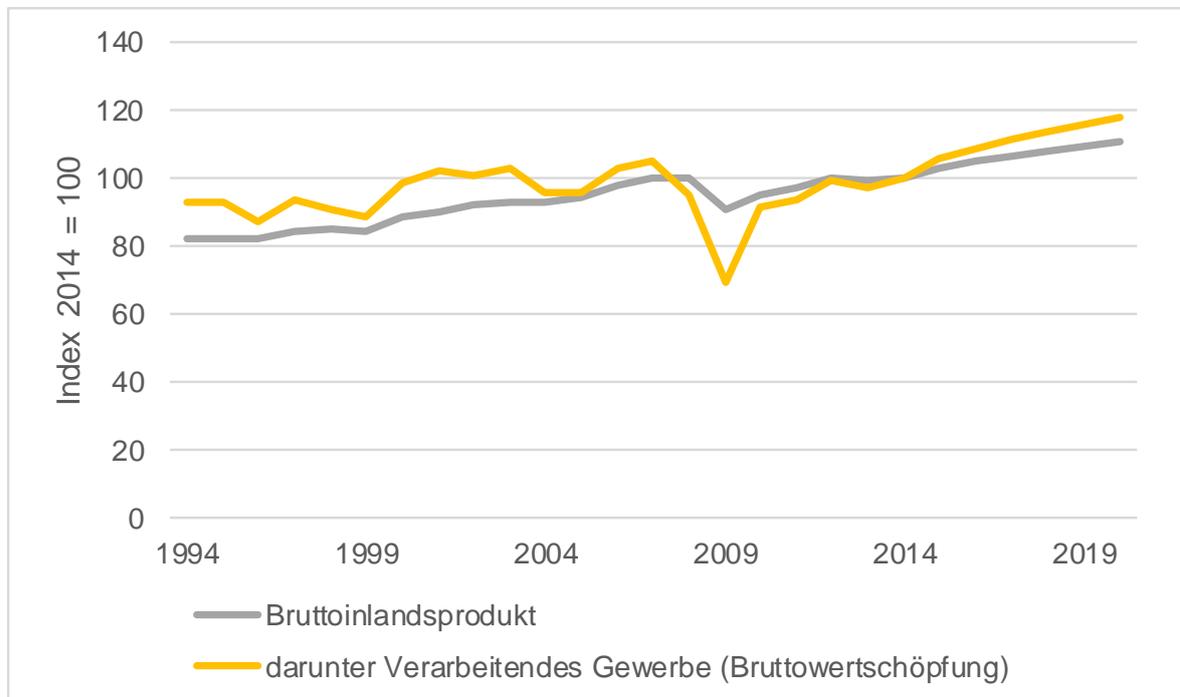


Quellen: Statistisches Landesamt Bremen, 2016a; bis 2010 zensus-korrigierte Ist-Werte, 2011 bis 2015 Ist-Werte, ab 2016 Vorausberechnung

### 3.2 Wirtschaftliche Rahmendaten

Die unterstellte Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes und die Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes im Bundesland Bremen sind in Abbildung 3-2 als Index-Entwicklungen abgebildet. Die Prognose für die Jahre 2016 bis 2020 wurde vom Statistischen Landesamt Bremen erstellt [Statistisches Landesamt Bremen, 2016]. In den Jahren 2015 bis 2020 wird ein durchschnittliches jährliches Wachstum des Bruttoinlandsproduktes von 1,5% unterstellt, für die Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes wird eine jährliche Wachstumsrate von 2,2%/Jahr angenommen (vgl. Tabelle 3-2).

Abbildung 3-2: Bruttoinlandsprodukt und Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes des Landes Bremen, Indexdarstellung 2015 = 100



Quellen: Statistisches Bundesamt, Statistisches Landesamt Bremen, 2016; bis 2015 Ist-Werte, ab 2016 Vorausberechnung

Tabelle 3-2: Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes und der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes des Landes Bremen preisbereinigt, in Mrd. Euro 2013, Indexwerte 2015 = 100 und in jährlichen Wachstumsraten

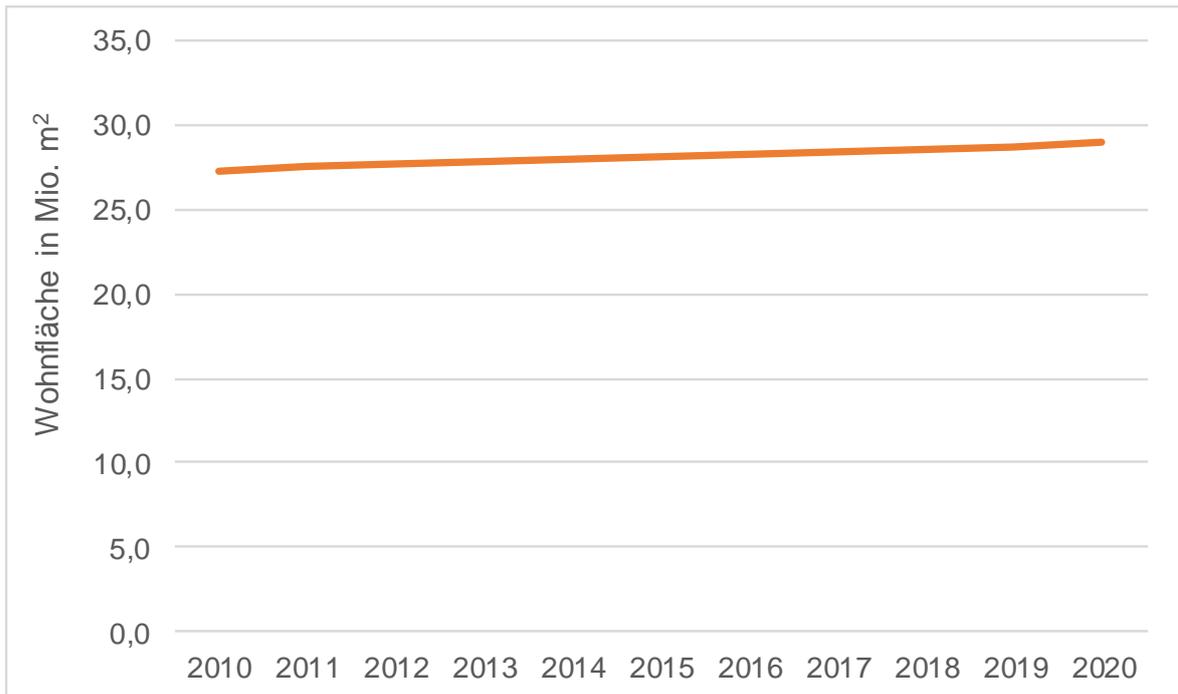
In Mrd. Eur 2013	1994	2005	2010	2015	2020
Bruttoinlandsprodukt	23,1	26,4	26,7	28,9	31,1
Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes	4,9	5,0	4,8	5,6	6,2
Index 2015 = 100	1994	2005	2010	2015	2020
Bruttoinlandsprodukt	80,1	91,6	92,5	100,0	107,5
Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes	87,8	90,3	86,1	100,0	111,6
jährliche Änderungsraten		2005-2010	2010-2015	2015-2020	2005-2010
Bruttoinlandsprodukt		0,2%	1,6%	1,5%	0,2%
Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes		-1,0%	3,0%	2,2%	-1,0%

Quellen: Statistisches Bundesamt, Statistisches Landesamt Bremen, 2016; bis 2015 Ist-Werte, ab 2016 Vorausberechnung

### 3.3 Neubautätigkeit und Entwicklung der Wohnflächen

Die Entwicklung der bewohnten Wohnfläche folgt der Entwicklung der Bevölkerung und wächst von 28,1 Mio. m<sup>2</sup> im Jahr 2015 bis 2020 auf 29 Mio. m<sup>2</sup> (vgl. Abbildung 3-3).

*Abbildung 3-3: Entwicklung der bewohnten Wohnfläche im Bundesland Bremen in Mio. m<sup>2</sup>, Jahresmittelwerte*



*Quellen: eigene Berechnungen unter Berücksichtigung von Informationen des Statistischen Landesamtes Bremen (2016b, 2016c) und des Statistischen Bundesamtes (2013)*

Es wird angenommen, dass im Zeitraum 2010 bis 2020 im Land Bremen insgesamt 20.000<sup>3</sup> neue Wohnungen gebaut werden, darunter 12 % in Bremerhaven und 88 % in Bremen Stadt. Aufgrund des Sofortprogramms Wohnungsbau werden im Zeitraum 2016 bis 2020 überdurchschnittlich viele Wohnungen gebaut.

<sup>3</sup> Fertigstellung von Wohnungen in Wohn- und Nicht-Wohngebäuden einschließlich Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden.

### 3.4 Nationale und internationale Energiepolitik

Die vorliegenden Klimaschutzszenarien für das Land Bremen wurden basierend auf einer Regionalisierung der energiewirtschaftlichen Referenzprognose im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie erstellt [Prognos/EWI/GWS, 2014]. Diese geht davon aus, dass die energie- und klimaschutzpolitischen Anstrengungen weiter verschärft werden und die Politik auf Anzeichen einer Zielverfehlung reagiert. Europa und Deutschland im Speziellen nehmen auch weiterhin eine Vorreiterrolle im Klimaschutz ein. Der Abstand im Klimaschutzniveau zu Nicht-EU-Nationen bleibt dabei begrenzt.

Vor dem Hintergrund des Inkrafttretens des Klimaabkommens von Paris steht die internationale Energiepolitik vor der Herausforderung, die energiebedingten Treibhausgasemissionen deutlich zu reduzieren. Inwieweit die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Anstrengungen zur Reduktion der Emissionen politisch durchsetzbar sind, ist jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet. Die Auswirkungen des Pariser Klimaabkommens auf die Energiepreise sind daher ebenfalls mit großen Unsicherheiten verbunden.

Die Preise für CO<sub>2</sub>-Emissionszertifikate verharren seit Beginn der dritten Handelsperiode aufgrund eines Überangebots an Zertifikaten auf einem Niveau unterhalb von 10 Euro. Die Einführung des Backloadings und der Beschluss der Marktstabilitätsreserve führen zu einer Reduktion des Angebots an Zertifikaten. Hierdurch kam es jedoch nur vorübergehend zu einem leichten Anstieg der Preise, weiter auf niedrigem Niveau unterhalb von 10 Euro. Weitere Reformen auf europäischer Ebene zur Angebotsverknappung sind bis 2020 nur schwer auszumachen, weshalb keine relevanten Preiserhöhungen zu erwarten sind. Eine signifikante Erhöhung der Zertifikatspreise ist erst nach 2020 aufgrund der bisherigen Beschlüsse zu erwarten.

Nach dem Projektionsbericht 2015 [BMUB, 2016] wird Deutschland ohne zusätzliche Maßnahmen sein Klimaziel für 2020 nicht erreichen. In dem Projektionsbericht sind die aktuell beschlossenen Maßnahmen wie das Aktionsprogramm Klimaschutz bereits enthalten. Daher ist davon auszugehen, dass weitere politische Maßnahmen bis 2020 ergriffen werden, die zu einer zusätzlichen Reduktion der Emissionen führen werden.

### 3.5 Energiepreisentwicklung

In den vergangenen Jahren kam es zu einem weltweiten Rückgang der Energiepreise. Vor allen Dingen der Weltmarktpreis für Rohöl hat sich seit seinen Höchstständen von 2011/2012 bis zum Jahr 2016 mehr als halbiert. Auch andere Energieträger wie Gas und Steinkohle verzeichneten einen deutlichen Preisrückgang. Zu Beginn des Jahres 2016 haben sich die weltweiten Energiepreise weitgehend stabilisiert und sind leicht angestiegen. Ausgehend von diesem Niveau zu Beginn des Jahres 2017 ist bis 2020 mit einer weiteren Stabilisierung und leichten Erhöhung der weltweiten Energiepreise aufgrund von Nachfragesteigerungen asiatischer Volkswirtschaften zu rechnen. Von dieser Entwicklung geht jedoch kein signifikanter Einfluss auf den Energieverbrauch im Land Bremen aus.

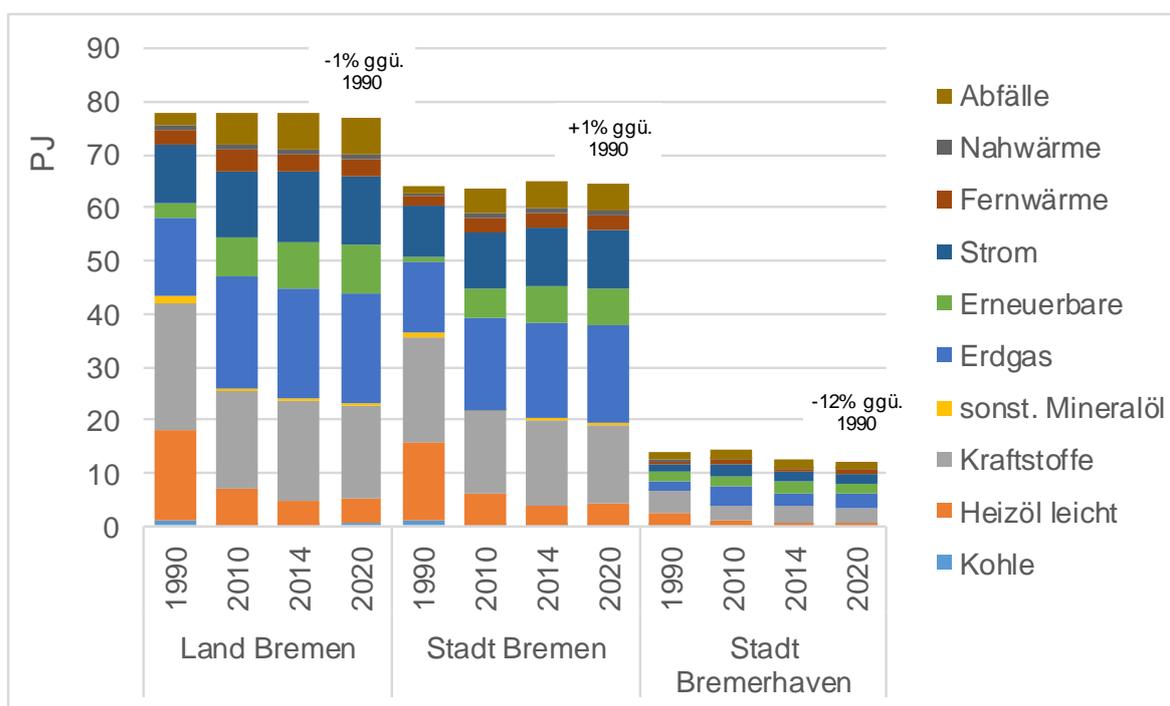
## 4 Referenzszenario

Im Folgenden wird zunächst die Entwicklungen des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß Systematik der KEP-Bilanz im Referenzszenario sektorübergreifend beschrieben. Anschließend wird die Entwicklung in den einzelnen Sektoren vorgestellt.

### 4.1 Sektorübergreifende Entwicklungen des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik (ohne Stahlindustrie)

Der Energieverbrauch nach KEP-Systematik des Landes Bremen sinkt ausgehend von 2014 bis 2020 leicht auf 77,1 PJ<sup>4</sup> ab und liegt damit 1% unter dem Niveau von 1990 (vgl. Abbildung 4-1). Während 2020 der Energieverbrauch der Stadt Bremen 1% über dem Niveau von 1990 liegt, erfolgt für Bremerhaven bis 2020 eine Absenkung um 12% gegenüber 1990.

Abbildung 4-1: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Energieträgern im Referenzszenario, ohne Stahlindustrie, in PJ



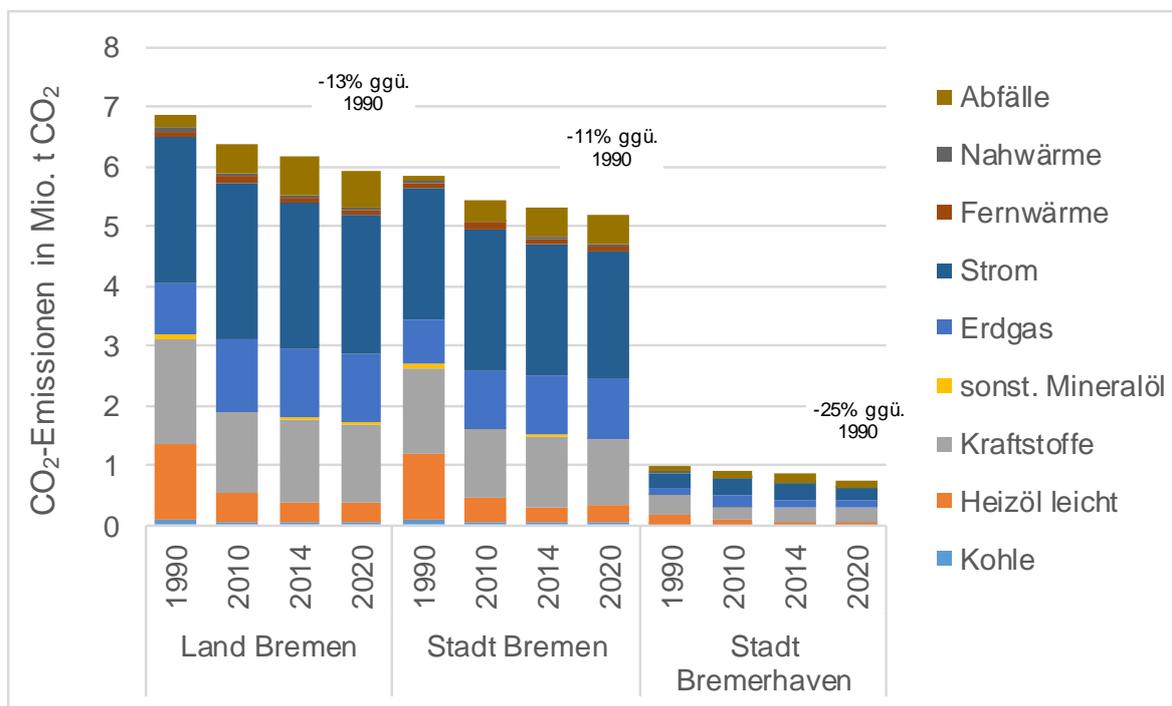
Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

<sup>4</sup> Energieeinheit Petajoule (PJ)

Zwischen 1990 und 2014 wurde Heizöl zu großen Teilen durch Erdgas substituiert. Im Referenzszenario bleibt der Heizöleinsatz bis 2020 ohne weitere Maßnahmen weitgehend konstant. Durch einen Ausbau der Abfallverbrennungsanlagen nahmen der Einsatz von Abfällen und auch der Erneuerbaren Energien zu, da der Einsatz von Abfall zur Hälfte den Erneuerbaren Energien zugeordnet wird.

Durch die Substitution zu Energieträgern mit geringeren spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie durch den zunehmenden Einsatz Erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung, die sich auf den Emissionsfaktor des Stroms auswirken, sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik des Bundeslandes trotz nahezu gleichbleibendem Energieverbrauch und liegen 2020 mit 5,9 t CO<sub>2</sub> um 13% unter dem Niveau von 1990 (vgl. Abbildung 4-2). Die Emissionen der Stadt Bremen werden gegenüber 1990 um 11% gemindert – in Bremerhaven beträgt die Minderung im gleichen Zeitraum 25%.

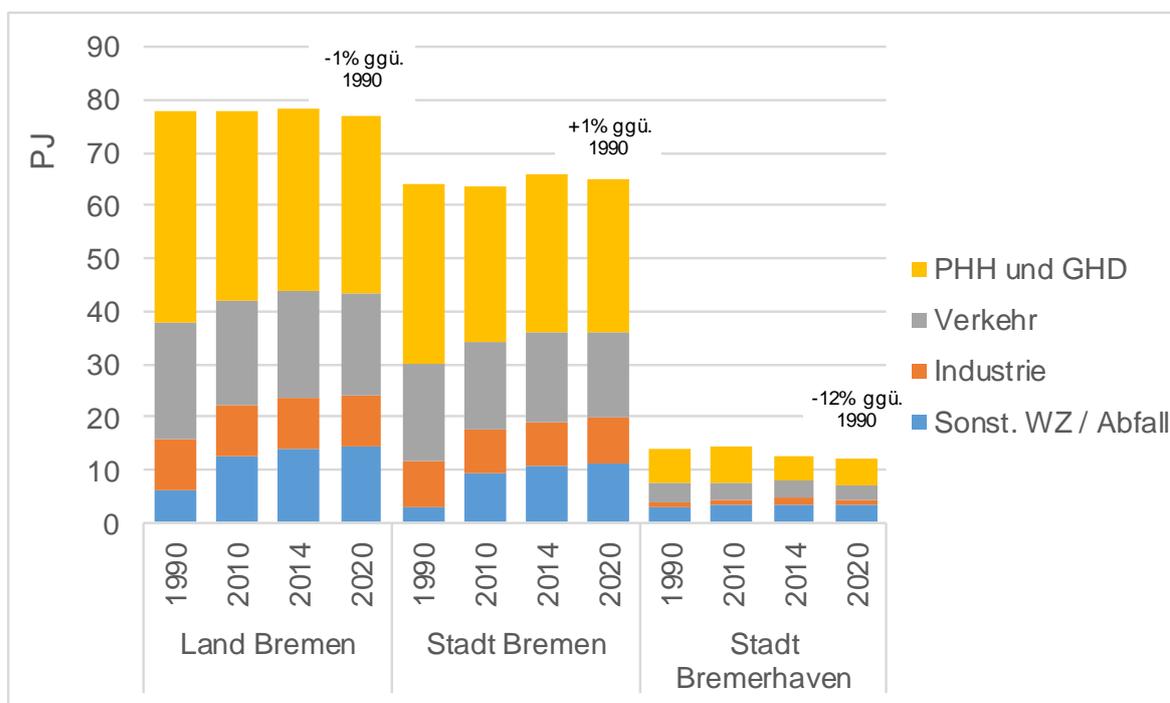
Abbildung 4-2: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik ohne Stahlindustrie nach Energieträgern im Referenzszenario, in Mio. t CO<sub>2</sub>



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Der Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Sektoren ist in Abbildung 4-3 dargestellt. Die Sektoren PHH und GHD haben zusammen den größten Anteil am Endenergieverbrauch im Land Bremen. Zwischen 1990 und 2020 sinkt deren Endenergieverbrauch von 40 auf 34 PJ. Der Sektor mit dem größten Zuwachs ist Sonst. WZ/Abfall. Insbesondere der Energieeinsatz der Abfallverbrennung in der Stadt Bremen ist zwischen 1990 und 2014 stark angestiegen, bleibt jedoch danach auf dem 2015 erreichten Niveau konstant. Der Energieverbrauch im Verkehrssektor sank zwischen 1990 und 2010 und bleibt bis 2020 weitgehend konstant. Der Endenergieverbrauch nach KEP-Systematik im Industriesektor ohne Stahlindustrie bleibt auf Landesebene zwischen 1990 und 2020 weitgehend konstant.

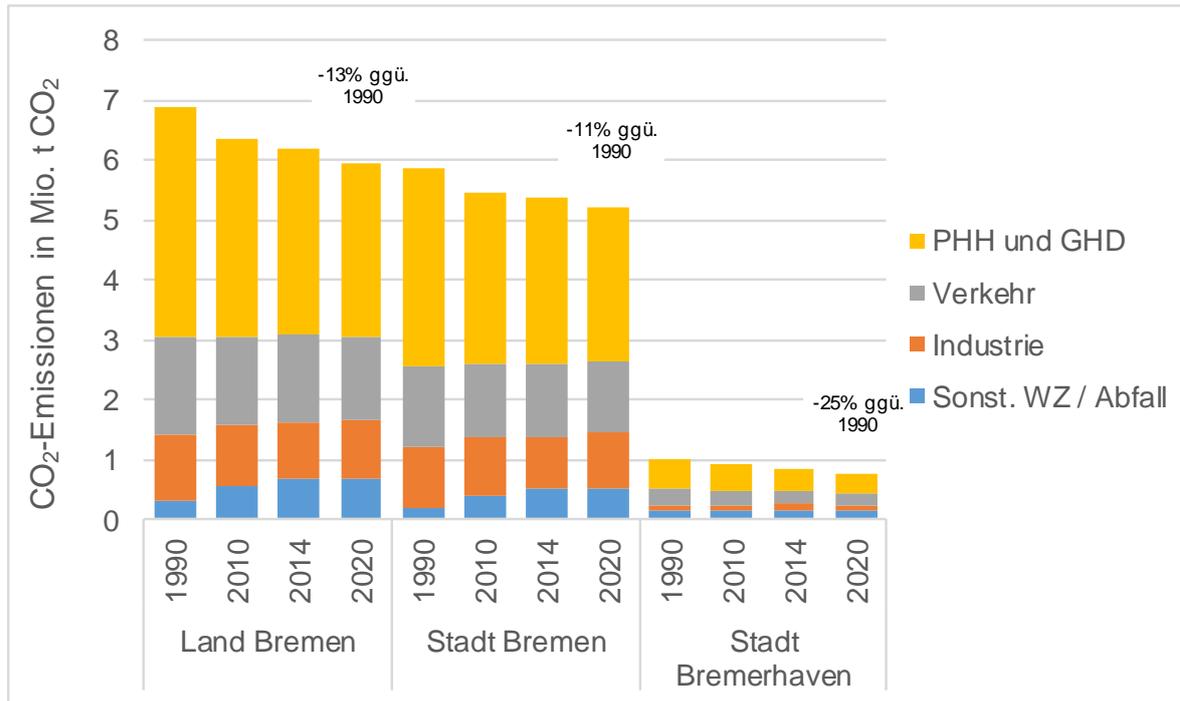
Abbildung 4-3: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Sektoren im Referenzszenario, ohne Stahlindustrie, in PJ



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Die Anteile der Sektoren an den CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Bilanz fallen ähnlich wie beim Endenergieverbrauch aus (vgl. Abbildung 4-4). Abweichend davon hat der Sektor Sonst. WZ/Abfall einen kleineren Anteil, da die Hälfte des Abfalls als erneuerbarer Abfall eingestuft wird und diesbezüglich keine Emissionen angerechnet werden.

Abbildung 4-4: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik nach Sektoren im Referenzszenario, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>

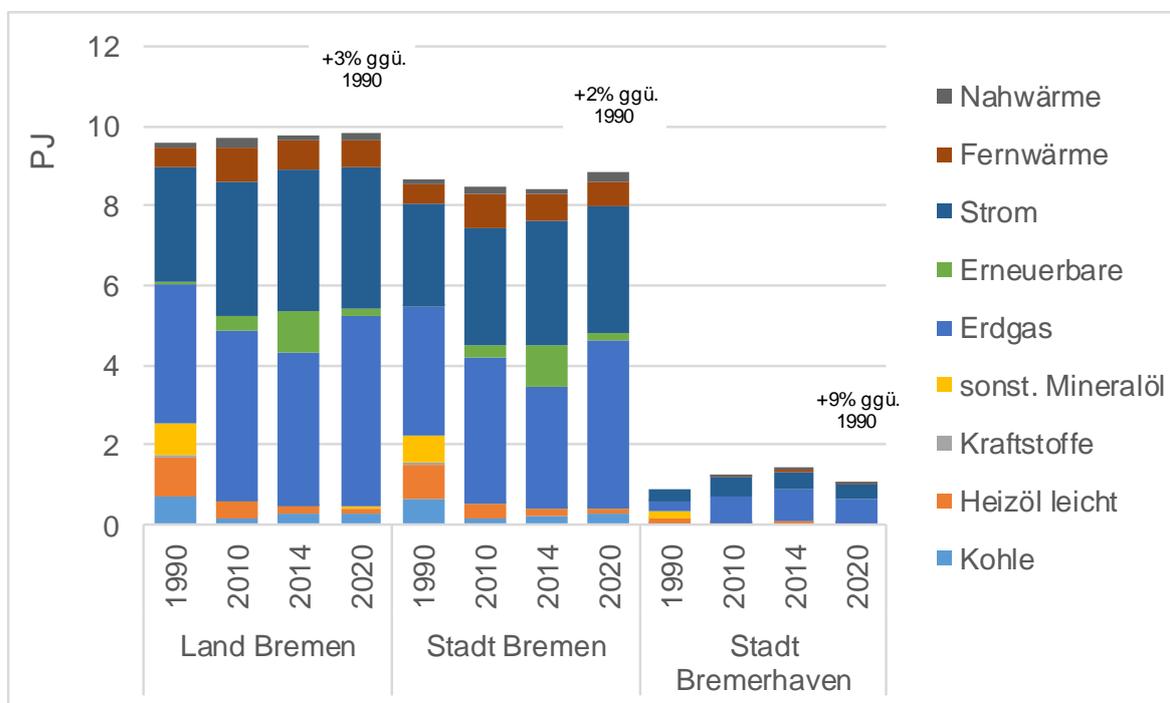


Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

## 4.2 Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik der Industrie exklusive Stahlindustrie und Sonstige Wirtschaftszweige/Abfallverbrennung

Der Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik der Industrie im Land Bremen exklusive Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall steigt (vgl. Abbildung 4-5). Die jährlichen Verbräuche zeigen hohe Schwankungen im Bereich von 1 PJ<sup>5</sup>. Im Jahr 2020 liegt der Verbrauch mit 9,8 PJ leicht über dem Niveau von 1990.

Abbildung 4-5: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik der Industrie nach Energieträgern im Referenzszenario, ohne Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall, in PJ



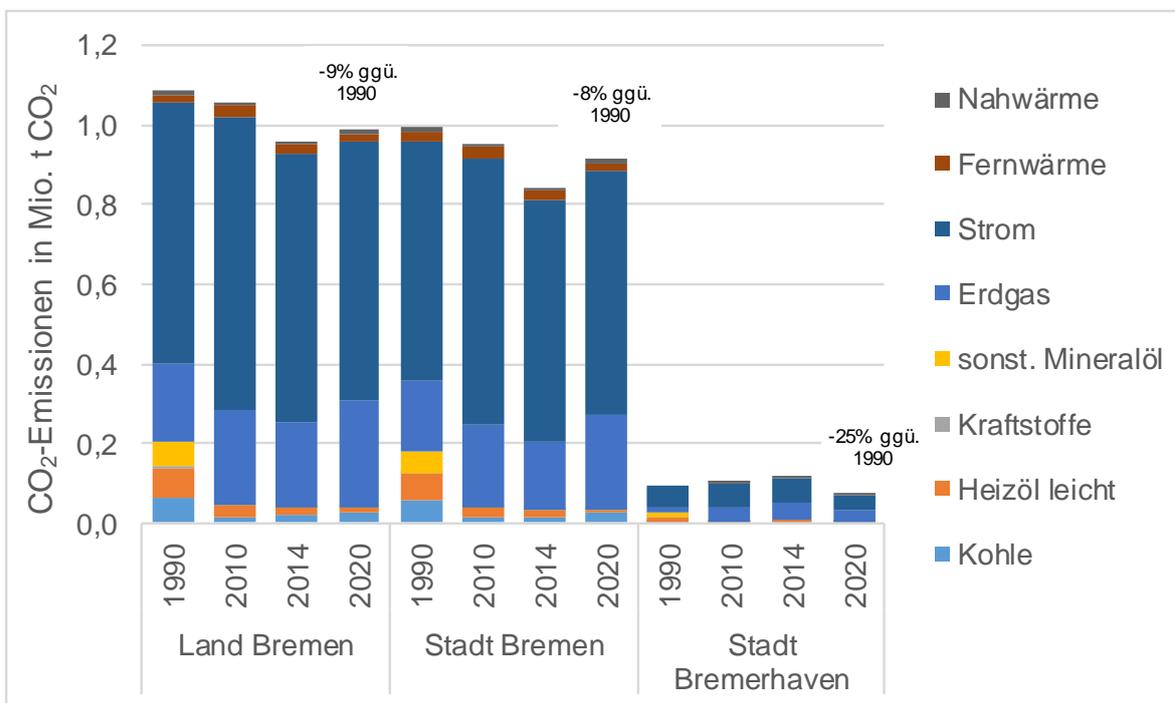
Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Eine herausgehobene Bedeutung kommen im Industriesektor den Energieträgern Erdgas und Strom zu, die im Jahr 2020 mit 4,8 und 3,5 PJ 84% des Energieverbrauchs ausmachen. Hatten im Jahr 1990 Mineralölprodukte und Kohle einen wesentlichen Anteil am Energieverbrauch gemäß KEP-Systematik der Industrie exklusive Stahlindustrie und Abfallverbrennung, so spielen sie bereits im Jahr 2010 eine untergeordnete Rolle.

<sup>5</sup> In der Abbildung ist dies nicht ersichtlich aufgrund der nur teilweise dargestellten Jahre.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik des Industriesektors exklusive Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall liegen im Jahr 2020 mit 990 Tsd. t leicht unter dem Niveau von 1990 (vgl. Abbildung 4-6). Die Emissionen werden von den indirekten Emissionen des Stromeinsatzes dominiert – daneben spielen die Emissionen durch Verbrennung von Erdgas eine Rolle. Die indirekten Emissionen durch Stromeinsatz verursachen mit rund 650 Tsd. t CO<sub>2</sub> 66% der gesamten Emissionen im Industriesektor ohne die Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall.

Abbildung 4-6: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie gemäß KEP-Systematik nach Energieträgern im Referenzszenario, ohne Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall, in Mio. t CO<sub>2</sub>

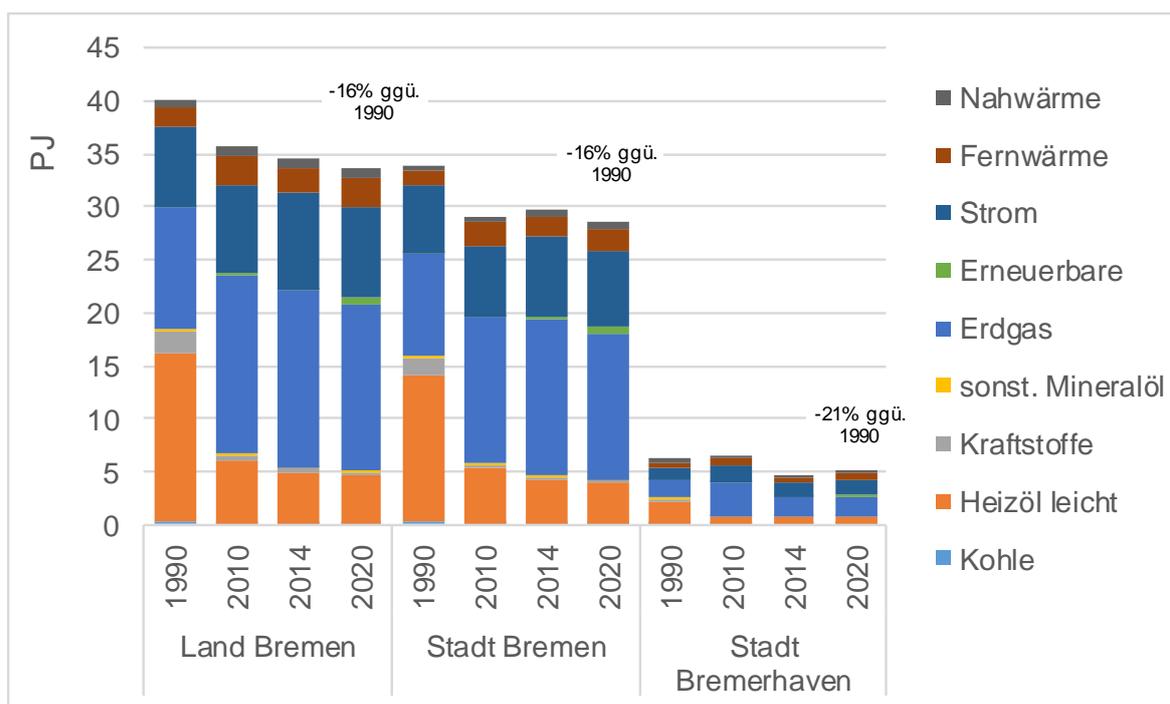


Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

### 4.3 Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik der Sektoren Private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Der gemeinsame<sup>6</sup> Endenergieverbrauch der Sektoren PHH und GHD im Land Bremen sinkt zwischen 1990 und 2020 um 16% von 40 auf 34 PJ (vgl. Abbildung 4-7). In der Stadt Bremen fällt die Absenkung mit knapp 16% unterdurchschnittlich, in Bremerhaven mit 21% überdurchschnittlich aus. Erdgas hat mit einem Verbrauch von 16 PJ im Jahr 2020 den höchsten Anteil am Endenergieverbrauch der Sektoren GHD und PHH im Bundesland Bremen, gefolgt von Strom mit einem Absatz von 8,5 PJ. Weitere relevante Anteile haben leichtes Heizöl (4,5 PJ) und Fernwärme (2,7 PJ).

Abbildung 4-7: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik von GHD und PHH nach Energieträgern im Referenzszenario, in PJ

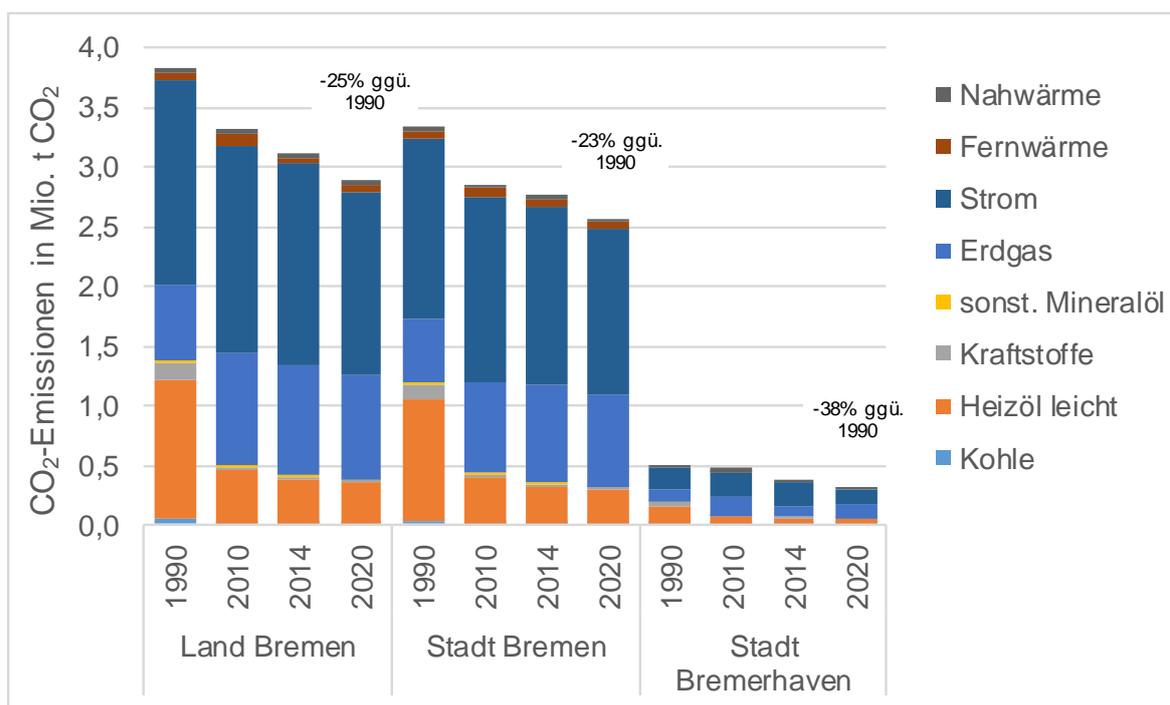


Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

<sup>6</sup> Analog zur Bilanzierung gemäß KEP-Bilanz wird der Endenergieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen für beide Sektoren grundsätzlich in Summe ausgewiesen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik der Sektoren PHH und GHD sinken im Land Bremen zwischen 1990 und 2020 um 25% von 3,8 auf 2,9 Mio. t (vgl. Abbildung 4-8). Innerhalb der Energieträger dominieren die indirekten Emissionen durch Stromverbrauch mit 1,5 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2020, gefolgt von den Emissionen durch Verbrennung von Erdgas (880 Tsd. t) und leichtem Heizöl (330 Tsd. t).

Abbildung 4-8: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik von GHD und PHH nach Energieträgern im Referenzszenario, in Mio. t CO<sub>2</sub>



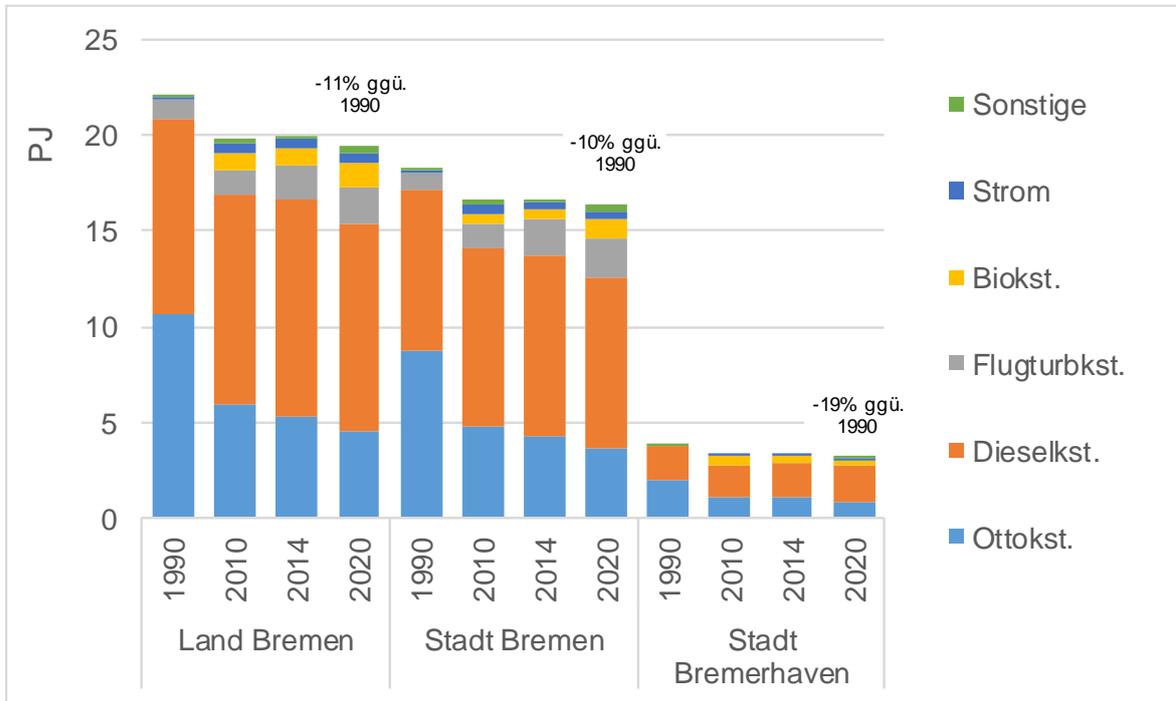
Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

#### 4.4 Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik des Verkehrssektors

Der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors im Land Bremen sinkt zwischen 1990 und 2020 um 11% von 22 auf 19 PJ (vgl. Abbildung 4-9). In der Stadt Bremen fällt die Reduktion mit 10% geringer, in der Stadt Bremerhaven mit 19% höher aus. Der Energieverbrauch wird von Otto-, Diesel- und Flugturbinenkraftstoffen dominiert.

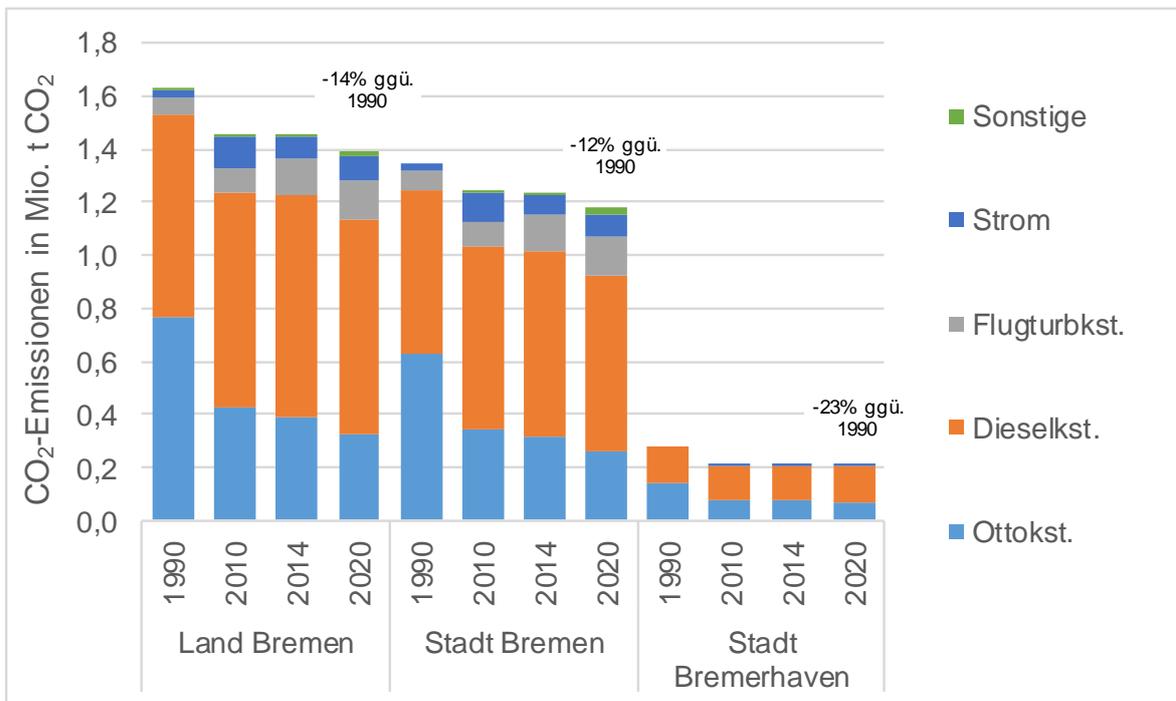
Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik des Verkehrssektors sinken im Land Bremen zwischen 1990 und 2020 um 14% von 1,6 auf 1,4 Mio. t (vgl. Abbildung 4-10).

Abbildung 4-9: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik des Verkehrssektors nach Energieträgern im Referenzszenario, in PJ



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Abbildung 4-10: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach KEP-Systematik des Verkehrssektors nach Energieträgern im Referenzszenario, in Mio. t CO<sub>2</sub>

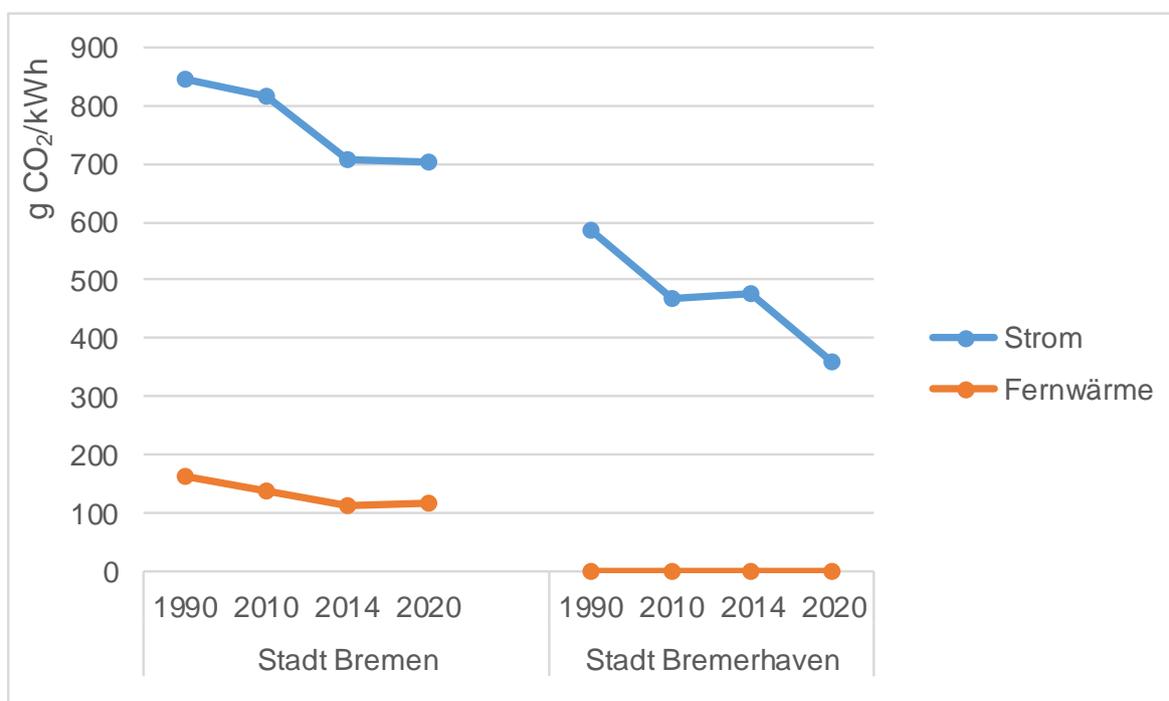


Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

## 4.5 Entwicklung der spezifischen Emissionen von Strom und Fernwärme

Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren gemäß KEP-Systematik für Strom und Fernwärme ist für die beiden Kommunen Stadt Bremen und Bremerhaven in Abbildung 4-11 dargestellt. Der Strom-Emissionsfaktor der Stadt Bremerhaven liegt 30 bis 50% unter dem Strom-Emissionsfaktor der Stadt Bremen. Der Grund hierfür liegt in der unterschiedlichen Zusammensetzung des Kraftwerkparks in den beiden Kommunen, insbesondere in dem hohen Anteil von Steinkohlekraftwerken an der Stromerzeugung in der Stadt Bremen. Der Strom-Emissionsfaktor ist zwischen 1990 und 2014 in beiden Kommunen deutlich gesunken (Stadt Bremen: -16%, Bremerhaven: -19%). Zwischen 2014 und 2020 bleibt der Strom-Emissionsfaktor der Stadt Bremen nahezu konstant, während in Bremerhaven mit -25% eine weitere hohe Absenkung erreicht wird. Der Grund hierfür ist, dass in Bremerhaven in den Jahren 2014 und 2015 mehrere große Windkraftanlagen in Betrieb genommen wurden, deren Stromerzeugung sich im Referenzszenario erst in den Jahren ab 2016 in vollem Umfang auswirkt. Für den Zeitraum 2016 bis 2020 geht das Referenzszenario von der hypothetischen Annahme aus, dass keine neuen Windkraftanlagen errichtet werden.

Abbildung 4-11: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nach KEP-Systematik nach Energieträgern im Referenzszenario, in g CO<sub>2</sub>/kWh



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

## 4.6 Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik der Stahlindustrie

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs gemäß KEP-Systematik der Stahlindustrie wird wesentlich durch die Entwicklung der Rohstahlproduktion bestimmt (Tabelle 4-1). Die Rohstahlproduktion sowie die Entwicklung der Energieeffizienz und der eingesetzten Energieträgerstruktur wurden Angaben von ArcelorMittal Bremen entsprechend übernommen [AMB, 2016]. Zwischen 1990 und 2020 steigt die produzierte Menge an festem Stahl um 28 %. Der spezifische Energieverbrauch bleibt im Zeitraum weitgehend konstant und liegt 2020 mit 16 GJ/t Stahl 0,3 % über dem Wert des Jahres 1990. Insgesamt wird bis 2020 ein weiteres Wachstum des Endenergieverbrauchs erwartet, sodass dieser dann den Wert von 1990 um 29% überschreitet (vgl. Abbildung 4-12). Die mit der Produktion einer Tonne Stahl verbundenen Emissionen (CO<sub>2</sub>-Intensität) sind zwischenzeitlich leicht gesunken und liegen im Jahr 2020 mit 1,7 t CO<sub>2</sub> je produzierter Tonne Stahl auf einem vergleichbaren Niveau wie 1990 (+0,5 %).

Die steigenden Emissionen spiegeln die positive Entwicklung des Stahlstandortes Bremen innerhalb des ArcelorMittal-Konzerns wider, die unter anderem zu einer sukzessiven Produktionsausweitung geführt hat. Die absenkende Wirkung von umgesetzten Energiesparmaßnahmen auf die CO<sub>2</sub>-Intensität wird unter anderem durch zusätzliche Umweltschutzmaßnahmen mit steigender Wirkung auf die CO<sub>2</sub>-Intensität kompensiert. Als Energiesparmaßnahme wurde beispielsweise die Konvertergasnutzung im Jahr 2011 in Betrieb genommen, durch welche Gas, welches im Rahmen der Rohstahlerzeugung im Konverter entsteht, nicht mehr wie bislang ungenutzt verbrannt wird, sondern energetisch genutzt wird. Auf der anderen Seite wurde im Jahr 2011 eine neue Absaug- und Filteranlage des Stahlwerkes in Betrieb genommen, durch welche die Staubemissionen des Werkes um ca. 20% reduziert werden konnten. Gleichzeitig wird damit der Energieaufwand für die Produktion einer Tonne Stahl und damit auch die verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen erhöht.

Weiterhin sind der Energieverbrauch je produzierter Tonne Stahl und auch die CO<sub>2</sub>-Intensität durch eine erhöhte Verarbeitungstiefe am Standort gestiegen. Beispielsweise wurde die Produktion der Sinteranlage, die ein Vorprodukt für den Hochofen produziert, um etwa 20 % gesteigert.

Die verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik steigen weiter an und liegen 2020 mit 6,2 Mio. t um 29% über dem Niveau von 1990 (Abbildung 4-13). Damit liegen die Emissionen der Stahlindustrie im Jahr 2020 leicht über den Emissionen des Landes Bremen ohne Emissionen der Stahlindustrie. Der Anstieg

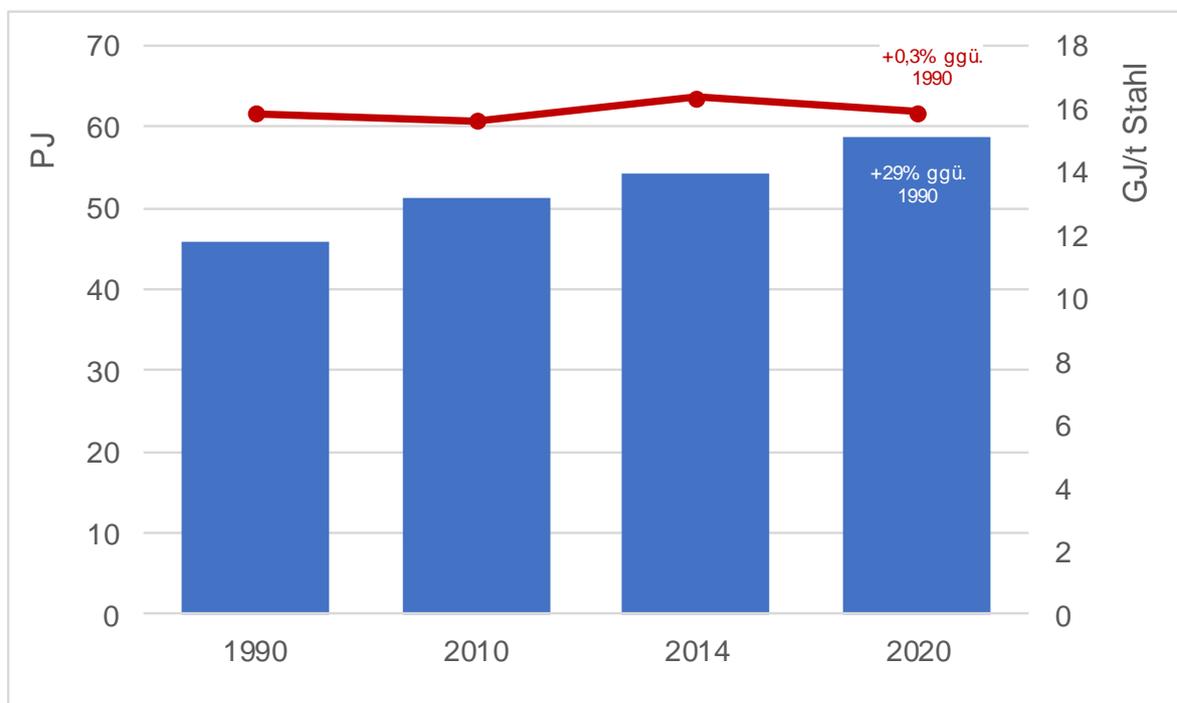
der Emissionen wird im Wesentlichen durch die wachsende Stahlproduktion bestimmt.

Tabelle 4-1: Stahlproduktion (fest) des ArcelorMittal-Werks in der Stadt Bremen, Indexreihe Wert 1990 = 100

Einheit		1990	2010	2014	2020
Produktion	Index 1990=100	100	113	115	128

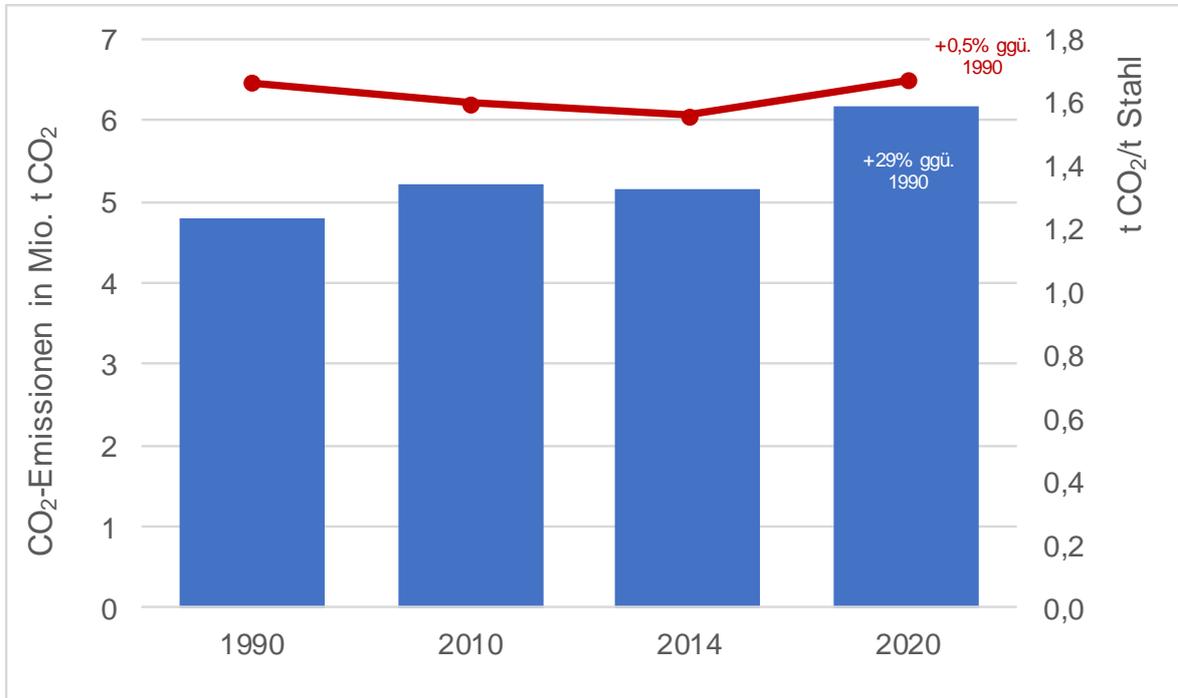
Quelle: AMB, 2016

Abbildung 4-12: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik der Stahlindustrie in PJ und spezifischer Energieverbrauch je produzierte t Stahl in GJ/t Stahl im Referenzszenario



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: AMB, 2016

Abbildung 4-13: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach KEP-Systematik der Stahlindustrie in Mio. t CO<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub>-Intensität in t CO<sub>2</sub>/t Stahl im Referenzszenario



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: AMB, 2016

## 5 Maßnahmen zur Reduzierung des Endenergieverbrauchs und zur Minderung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Klimaschutzszenario

Das Klimaschutzszenario untersucht, wie sich Energieverbrauch und Emissionen bis 2020 entwickeln, wenn die Maßnahmen des KEP entsprechend dem Entwurf vom 9. Februar 2016 [SUBV, 2016] planmäßig umgesetzt werden. Im Folgenden wird zunächst die sektorübergreifende Maßnahmenwirkung und anschließend die Wirkung in den einzelnen Sektoren vorgestellt.

### 5.1 Sektorübergreifende Betrachtung der Maßnahmenwirkung

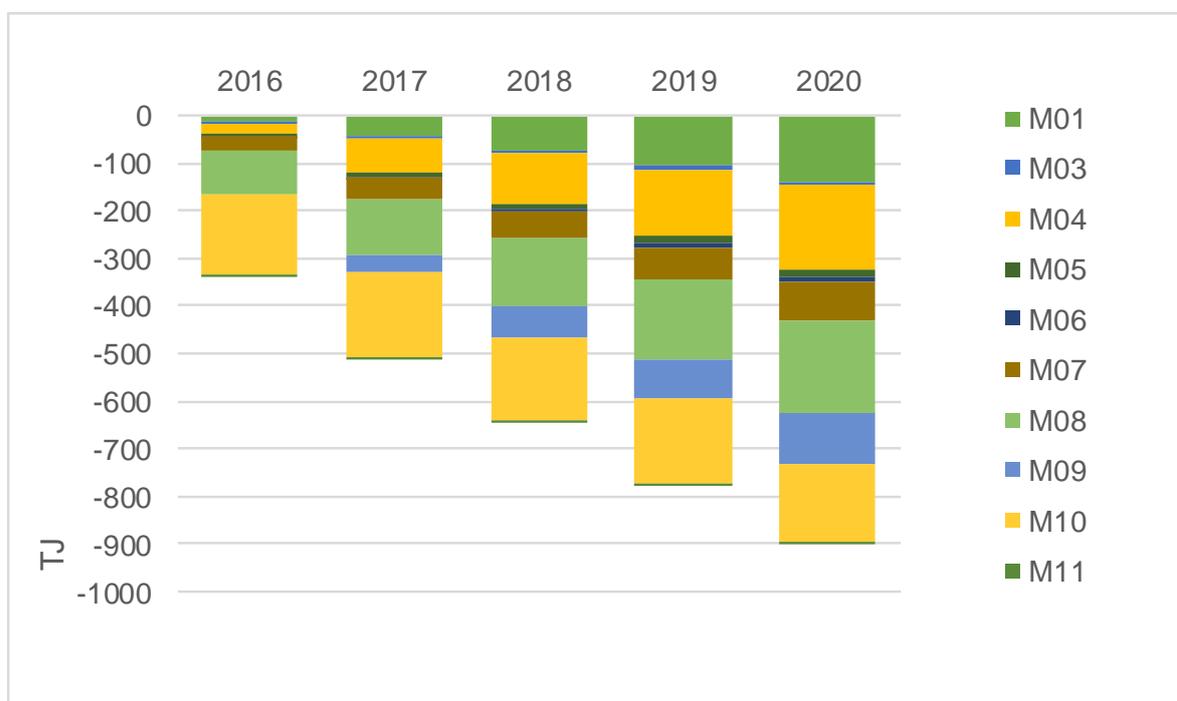
Die in ihrer Wirkung untersuchten Maßnahmen sind in Tabelle 5-1 aufgeführt. Es werden jeweils auch die Nummer im Rahmen des KEP-Programms sowie die betroffenen Sektoren angegeben und die Maßnahme beschrieben.

*Tabelle 5-1: Im Klimaschutzszenario umgesetzte Maßnahmen*

Nr.	KEP-Nr.	Beschreibung
M01	4.3.1	Förderprogramm Wärmeschutz im Wohngebäudebestand
M02	4.3.1	Förderprogramm Ersatz von Elektroheizungen
M03	4.3.2, 4.2.1	Zubau von BHKW im Bereich der kommunalen Wohnungswirtschaft
M04	4.4.1	REN-Programm (Förderung der sparsamen und rationellen Energienutzung in Industrie und Gewerbe)
M05	4.3.3 u. a.	Aktivitäten der Klimaschutzagentur energiekonsens, des CO <sub>2</sub> -Klimaschutzbetriebs, der Energieeffizienztsche mit Unternehmen
M06	4.3.4	energieeffiziente Neubauten
M07	4.3.5	energetische Optimierung öffentlicher Gebäude
M08	4.5.1	Ausbau und Verbesserung des ÖPNV
M09	4.5.2	Förderung des Fuß- und Radverkehrs
M10	4.5.3	Ausbau des Car-Sharing
M11	4.5.4	Effizienzsteigerung und alternative Antriebe im ÖPNV
M12	4.1.1	Ausbau der Windkraftnutzung
M13	4.1.2	Ausbau der Photovoltaik
M14	4.2.2	neues GuD-Kraftwerk

Die Absenkung des Energieverbrauchs nach Maßnahmen ist in Abbildung 5-1 dargestellt. Im Jahr 2020 wird insgesamt eine Absenkung um rund 890 TJ erreicht. Dies entspricht einer Absenkung des Energieverbrauchs gegenüber dem Endenergieverbrauch im Referenzszenario von 77 PJ und damit um 1,3%. Die Maßnahmen im Umwandlungssektor (M12, M13, M14) führen nicht zu einer Reduktion des Endenergieverbrauchs, sondern wirken über die Veränderung des Emissionsfaktors im Umwandlungssektor auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Abbildung 5-1. Absenkung des Endenergieverbrauchs nach KEP-Systematik nach Maßnahme, ohne Stahlindustrie, in TJ



M02 stellt eine Substitution dar, in Summe ändert sich der Energieverbrauch nicht.  
Quelle: eigene Berechnungen

## 5.2 Maßnahmen der Industrie (ohne Stahlindustrie)

Maßnahmen des Klimaschutzszenarios, die Unternehmen des Industriesektors dabei unterstützen, Energie und damit CO<sub>2</sub> einzusparen, sind

- die Förderung für Maßnahmen der sparsamen und rationellen Energienutzung und -umwandlung in Industrie und Gewerbe (REN-Programm),
- Aktivitäten der Klimaschutzagentur energiekonsens, insbesondere die Energieeffizienztsche mit Unternehmen, sowie

- Klimaschutzbetrieb CO<sub>2</sub> minus 20 (eine Kampagne des Netzwerks partnerschaft umwelt unternehmen).

Das REN-Programm fördert sparsame und rationelle Energienutzung in Industrie und Gewerbe mit einem Zuschuss von bis zu 50% zu den umweltbedingten Investitionsmehrkosten. Zwischen 2010 und 2015 wurde in 100 Förderfällen (davon 76 in der Stadt Bremen und 24 in Bremerhaven) eine gesamte CO<sub>2</sub>-Einsparung von rund 20 Tsd. t CO<sub>2</sub>/Jahr bei einem Fördervolumen von 1,8 Mio. Euro erzielt. Aus Sicht des Fördergebers entspricht dies nach EED-Berechnung<sup>7</sup> den Kosten von rund 6 Euro je t CO<sub>2</sub>. Bis 2020 rechnet der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr mit einem zusätzlichen Mittelabfluss von rund 1,46 Mio. Euro.

Die Effizienzwerke der Klimaschutzagentur energiekonsens sind lernende Netzwerke für Unternehmen im Land Bremen. Ihr Zweck ist der branchenübergreifende Wissenstransfer zu Möglichkeiten zur Einsparung von Energiekosten. Durch den Erfahrungsaustausch sollen Effizienzmaßnahmen schneller umgesetzt werden. Als Grundlage für die Abschätzung des Maßnahmeneffekts wurde von energiekonsens eine vertrauliche Evaluation [imug, 2016] zur Verfügung gestellt. Danach entfiel lediglich rund 1% des identifizierten Einsparpotenzials auf Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes. Diese Quote wird für die Abschätzung des Maßnahmeneffekts bis 2020 beibehalten.

Das Bremer Umweltnetzwerk partnerschaft umwelt unternehmen vergibt den Titel „Klimaschutzbetrieb CO<sub>2</sub> minus 20“ an Unternehmen, die innerhalb von fünf Jahren ihren CO<sub>2</sub>-Ausstoß um mindestens 20% senken konnten. Für die Abschätzung des künftigen Maßnahmeneffekts wurde die Annahme zugrunde gelegt, dass im Zeitraum 2016 bis 2020 kleine und mittlere Unternehmen ausgezeichnet werden. Außerdem wurde davon ausgegangen, dass nur in geringem Ausmaß der Wettbewerb zu der Umsetzung der Maßnahmen beigetragen hat: Da die Auszeichnung nach Umsetzung der Maßnahmen und ohne finanzielle Zuwendung erfolgt, wird mit einem Ohnehin-Effekt von 95% gerechnet. Mit einer fortgeführten Auszeichnungsrate von 3,1 Industrieunternehmen pro Jahr werden von 2016 bis 2020 kumulierte Einsparungen von jährlich 117 t CO<sub>2</sub> bzw. rund 1 TJ erwartet.

Die Maßnahme der Bremer Aufbaubank Bank (die Gesamtfinanzierung klimaschutzrelevanter Investitionen mit zinsgünstigen Darlehen) blieb mangels belastbarer Zahlen unberücksichtigt.

---

<sup>7</sup> Annahme: Nutzungsdauer der Investition von 15 Jahren.

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht der kumulierten Einspareffekte oben genannter Maßnahmen.

*Tabelle 5-2: Kumulierte Einspareffekte aller Maßnahmen im Industriesektor 2020 für das Klimaschutzenszenario, in TJ*

	Kumulierte Einspareffekte 2020 in TJ		
	Strom	Brennstoffe	Gesamt
Land Bremen			
REN-Programm	7,9	18,5	26,4
Weitere Maßnahmen	0,3	0,6	0,9
Gesamt	8,2	19,1	27,3

Quelle: eigene Berechnungen

### 5.3 Maßnahmen im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Der Sektor GHD ist sehr heterogen. Grundsätzlich besteht er aus drei Gruppen:

- Kleine und mittlere Unternehmen und Handwerksbetriebe (z. B. Textilgewerbe, kleine Herstellungsbetriebe, Nahrungsmittelunternehmen). Darunter sind die Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes gefasst, die weniger als 20 Mitarbeiter beschäftigen.
- Private Dienstleister: Baugewerbe, Handelsbetriebe, Gaststätten, Kreditinstitute, Informations- und Kommunikationsunternehmen sowie Verlage.
- Öffentliche Einrichtungen: Verwaltungen, Krankenhäuser, Schulen, Kultureinrichtungen und die Polizei.

Trotz der Heterogenität des Sektors GHD betreffen die Endenergieverbräuche hauptsächlich die Anwendungen Raumwärme und Warmwasser. Grund dafür ist, dass der Großteil der Aktivitäten in (Nicht-Wohn-)Gebäuden stattfindet (Büro- und Verwaltungsgebäude). Viel Energie wird auch durch die Bereitstellung mechanischer Energie verbraucht (Lüftung, Maschinen, landwirtschaftliche Fahrzeuge). Ein Teil der Maßnahmen – insbesondere übergreifende Maßnahmen, die eine Änderung des Nutzerverhaltens oder Verbesserung des Energiemanagements zum Ziel haben – betrifft alle Anwendungen (und somit alle Energieträger). Bestimmte Maßnahmen fokussieren auf die Sanierung von Gebäuden und hier zumeist auf den Energieverbrauch für die Raumheizung. Einsparungen werden daher hauptsächlich bei den Energieträgern Heizöl, Fernwärme und Gas erreicht.

Qualifizierungsmaßnahmen sowie Weiterbildungsmodulare für Architekten, Ingenieure und Planer – z. B. Handwerksausbildung für Klimaschutz (HAKS), die Kampagne bau:bildung (Aus- und Weiterbildung, Know-how-Transfer und Qualifizierung durch Informationsveranstaltungen, Workshops, Kurse und Exkursionen) oder das Projekt klima:akademie – wurden im Rahmen dieser Studie nicht quantifiziert.

Die zahlreichen Maßnahmen im Sektor GHD wurden in folgenden Kategorien gebündelt:

- Maßnahmen, die Unternehmen und Gewerbe betreffen:
  - Maßnahme zur CO<sub>2</sub>-Minderung und Effizienzsteigerung im Unternehmensbereich: REN-Förderung. Durch diese Maßnahme wird ein Großteil der Einsparungen im Sektor GHD erreicht. Die künftigen Einsparungen wurden anhand der für den Zeitraum 2010 bis 2015 ermittelten CO<sub>2</sub>-Einsparungen und Fördervolumina geschätzt (vgl. Kapitel 5.2). Von den abgeschätzten Einsparungen durch die Maßnahme entfallen 80% auf den GHD-Sektor (20% auf den Industrie-Sektor).
  - Maßnahmen zur Beratung/Information/Motivation wie z. B. das Gewerbe-Impuls-Programm, die Kampagne Klimaschutzbetrieb CO<sub>2</sub> minus 20, die Initiative umwelt unternehmen, das Projekt Green Nudges (Verhaltensänderung bei Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern) oder der Klimafonds umwelt unternehmen mensch natur. Die Klimaschutzagentur energiekonsens spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle. Es werden z. B. Energie-Checks und Energiemanagement-Maßnahmen für Kleinbetriebe durchgeführt (Gastronomie, Handwerk, Einzelhandel, Büro). Die Wirkungen der unterschiedlichen Projekte werden von energiekonsens regelmäßig ausgewertet und dokumentiert. Die Auswertungen der CO<sub>2</sub>-Einsparungen wurden als Grundlage benutzt, um die künftige Wirkung abzuleiten.
  - Maßnahmen zum Ausbau von Netzwerken wie z. B. das Qualitätsnetzwerk Energie Experten oder das Projekt partnerschaft umwelt unternehmen. Die Maßnahmenwirkungen wurden auf Basis einer Evaluation des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, der Energieeffizienzfonds Initiative Energieeffizienznetzwerke für Unternehmen

berechnet [Prognos, 2012] – mit der Zahl der Erwerbstätigen als Skalierungsfaktor.

- Maßnahmen, die öffentliche Einrichtungen betreffen:
  - Verstärkte Nutzung des Energiespar-Contractings (ESC): Für die Abschätzung des Maßnahmeneffekts wurde davon ausgegangen, dass im Zeitraum 2016 bis 2020 zwei große ESC-Projekte implementiert werden. Die zu erwartenden Einsparungen wurden auf Basis von Erfahrungswerten aus bereits realisierten ESC-Projekten abgeleitet.
  - Projekte zur Förderung des energiebewussten Nutzerverhaltens in Schulen (3/4 plus), Kindertagesstätten (ener:kita), Jugendfreizeiteinrichtungen (ener:freizi) und Sportstätten (ener:sport). Die Abschätzung der Maßnahmeneffekte erfolgte auf der Basis von Auswertungen, die von energiekonsens zur Verfügung gestellt wurden.
  - Maßnahmen zur Sanierung des öffentlichen Gebäudebestandes: Berücksichtigt wurden das Senatsbauprogramm 2016, die Richtlinie Energetische Anforderungen an den Neubau und die Sanierung von öffentlichen Gebäuden der Freien Hansestadt Bremen (Land und Stadtgemeinde) sowie das Energiesparprogramm für öffentliche Gebäude. Die Wirkungsabschätzung für das Energiesparprogramm basiert auf der Annahme, dass dieses im Zeitraum 2016 bis 2020 mit einem jährlichen Mittelvolumen von 0,5 Mio. Euro weitergeführt wird.

Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht der kumulierten Einspareffekte der oben genannten Maßnahmen.

*Tabelle 5-3: Kumulierte Einspareffekte aller Maßnahmen im Sektor GHD 2020 für das Klimaschutzszenario, in TJ*

	Kumulierte Einspareffekte 2020 in TJ		
	Strom	Brennstoffe	Gesamt
Land Bremen			
REN-Programm	45	104	149
Unternehmen	6	10	16
Öffentliche Einrichtungen	26	58	85
Gesamt	78	172	250

*Quelle: eigene Berechnungen, Abweichungen zwischen Gesamtwert und Summe der Einzelwerte aufgrund von Rundungen*

## 5.4 Maßnahmen im Sektor Private Haushalte

Im Sektor PHH entfallen über 70% des Energieverbrauchs auf die Erzeugung von Raumwärme und rund 12% auf die Bereitstellung von Warmwasser. Rund drei Viertel dieser Wärme werden mit fossilen Energieträgern erzeugt. Entsprechend setzen mehrere Maßnahmen des KEP hier an. Im Klimaschutzszenario werden davon vier Maßnahmen berücksichtigt:

- Förderprogramm zur Verbesserung des Wärmeschutzes im Wohngebäudebestand (M01),
- Förderprogramm zum Ersatz von Elektroheizungen (M02),
- Maßnahmen der kommunalen Wohnbaugesellschaften (M03) und
- energieeffiziente Neubauten (M06).

Das bestehende Förderprogramm zur Verbesserung des Wärmeschutzes im Wohngebäudebestand wird fortgeführt. Für die Abschätzung des Maßnahmeneffekts wurden die aktuellen Planwerte des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr für den jährlichen Abfluss von Fördermitteln zugrunde gelegt (insgesamt 4,25 Mio. Euro im Zeitraum 2016 bis 2020). Die Fördersätze sind abhängig vom sanierten Bauteil. Diese Maßnahme trägt im Sektor PHH am stärksten zur Reduktion des Energieverbrauchs bei.

Durch das Förderprogramm zum Ersatz von Elektroheizungen werden jährlich rund zwei Dutzend Elektroheizungen durch alternative Heizungssysteme ersetzt. Dadurch verringert sich einerseits der Stromverbrauch, andererseits nimmt der Verbrauch anderer Energieträger zu, da sich der Wärmebedarf nicht wesentlich verändert (geringe Nutzungsgrad-Differenzen). Gleichzeitig wird durch den Energieträgerwechsel bei den betroffenen Anlagen eine erhebliche Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erzielt.

Der Schwerpunkt der Maßnahmen der kommunalen Wohnbaugesellschaften liegt auf dem Einbau von Blockheizkraftwerken (BHKW). Diese Maßnahme trägt im Sektor PHH nur wenig zur Reduktion des Energieverbrauchs bei: Der bisherige Energieträger, in der Regel Erdgas, wird durch Nahwärme ersetzt, der Gesamtbedarf verändert sich nicht wesentlich. Bei der Zurechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ergibt sich jedoch eine Verschiebung. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden dem Umwandlungssektor zugerechnet, wodurch sich auch eine Veränderung der CO<sub>2</sub>-Intensität der Stromerzeugung ergibt. Die Sanierungsmaßnahmen der kommunalen Wohnungsbaugesellschaften (Gewoba, Stäwog) sind sowohl im Referenzszenario als auch im Klimaschutzszenario

enthalten. Die damit verbundenen energetischen Wirkungen werden nicht als das Ergebnis von Klimaschutzmaßnahmen abgebildet, sondern gehen in vollem Umfang in das Referenzszenario ein. Auf eine Quantifizierung der Aktivitäten zur Förderung des energiebewussten Nutzerverhaltens wurde verzichtet, da die Quantifizierungen von Effekten von Maßnahmen zur Beeinflussung des Nutzerverhaltens erfahrungsgemäß mit großen Unsicherheiten behaftet sind.

Nach dem vorliegenden Arbeitsentwurf der KEP-Fortschreibung (Stand: 9. Februar 2016) [SUBV, 2016] wollen das Land Bremen und seine beiden Stadtgemeinden auch in Zukunft auf vielfältige Weise darauf hinwirken, dass bei einzelnen Neubauvorhaben energetische Standards umgesetzt werden, die deutlich über die bundesgesetzlichen Mindestanforderungen hinausgehen. Um den Effekt dieser Aktivitäten abzuschätzen, wurde die pauschale Annahme getroffen, dass 10 % der zwischen 2016 und 2020 realisierten Neubauten im Passivhaus- oder Niedrigstenergie-Standard gebaut werden.

Die vier berücksichtigten Maßnahmen erfassen in jedem Jahr nur einen kleinen Teil des Gebäude- und Anlagenbestands, der Einspareffekt ist entsprechend gering. Aufgrund der Langlebigkeit der Maßnahmen kumulieren sich die jährlichen Einspareffekte und ihre Wirkung steigt im Zeitverlauf etwas an. Da nur die kurze Zeitperiode bis 2020 betrachtet wird, bleibt die Einsparwirkung aber begrenzt. Gegenüber der Referenzentwicklung werden durch die vier Maßnahmen 156 TJ eingespart, dies entspricht einer zusätzlichen Reduktion des Energieverbrauchs um insgesamt knapp 1%.

*Tabelle 5-4: Kumulierte Einspareffekte aller Maßnahmen im Sektor PHH im Jahr 2020 für das Klimaschutzenszenario, in TJ*

	Kumulierte Einspareffekte 2020 in TJ		
	Strom	Brennstoffe	Gesamt
Land Bremen			
Förderprogramm Wärmeschutz	5	133	138
Ersatz Elektroheizungen	19	-19	0
BHKW Wohnungsbaugesellschaften	0	8	8
effiziente Neubauten	1	9	10
Gesamt	24	132	156

*Quelle: eigene Berechnungen, Abweichungen zwischen Gesamtwert und Summe der Einzelwerte aufgrund von Rundungen*

Bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt sind die Einsparwirkungen durch Maßnahmen von energiekonsens. Diese Einsparungen werden nicht auf die Sektoren GHD und PHH aufgeteilt, sondern vollumfänglich dem GHD-Sektor zugerechnet.

## 5.5 Maßnahmen im Sektor Verkehr

Rund ein Viertel des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Landes Bremen entfallen auf den Verkehrsbereich. Der Energieverbrauch wird zu über 80% durch die fossilen Kraftstoffe Diesel (56%) und Benzin (27%) bestimmt. Der Straßenverkehr macht 84% des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor aus. Die Pkw machen mit Abstand den größten Anteil aus. Die Maßnahmen im Verkehr zielen deshalb insbesondere auf diesen Verkehrszweig ab: Es wird versucht, Verkehr auf den Umweltverbund (Fuß-, Rad- und öffentlicher Verkehr) zu verlagern. Für das Klimaschutzszenario wurden im Sektor Verkehr folgende Maßnahmen aus dem Entwurf zur Fortschreibung des KEP vom 9. Februar 2016 [SUBV, 2016] untersucht:

- Ausbau und Verbesserung des Öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV; M08),
- Förderung des Fuß- und Radverkehrs (M09),
- Ausbau des Car-Sharings (M10) sowie
- Effizienzsteigerung und alternative Antriebe im ÖPNV (M11).

Die Maßnahmen wurden dabei mit den Plänen des Verkehrsentwicklungsplans 2025 [SUBV, 2014] abgeglichen und die Einschätzung der Fertigstellung vonseiten des Referats 50 (Strategische Verkehrsplanung) des Senators für Umwelt, Bau und Verkehr wurde in die Bewertung einbezogen. Es wurde einerseits untersucht, ob die Maßnahmen eine quantifizierbare Wirkung auf den Endenergieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen haben, und andererseits, ob sie im Zeitraum 2016 bis 2020 fertiggestellt werden und daher zu einer unterschiedlichen Entwicklung der Szenarien führen. Mehrere größere Projekte mit Wirkungen auf Verkehrsleistungen und damit auch auf den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden nicht bis 2020 abgeschlossen sein. Da im Rahmen des Verkehrsentwicklungsplans 2025 lediglich Aussagen über Modal Splits der Verkehrswege (also die Aufteilung der Wege nach Verkehrsmittel) und nicht der Verkehrs- oder Fahrleistungen vorgenommen werden, ist er nicht direkt für eine Wirkungsquantifizierung geeignet.

Bei der ÖPNV-Maßnahme (M08) wird eine deutliche Verbesserung des Angebots im ÖPNV angenommen. Die auf allen regionalen Schienenverbindungen ins Bremer Umland etablierten vertakteten Regio-S-Bahnangebote mit neuen Fahrzeugen sollen auch künftig weiter ausgebaut werden. Im Sinne einer kombinierten und effizienten Mobilität ist der Ausbau intermodaler Schnittstellen in

Bremen vorgesehen. Durch eine intelligente informationelle und physische Verknüpfung verschiedener Verkehrsmittel sollen die Potenziale verschiedener Verkehrsträger optimal ausgeschöpft werden. In der Folge steigen die Verkehrsleistungen bei Straßenbahnen und dem Schienenregionalverkehr im Klimaschutzszenario stärker an. Dadurch ergibt sich eine Änderung im Modal Split. Es wird angenommen, dass die Verkehrsleistung und damit auch die Fahrleistung bei den Pkw gegenüber der Referenzentwicklung weniger stark ansteigen. Die Maßnahmenwirkung bezüglich des Energieverbrauchs folgt aus den Änderungen der Verkehrsmengen.

Bei der zweiten Maßnahme im Verkehrsbereich (M09) wird angenommen, dass die Radpremiumroute Farge – Hemelingen (Bremen-Nord – Innenstadt – Hemelingen) bis 2020 realisiert wird. Dadurch werden hauptsächlich Pendlerfahrten mit dem Rad attraktiver und Verkehre im Distanzsegment bis zu 15 km können vom Pkw verlagert werden. Die Potenzialabschätzung erfolgt auf Basis von Verlagerungsfaktoren je Distanzsegment. Die Energieeinsparung ergibt sich auf Basis von eingesparten Pkw-Fahrten.

Das Ziel bei der Maßnahme Car-Sharing (M10) sind 20.000 Nutzer im Jahr 2020. Gemäß Maßnahmenbeschreibung sollen dadurch 6.000 Pkw ersetzt werden. Diese Änderung im Pkw-Bestand führt zu einer geringeren Pkw-Fahrleistung und schließlich zu einem geringeren Energieverbrauch bei Pkw im Klimaschutzszenario.

Bei der vierten Maßnahme (M11) werden in Bremen Stadt drei Elektro- anstelle von Dieselnbussen eingesetzt. Durch die höhere Energieeffizienz von Elektrobussen gegenüber der Dieselvariante ergibt sich eine Endenergieeinsparung insgesamt sowie eine Substitution von Diesel zu Strom. Die Wirkung ist allerdings sehr gering.

Die nachfolgende Tabelle fasst die kumulierten Einspareffekte aller Maßnahmen im Verkehrssektor zusammen und differenziert nach den Regionen Stadt Bremen und Bremerhaven.

*Tabelle 5-5: Kumulierte Einspareffekte aller Maßnahmen im Sektor Verkehr 2020 für das Klimaschutzszenario, in TJ*

	Kumulierte Einspareffekte 2020 in TJ		
	Strom	Kraftstoffe	Gesamt
Land Bremen			
ÖPNV	-77	270	193
Rad	-	106	106
Car-Sharing	-45	207	162
Elektrobusse	-0,001	0,012	0,011
Gesamt	-122	583	461

*Quelle: eigene Berechnungen, negative Werte bedeuten Mehrverbräuche gegenüber der Referenz, Abweichungen zwischen Gesamtwert und Summe der Einzelwerte aufgrund von Rundungen*

## 5.6 Maßnahmen im Umwandlungsbereich

Die für den Umwandlungsbereich relevante Nachfrage nach Strom, Fernwärme und Sonstiger Wärme sinkt im Klimaschutzszenario auf Basis der berücksichtigten Maßnahmen in den Energienachfragesektoren (siehe Kapitel 5.3 bis 5.5).

Im Klimaschutzszenario wird ein erheblicher Zubau von BHKW im Bereich der kommunalen Wohnungswirtschaft angenommen. Die Stromerzeugung der neuen BHKW im Jahr 2020 beträgt rund 20 GWh.

Im Klimaschutzszenario wird der Betrieb des neuen GuD-Kraftwerks (Gemeinschaftskraftwerk Bremen [GKB]) ab 2016 berücksichtigt. Das GuD-Kraftwerk produziert bei Annahme von 1.000 Volllaststunden 445 GWh/Jahr. Hiervon entfallen 50% auf die Erzeugung von Fahrstrom für die Bahn, die in der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Stadt Bremen nicht berücksichtigt wird. Die Annahmen zur Auslastung des GuD-Kraftwerks sowie zum Anteil des Bahnstroms basieren auf Planwerten, die von der swb-Gruppe zur Verfügung gestellt wurden.

Im Bereich der PV wird davon ausgegangen, dass ein Teil des PV-Ausbaus auch ohne unterstützende Maßnahmen auf Landes- und kommunaler Ebene stattfinden würde. Konkret wird angenommen, dass die zusätzliche PV-Stromerzeugung (Planwert: 4,6 GWh) im Referenzszenario zu 50% und im Klimaschutzszenario zu 100% realisiert wird.

Der weitere Ausbau der Windkraft ist an die Voraussetzung gebunden, dass in den Städten Bremen und Bremerhaven geeignete Flächen zur Verfügung gestellt werden. Die zusätzliche Windstromerzeugung (Planwert: 100,6 GWh) wird daher zu 100% dem Klimaschutzszenario zugerechnet. Das Referenzszenario geht demgegenüber von der hypothetischen Annahme aus, dass

im Zeitraum 2016 bis 2020 keine neuen Windkraftanlagen errichtet werden.

Der zusätzliche Windstromertrag wird zum Teil durch Repowering erreicht. Konkret wurde angenommen, dass durch das Repowering von bestehenden Windkraftstandorten in der Stadt Bremen bis zum Jahr 2020 eine zusätzliche jährliche Windstromerzeugung von 25,9 GWh erzielt werden kann. Grundlage dieser Annahme ist der Arbeitsentwurf der KEP-Fortschreibung vom 9. Februar 2016 (Variante 2 nach Tabelle 4.3 auf Seite 47) [SUBV, 2016].

*Tabelle 5-6: Unterschied der jährlichen Energieerzeugung im Jahr 2020 zwischen Referenz- und Klimaschutzscenario, in GWh*

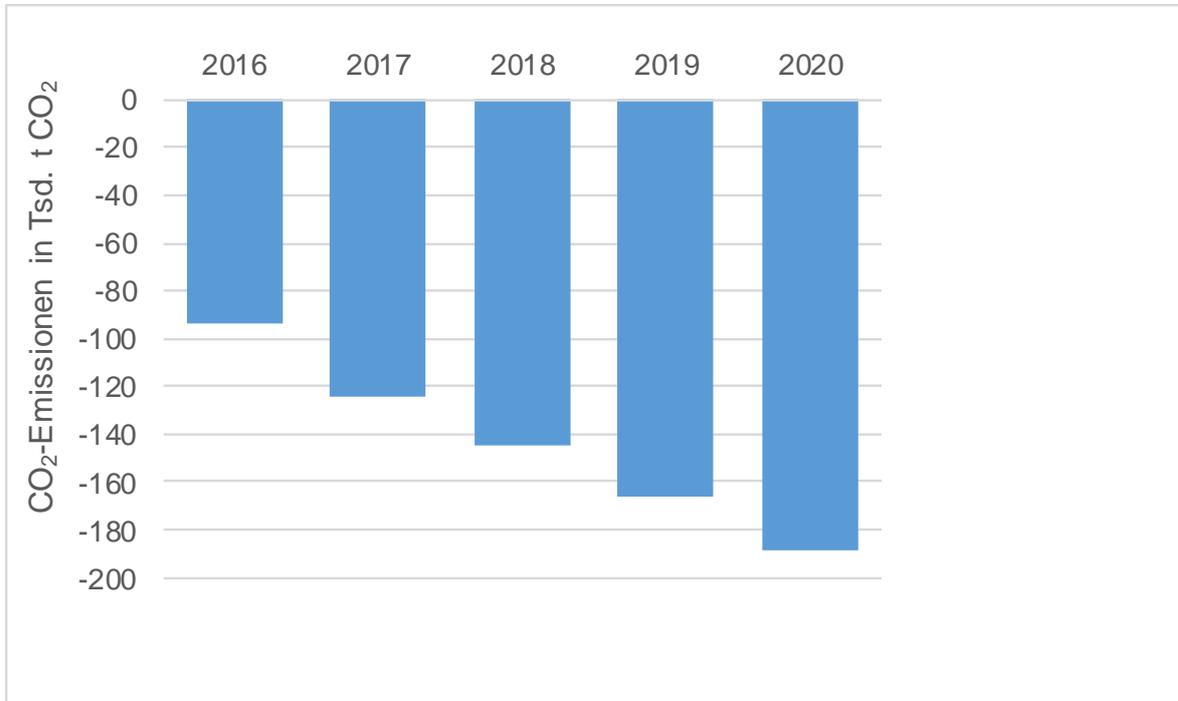
	Zusätzliche jährliche Erzeugung im Jahr 2020 in GWh		
	Strom	Wärme	Gesamt
Land Bremen			
BHKW	20	44	64
Wind	101	0	101
PV	2,4	0	2,4
GuD	222	0	222
Gesamt	345	44	389

*Quelle: eigene Berechnungen, Abweichungen zwischen Gesamtwert und Summe der Einzelwerte aufgrund von Rundungen*

## 5.7 Gesamtwirkung der Maßnahmen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen

Durch die Kombination der Maßnahmen in den Verbrauchssektoren, die zu Endenergieverbrauchseinsparungen führen, und Maßnahmen im Umwandlungssektor mit Wirkung auf die Emissionsfaktoren ergibt sich die in Abbildung 5-2 dargestellte Gesamtminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Referenzscenario. Eine vertiefte Untersuchung der Differenz der Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen den Sektoren wird in Kapitel 7 vorgenommen.

Abbildung 5-2: Wirkung der beschriebenen Maßnahmen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach KEP-Systematik, ohne Stahlindustrie, 2016 bis 2020, in Tsd. t CO<sub>2</sub>



Quelle: eigene Berechnungen

## 5.8 Maßnahmen der Stahlindustrie

Von ArcelorMittal Bremen [AMB, 2016] wurden uns Einsparoptionen für das Klimaschutzszenario in den Jahren 2016 bis 2020 mitgeteilt, inklusive dazugehöriger Energieeinsparerwartungen. Die Einsparoptionen im Einzelnen:

- Walzwerke
  - Teilsanierung des Ofengefäßes am Hubbalkenofen 3 im Warmwalzwerk
  - neue Austragtüren an den Hubbalkenöfen 1 und 2 im Warmwalzwerk sowie Erneuerung der Austragwand am Hubbalkenofen 2
  - Frequenzumrichter für Emulsions-Umwälzpumpen und Dunstabsaugung an der Beizkaltwalzanlage im Kaltwalzwerk
  - Optimierung der Hydraulikstationen der Beizkaltwalzwerkanlage
- Hochofen
  - Reduktion des Sinterbrennstoffverbrauchs an der Sinteranlage des Hochofenwerkes
  - Verbesserung des Frostschatzes für die Kühlkreisläufe am Hochofen 2
  - Sanierung des Belegschafts- und des Verwaltungsgebäudes des Hochofenwerkes
- Stahlwerk
  - Austausch Dampfspeicher für den Abhitzedampf im Stahlwerk
  - diverse Druckluftoptimierungen in Produktionsbetrieben
  - Installation einer zweiten drehzahlgeregelten Pumpe im Einlaufbauwerk Osterort

Werden alle Maßnahmen bereits ab 2016 umgesetzt, so können im Jahr 2020 27 TJ Strom, 171 TJ Erdgas sowie 440 TJ Koks eingespart werden. Die Kokeinsparung resultiert einzig aus der Maßnahme zur Reduktion von Koks in der Sinteranlage, die damit die bedeutendste Einzelmaßnahme darstellt.

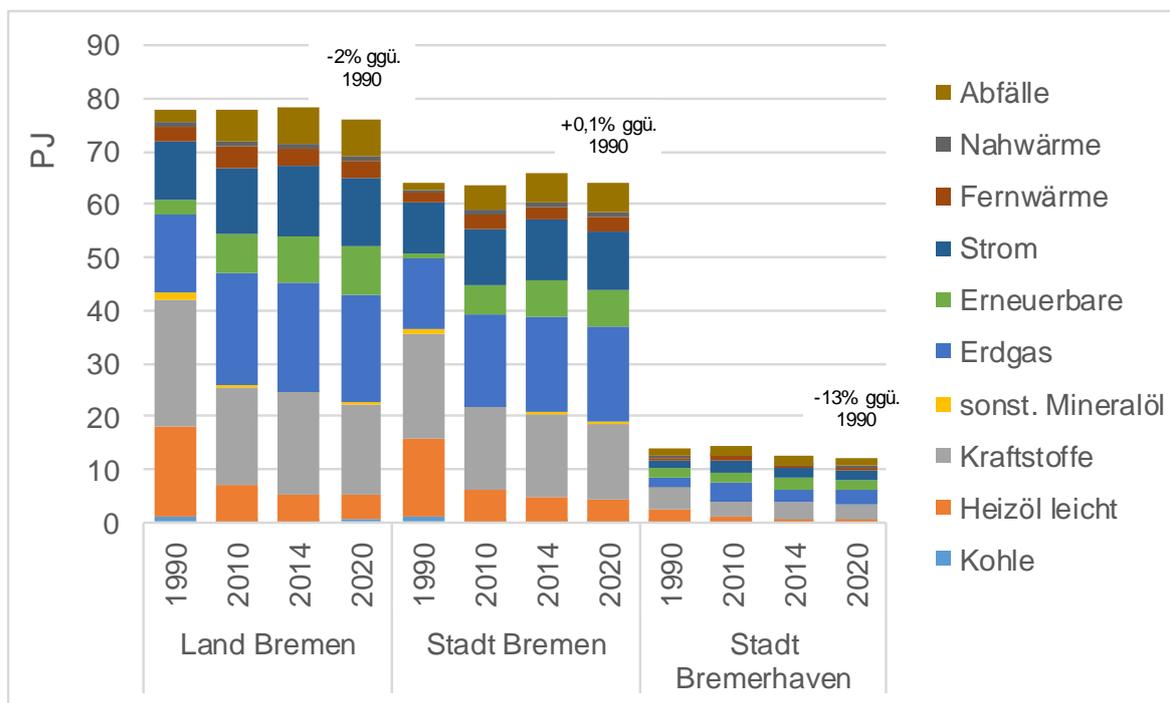
## 6 Klimaschutzscenario

Im Folgenden wird zunächst die Entwicklungen des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß Systematik der KEP-Bilanz im Klimaschutzscenario sektorübergreifend beschrieben. Anschließend wird die Entwicklung in den einzelnen Sektoren vorgestellt.

### 6.1 Sektorübergreifende Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik (ohne Stahlindustrie)

Der Energieverbrauch nach KEP-Systematik des Landes Bremen sinkt ausgehend von 2014 bis 2020 auf 76,2 PJ ab und liegt damit 2% unter dem Niveau von 1990 (vgl. Abbildung 6-1). Während 2020 der Energieverbrauch der Stadt Bremen auf dem Niveau von 1990 liegt, wird für Bremerhaven bis 2020 eine Absenkung um 13% gegenüber 1990 erreicht.

Abbildung 6-1: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Energieträgern im Klimaschutzscenario, ohne Stahlindustrie, in PJ

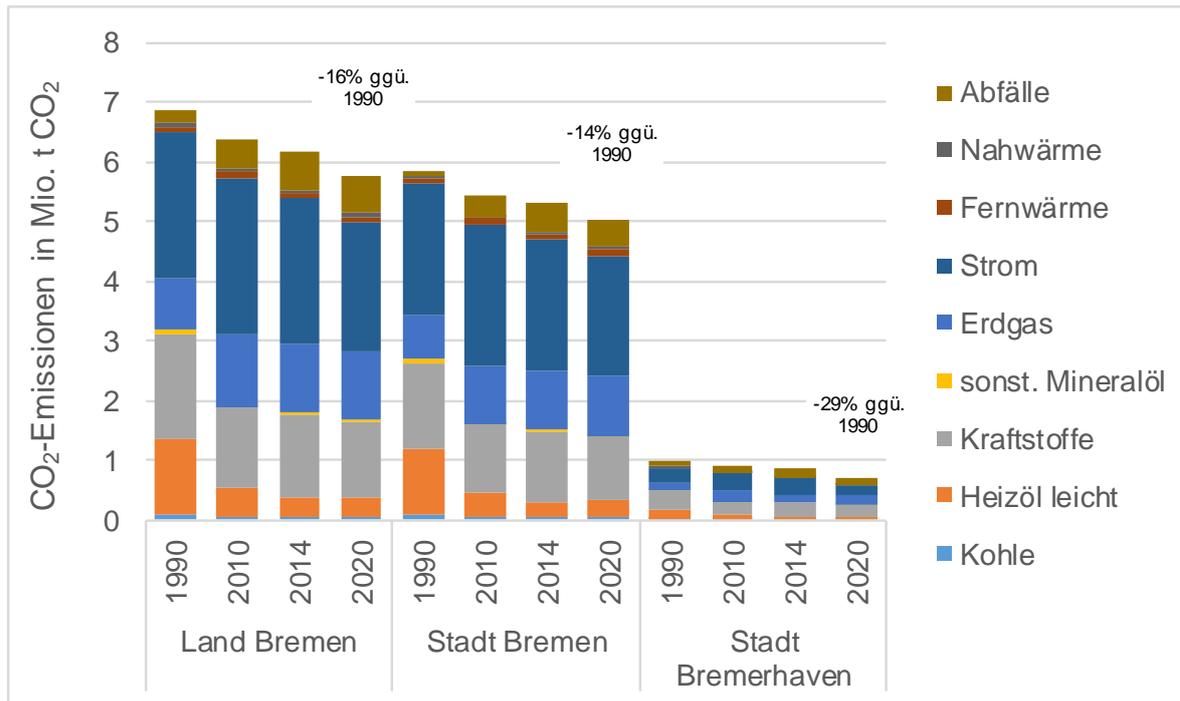


Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Durch die Substitution zu Energieträgern mit geringeren spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie durch den zunehmenden Einsatz Erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung, die sich auf den Emissionsfaktor des Stroms auswirken, sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik des Bundeslandes trotz eines

nahezu gleichbleibenden bzw. nur sehr geringfügig absinkenden Energieverbrauchs und liegen 2020 mit 5,8 Mio. t CO<sub>2</sub> um 16% unter dem Niveau von 1990 (vgl. Abbildung 6-2). Die Emissionen der Stadt Bremen werden gegenüber 1990 um 14% gemindert – in Bremerhaven beträgt die Minderung im gleichen Zeitraum 29%.

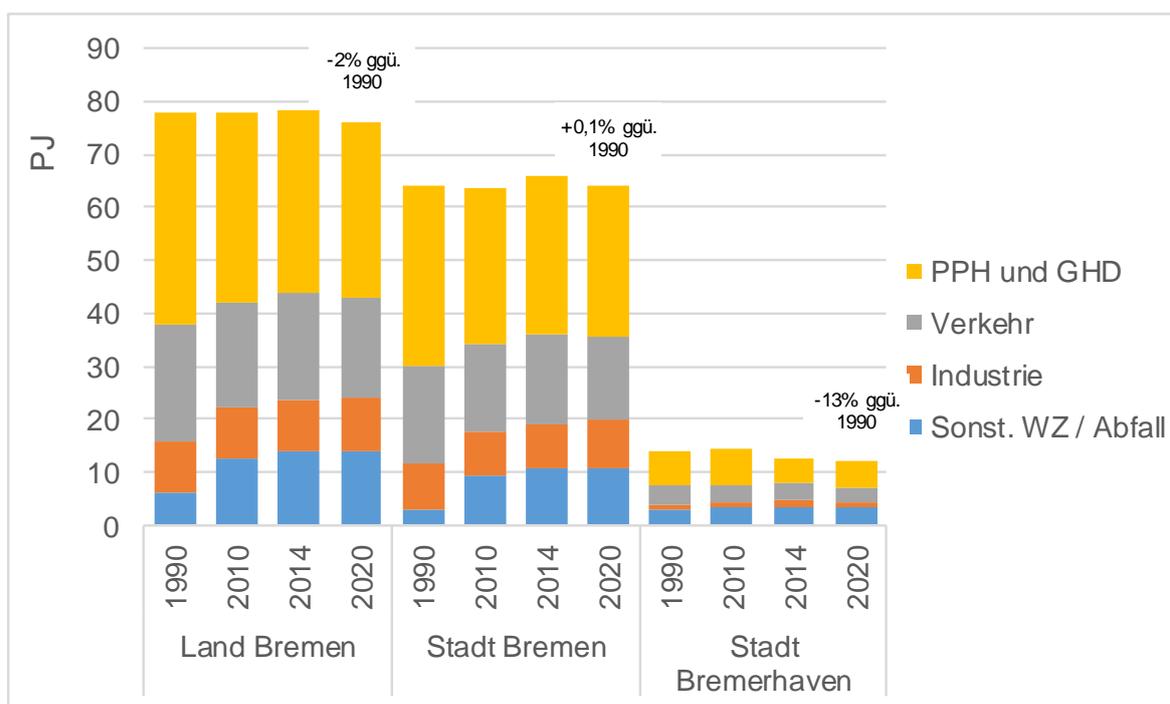
Abbildung 6-2: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik nach Energieträgern im Klimaschutzscenario, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Der Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Sektoren ist in Abbildung 6-3 dargestellt. Die Sektoren PPH und GHD haben zusammen den größten Anteil am Endenergieverbrauch im Land Bremen. Zwischen 1990 und 2020 sinkt deren Endenergieverbrauch von 40 auf 33 PJ. Der Sektor mit dem größten Zuwachs ist der Sektor Sonst. WZ/Abfall. Insbesondere der Energieeinsatz der Abfallverbrennung in der Stadt Bremen ist zwischen 1990 und 2014 stark angestiegen, bleibt jedoch danach auf dem 2015 erreichten Niveau konstant. Der Energieverbrauch im Verkehrssektor ist von 1990 bis 2010 um 10 % gesunken und geht bis 2020 nochmals um 4 % zurück. Der Endenergieverbrauch nach KEP-Systematik im Industriesektor (ohne Stahlindustrie) bleibt auf Landesebene zwischen 1990 und 2020 weitgehend konstant.

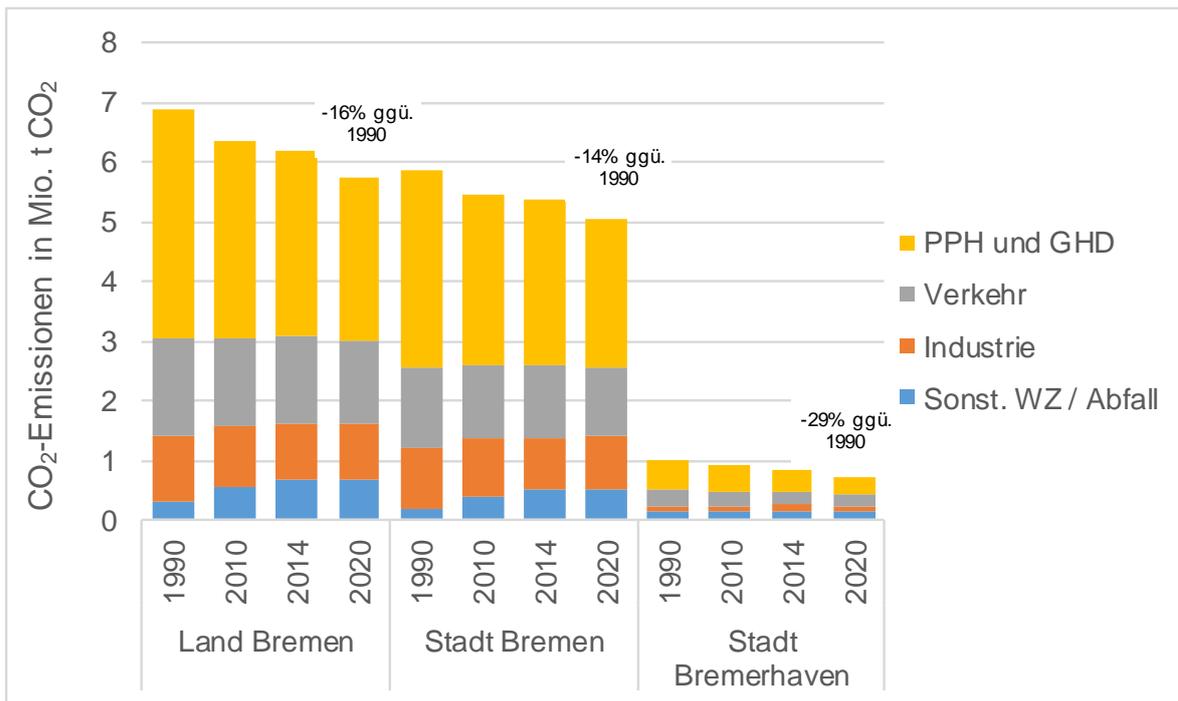
Abbildung 6-3: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Sektoren im Klimaschutzscenario, ohne Stahlindustrie, in PJ



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Die Anteile der Sektoren an den CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Bilanz (vgl. Abbildung 6-4) fallen ähnlich wie die entsprechenden Anteile beim Endenergieverbrauch aus. Abweichend davon hat der Sektor Sonst. WZ/Abfall einen kleineren Anteil, da die Hälfte des Abfalls als erneuerbarer Abfall eingestuft wird und deshalb keine Emissionen angerechnet werden.

Abbildung 6-4: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik nach Sektoren im Klimaschutzscenario, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>

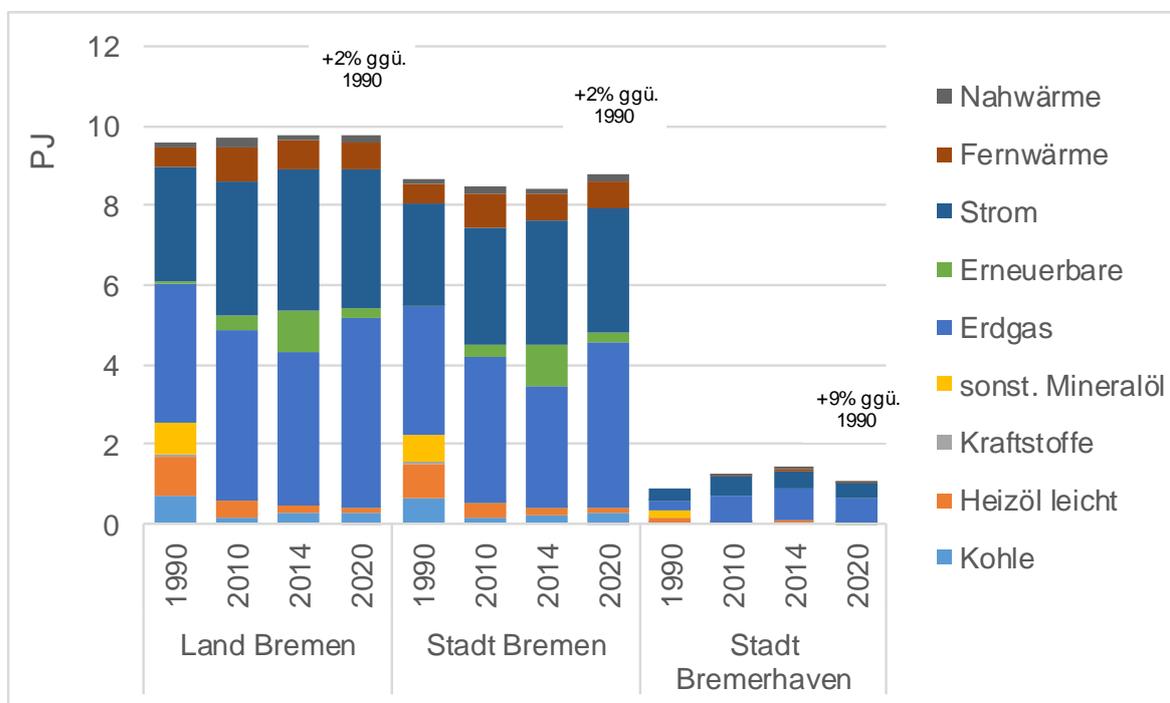


Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

## 6.2 Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik der Industrie ohne Stahlindustrie und Sonstige Wirtschaftszweige/Abfallverbrennung

Der Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik der Industrie im Land Bremen exklusive Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall steigt (vgl. Abbildung 6-5). Die jährlichen Verbräuche weisen hohe Schwankungen im Bereich von 1 PJ auf.<sup>8</sup> Im Jahr 2020 liegt der Verbrauch mit 9,8 PJ leicht über dem Niveau von 1990.

Abbildung 6-5: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik der Industrie nach Energieträgern im Klimaschutzscenario, ohne Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall, in PJ



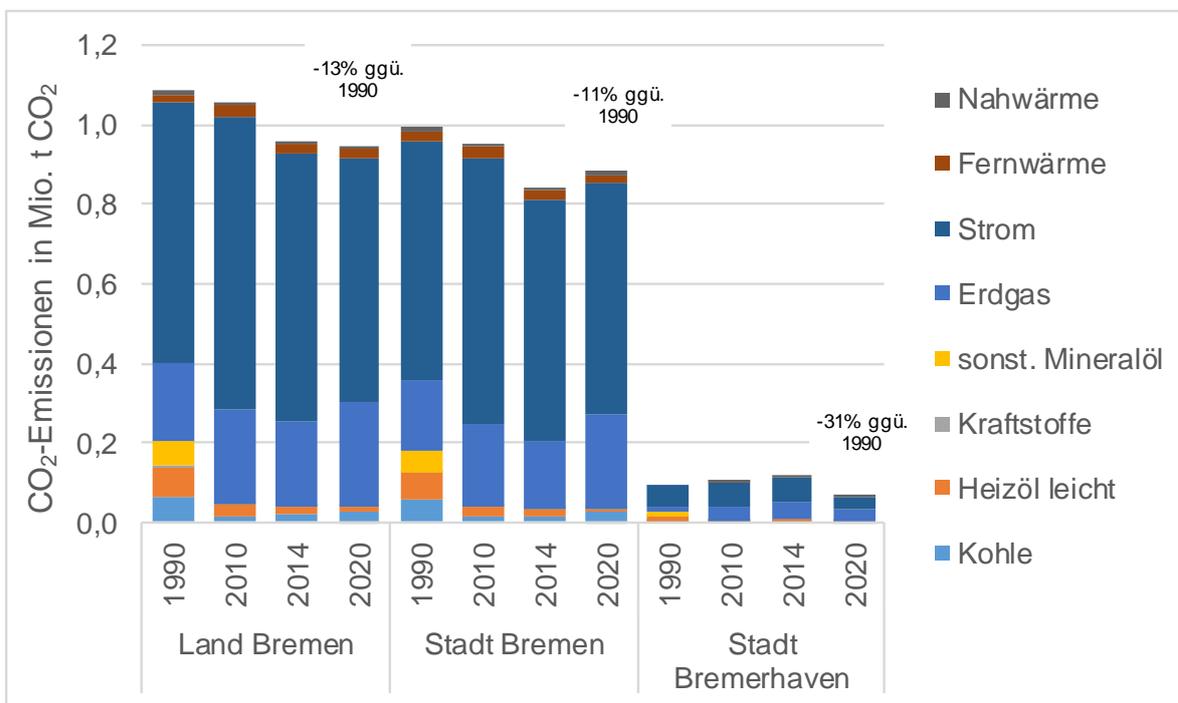
Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Eine herausgehobene Bedeutung kommen im Industriesektor den Energieträgern Erdgas und Strom zu, die im Jahr 2020 mit 4,8 und 3,5 PJ 84% des Energieverbrauchs ausmachen. Hatten im Jahr 1990 Mineralölprodukte und Kohle einen wesentlichen Anteil am Energieverbrauch gemäß KEP-Systematik der Industrie exklusive Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall, so spielen sie bereits im Jahr 2010 eine untergeordnete Rolle.

<sup>8</sup> In der Abbildung ist dies nicht ersichtlich aufgrund der nur teilweise dargestellten Jahre.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik des Industriesektors exklusive der Stahlindustrie und der Abfallverbrennung liegen im Jahr 2020 mit 950 Tsd. t 13% unter dem Niveau von 1990 (vgl. Abbildung 6-6). Die Emissionen werden von den indirekten Emissionen des Stromeinsatzes dominiert, daneben spielen die Emissionen durch Verbrennung von Erdgas eine Rolle. Die indirekten Emissionen durch Stromeinsatz verursachen mit rund 610 Tsd. t CO<sub>2</sub> 71% der gesamten Emissionen im Industriesektor ohne Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall.

Abbildung 6-6: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie gemäß KEP-Systematik nach Energieträgern im Klimaschutzszenario, ohne Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall, in Mio. t CO<sub>2</sub>

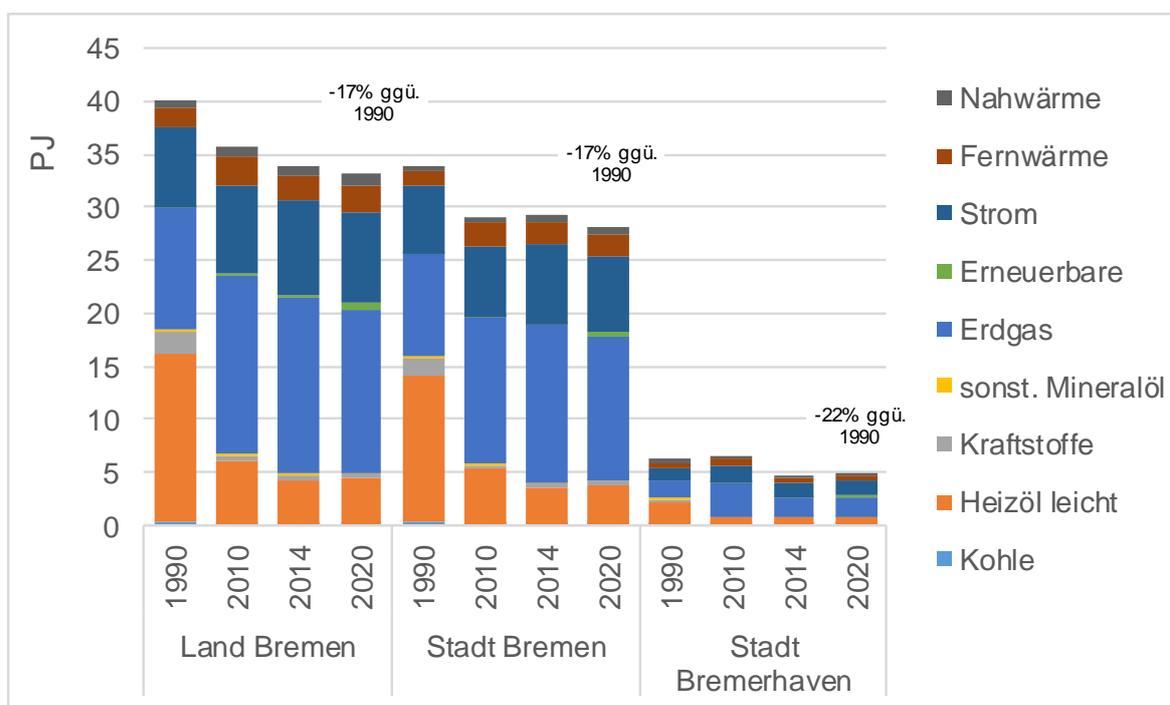


Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

### 6.3 Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik der Sektoren Private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

Der Endenergieverbrauch der Sektoren PHH und GHD im Land Bremen sinkt zwischen 1990 und 2020 um 17% von 40 auf 33 PJ (vgl. Abbildung 6-7). In der Stadt Bremen fällt die Absenkung mit 17% unterdurchschnittlich, in Bremerhaven mit 22% überdurchschnittlich aus. Erdgas hat mit einem Verbrauch von 15 PJ im Jahr 2020 den höchsten Anteil am Endenergieverbrauch der Sektoren GHD und PHH im Bundesland Bremen, gefolgt von Strom mit einem Absatz von 8,4 PJ. Weitere relevante Anteile haben leichtes Heizöl (4,4 PJ) und Fernwärme (2,7 PJ).

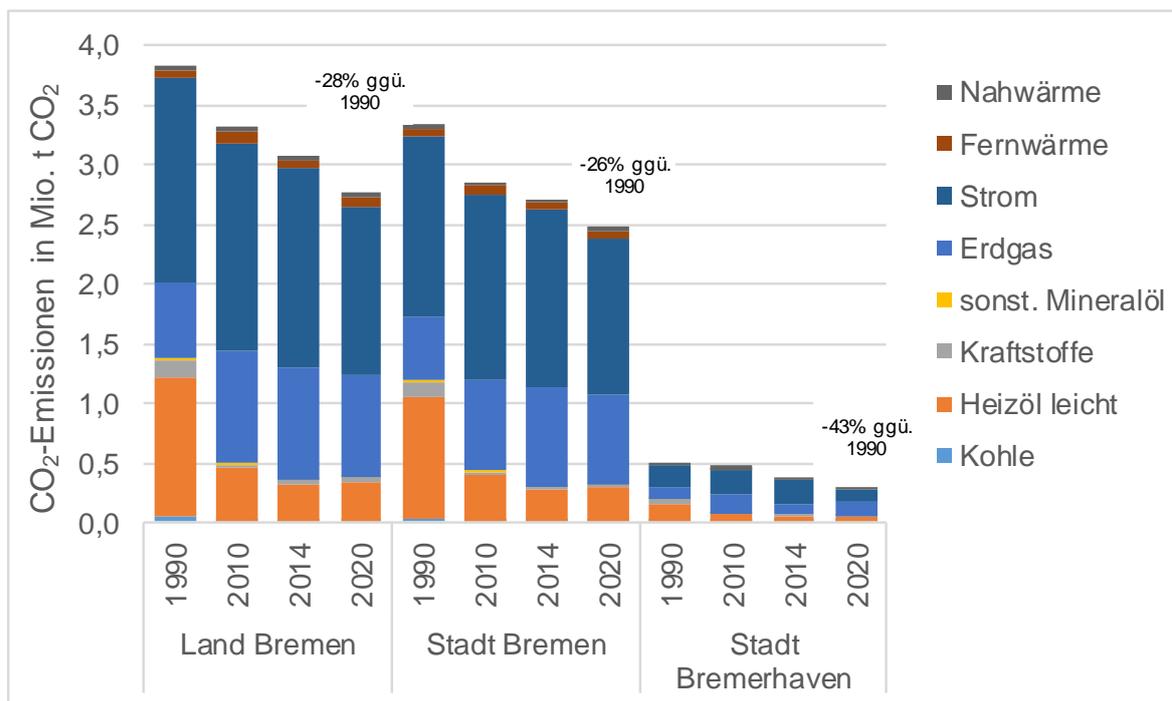
Abbildung 6-7: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik von GHD und PHH nach Energieträgern im Klimaschutzszenario, in PJ



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik der Sektoren PHH und GHD sinken im Land Bremen zwischen 1990 und 2020 um 28% von 3,8 auf 2,8 Mio. t (vgl. Abbildung 6-8). Innerhalb der Energieträger dominieren die indirekten Emissionen durch Stromverbrauch mit 1,4 Mio. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2020, gefolgt von den Emissionen durch Verbrennung von Erdgas (860 Tsd. t) und leichtem Heizöl (320 Tsd. t).

Abbildung 6-8: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik von GHD und PHH nach Energieträgern im Klimaschutzszenario, in Mio. t CO<sub>2</sub>



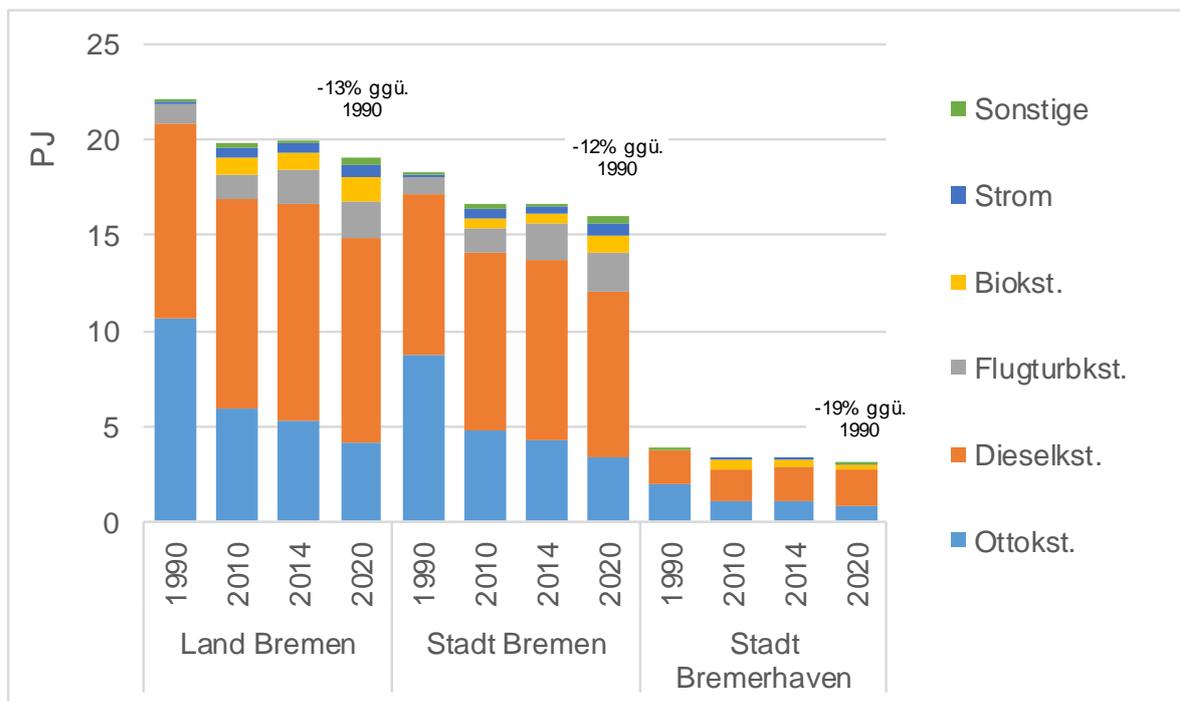
Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

## 6.4 Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik des Verkehrssektors

Der Endenergieverbrauch des Verkehrssektors im Land Bremen sinkt zwischen 1990 und 2020 um 13% von 22 auf 19 PJ (vgl. Abbildung 6-9). In der Stadt Bremen fällt die Reduktion mit 12% geringer, in der Stadt Bremerhaven mit 19% größer aus. Der Energieverbrauch wird von Otto-, Diesel- und Flugturbinenkraftstoffen dominiert.

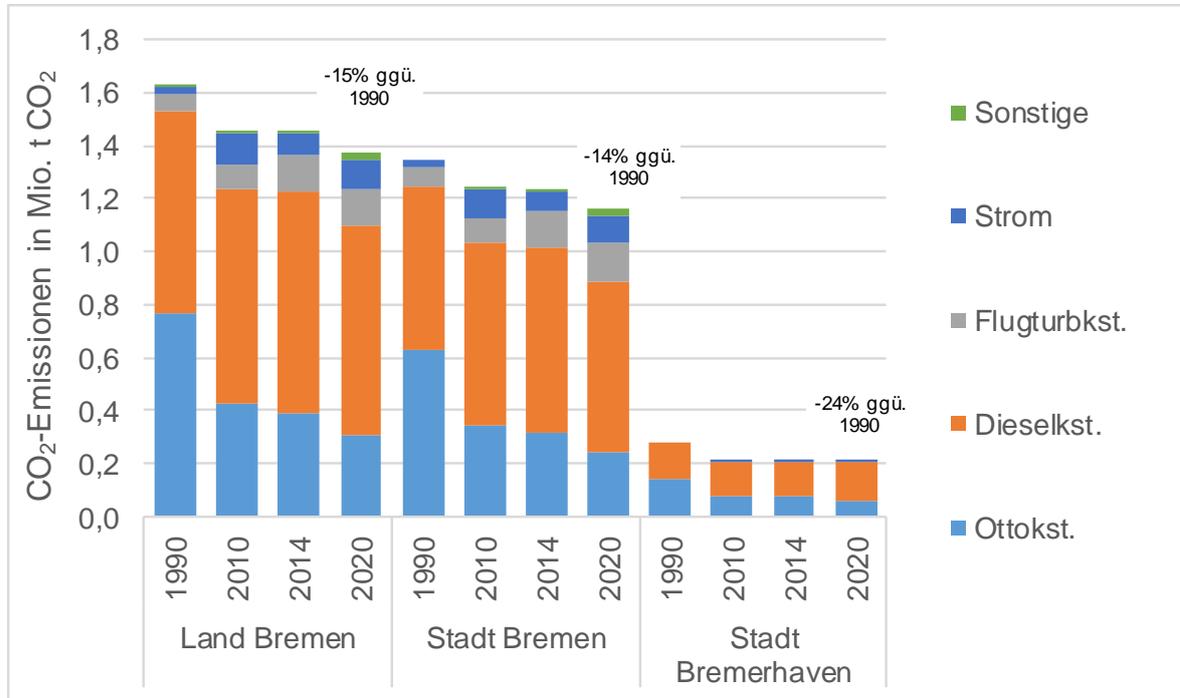
Die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik des Verkehrssektors sinken im Land Bremen zwischen 1990 und 2020 um 15% von 1,6 auf 1,4 Mio. t (vgl. Abbildung 6-10).

Abbildung 6-9: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik des Verkehrssektors nach Energieträgern im Klimaschutzenszenario, in PJ



Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Abbildung 6-10: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach KEP-Systematik des Verkehrssektors nach Energieträgern im Klimaschutzscenario, in Mio. t CO<sub>2</sub>

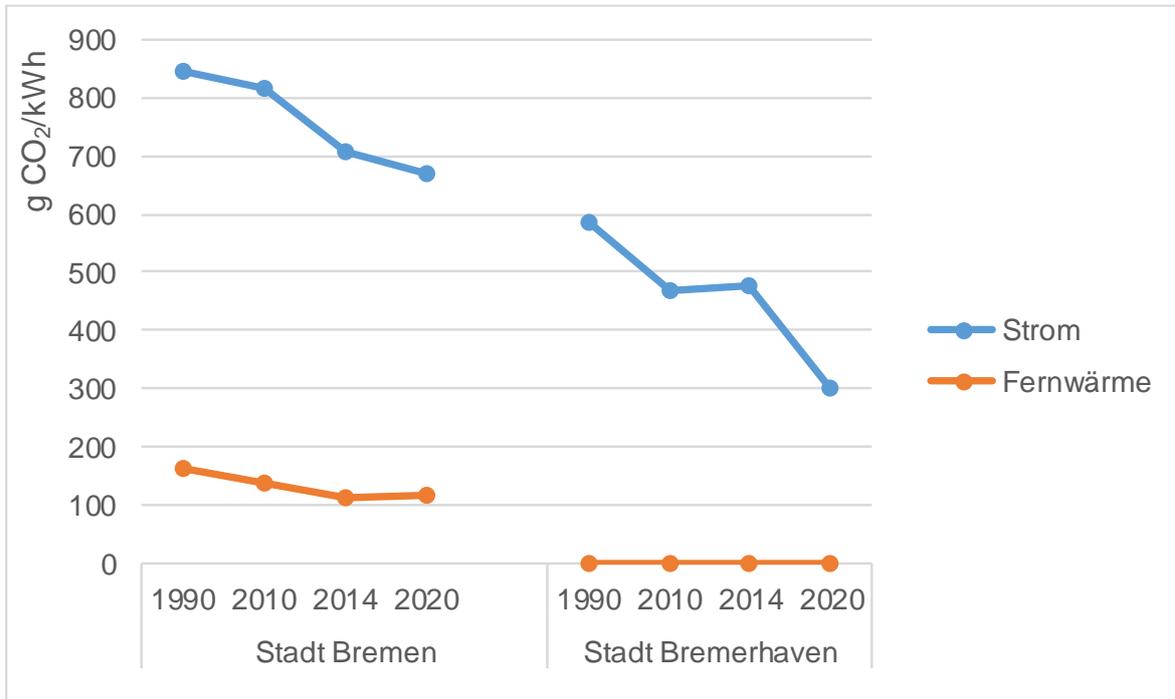


Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

## 6.5 Entwicklung der spezifischen Emissionen von Strom und Fernwärme

Die Entwicklungen der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren gemäß KEP-Systematik für Strom und Fernwärme sind für die beiden Kommunen Stadt Bremen und Bremerhaven in Abbildung 6-11 dargestellt. Der Strom-Emissionsfaktor der Stadt Bremerhaven liegt zwischen 30 und 55% unter dem Strom-Emissionsfaktor der Stadt Bremen. Der Grund hierfür liegt in der unterschiedlichen Zusammensetzung des Kraftwerkparks in den beiden Kommunen, insbesondere in dem hohen Anteil von Steinkohlekraftwerken an der Stromerzeugung in der Stadt Bremen. Der Strom-Emissionsfaktor ist zwischen 1990 und 2014 in beiden Kommunen deutlich gesunken (Stadt Bremen: -16%, Bremerhaven: -19%). Zwischen 2014 und 2020 sinkt der Strom-Emissionsfaktor der Stadt Bremen um weitere 5%, während in Bremerhaven mit -37% eine weitere hohe Absenkung erreicht wird. Der Grund hierfür ist der im Vergleich zum Stromverbrauch der beiden Kommunen relativ hohe Zubau an Erneuerbaren Energien in Bremerhaven. So erhöht sich der Anteil an Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung in Bremerhaven im Jahr 2020 im Vergleich zu 2014 um mehr als neun Prozentpunkte. In der Stadt Bremen erhöht sich der Anteil an Erneuerbaren Energien im gleichen Zeitraum hingegen um zwei Prozentpunkte.

Abbildung 6-11: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nach KEP-Systematik nach Energieträgern im Klimaschutzscenario, in g CO<sub>2</sub>/kWh

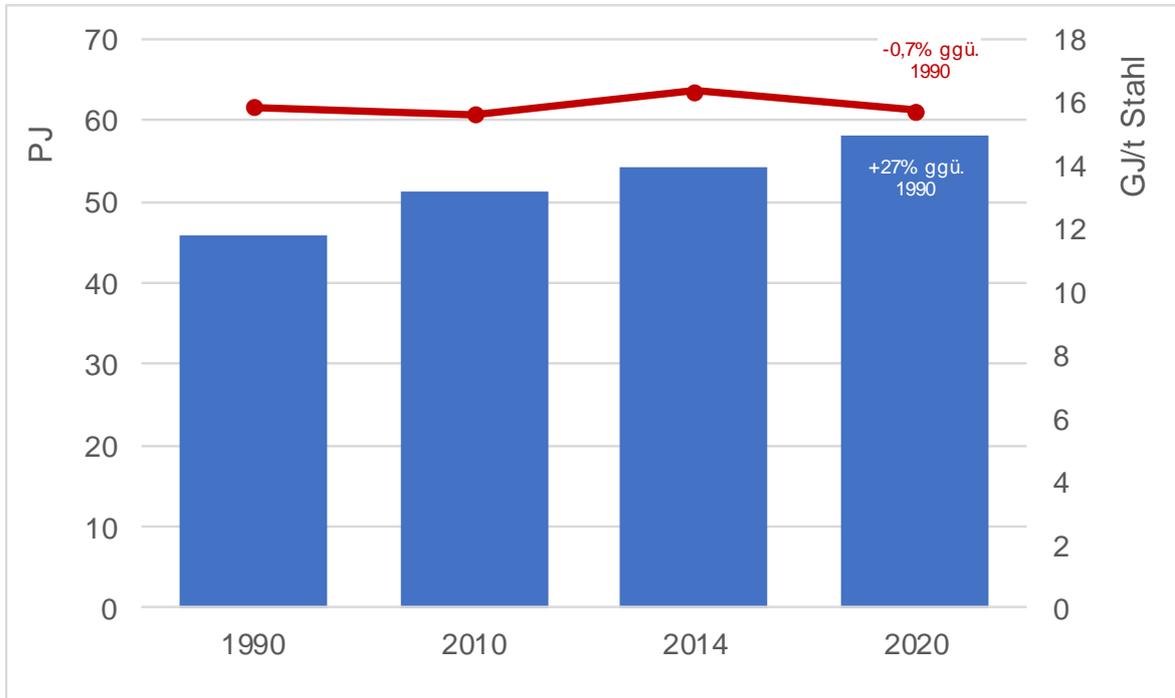


Quellen: für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

## 6.6 Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik der Stahlindustrie

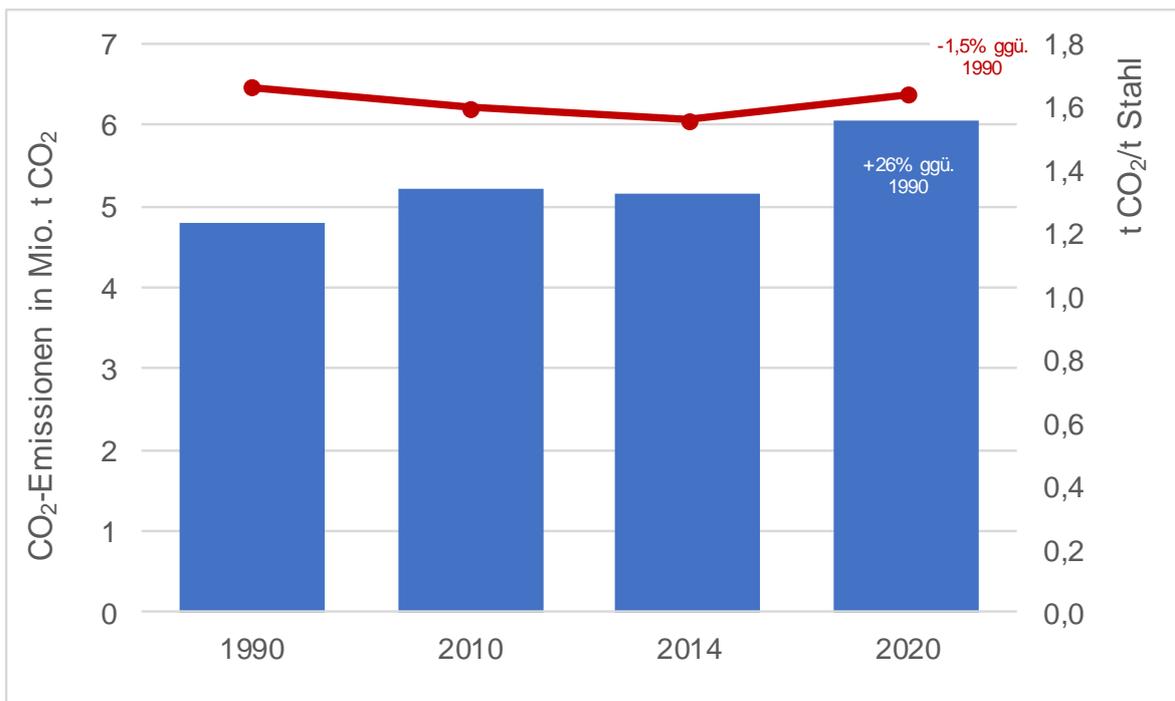
Im Klimaschutzscenario werden die in Kapitel 5.8 näher beschriebenen Maßnahmen umgesetzt, wodurch gegenüber dem Referenzscenario weniger Endenergie verbraucht wird. Die gesteigerte Energieeffizienz und die niedrigeren spezifischen Emissionen des eingesetzten Stroms führen zu vergleichsweise niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen. Wesentlicher Treiber von Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen bleibt jedoch die weiter steigende Rohstahlproduktion. Insgesamt wird bis 2020 ein weiteres Wachstum des Endenergieverbrauchs erwartet, sodass dieser 2020 den Wert von 1990 um 27% überschreitet (vgl. Abbildung 6-12). Die verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik wachsen ebenfalls bis 2020 weiter an (6,1 Mio. t) und liegen dann 26% über dem Niveau von 1990 (vgl. Abbildung 6-13). Im Unterschied dazu steigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Referenzscenario auf 6,2 Mio. t und liegen damit 29% über dem Wert von 1990. Die mit der Produktion einer Tonne Stahl verbundenen Emissionen (CO<sub>2</sub>-Intensität) liegen im Jahr 2020 mit 1,6 t CO<sub>2</sub> je produzierter Tonne Stahl 1,5 % unter dem Niveau von 1990.

Abbildung 6-12: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik der Stahlindustrie, in PJ; spezifischer Energieverbrauch je produzierter Tonne Stahl im Klimaschutzscenario, in GJ/t Stahl



Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Abbildung 6-13: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach KEP-Systematik der Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>; CO<sub>2</sub>-Intensität im Klimaschutzscenario, in t CO<sub>2</sub>/t Stahl



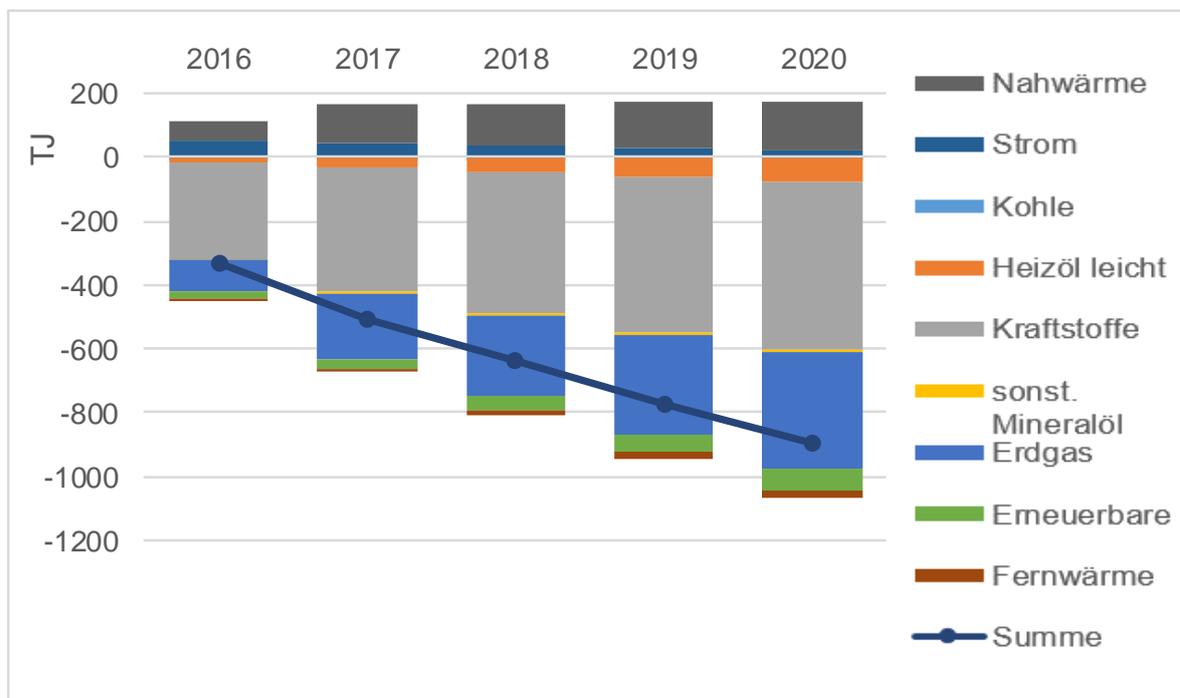
Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

## 7 Szenarienvergleich: Klimaschutzszenario versus Referenzszenario

Das Klimaschutzszenario definiert sich ausgehend vom Referenzszenario. Davon ausgehend wird die Wirkung der Maßnahmen gemäß des KEP (entsprechend Entwurf vom 9. Februar 2016) abgebildet. Die einzelnen Maßnahmen sind einschließlich ihrer Wirkung auf den Endenergieverbrauch und die Stromproduktion in Kapitel 5 dargestellt. Durch den nachfolgenden Szenarienvergleich wird die Gesamtwirkung aller Maßnahmen auf Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen jeweils nach Energieträgern und Sektoren dargestellt.

Abbildung 7-1 zeigt die Differenz des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern zwischen den Szenarien in den Jahren 2016 bis 2020. Der größte Teil der Einsparungen wird bei den Kraftstoffen (59% der Einsparungen in 2020) und dem Erdgas (41% der Einsparungen in 2020) erreicht, wohingegen die Nachfrage nach Nahwärme und Strom im Klimaschutzszenario höher als in der Referenz ausfällt.

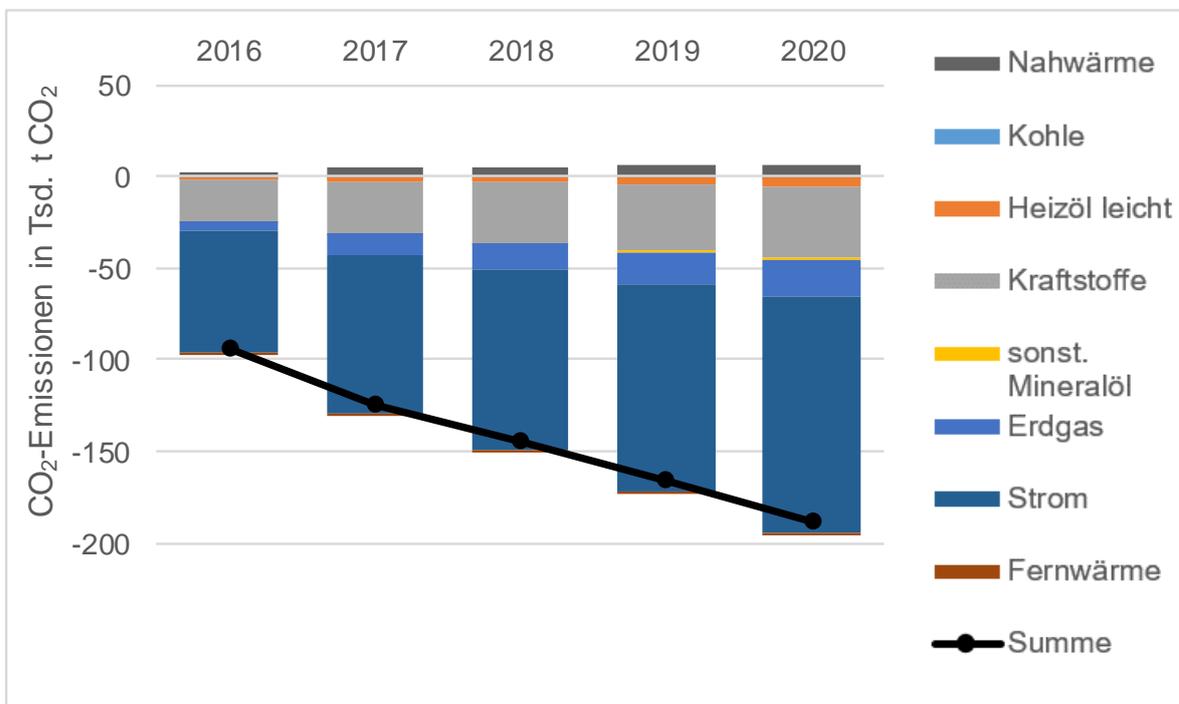
Abbildung 7-1: Differenz des Endenergieverbrauchs nach KEP-Systematik zwischen Klimaschutz- und Referenzszenario nach Energieträgern und in Summe, ohne Stahlindustrie, in TJ



Quelle: eigene Berechnungen

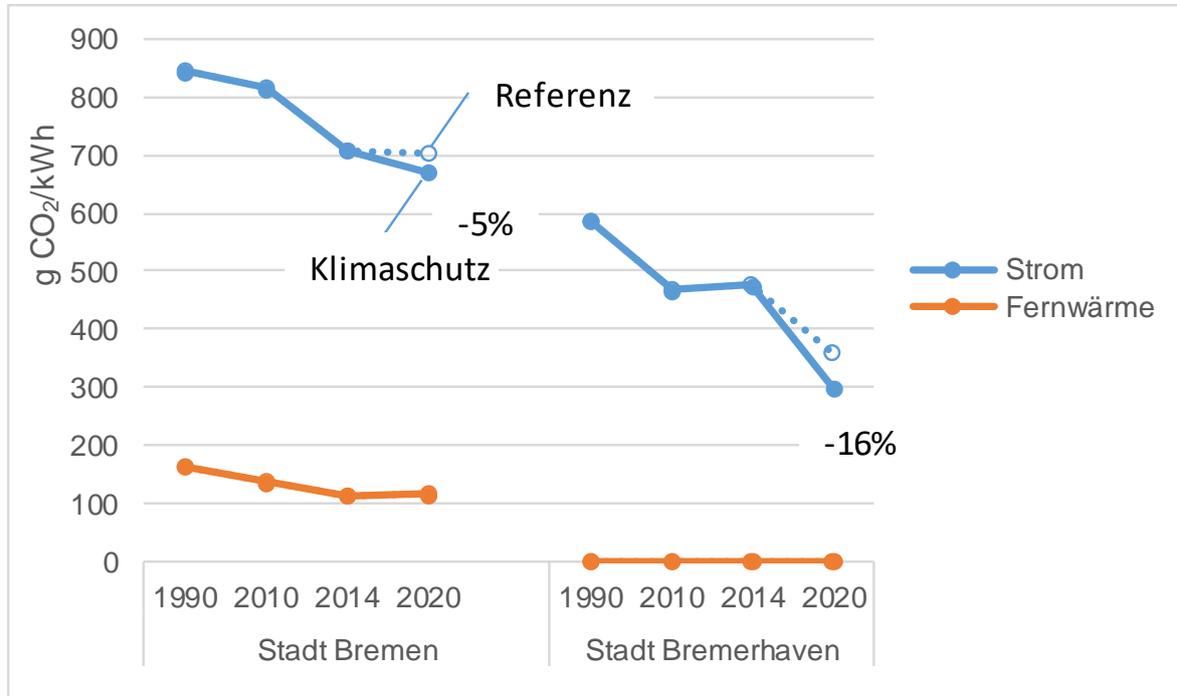
Bezüglich der CO<sub>2</sub>-Emissionen zeigt die Abweichung zwischen den Szenarien nach Energieträgern ein anderes Bild (vgl. Abbildung 7-2). Der Großteil der Minderung (68% der Minderung in 2020) wird über den Sekundärenergieträger Strom erreicht. Dies ist trotz des im Klimaschutzszenario gegenüber dem Referenzszenario höheren Stromverbrauchs möglich, da die CO<sub>2</sub>-Intensität der Stromerzeugung in den Städten Bremen und Bremerhaven gegenüber dem Referenzszenario deutlich zurückgeht und im Jahr 2020 um 5% (Bremen) bzw. um 16% (Bremerhaven) niedriger liegt (vgl. Abbildung 7-3).

Abbildung 7-2: Differenz der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach KEP-Systematik zwischen Klimaschutz- und Referenzszenario nach Energieträgern und in Summe, ohne Stahlindustrie, 2016 bis 2020, in Tsd. t CO<sub>2</sub>



Quelle: eigene Berechnungen

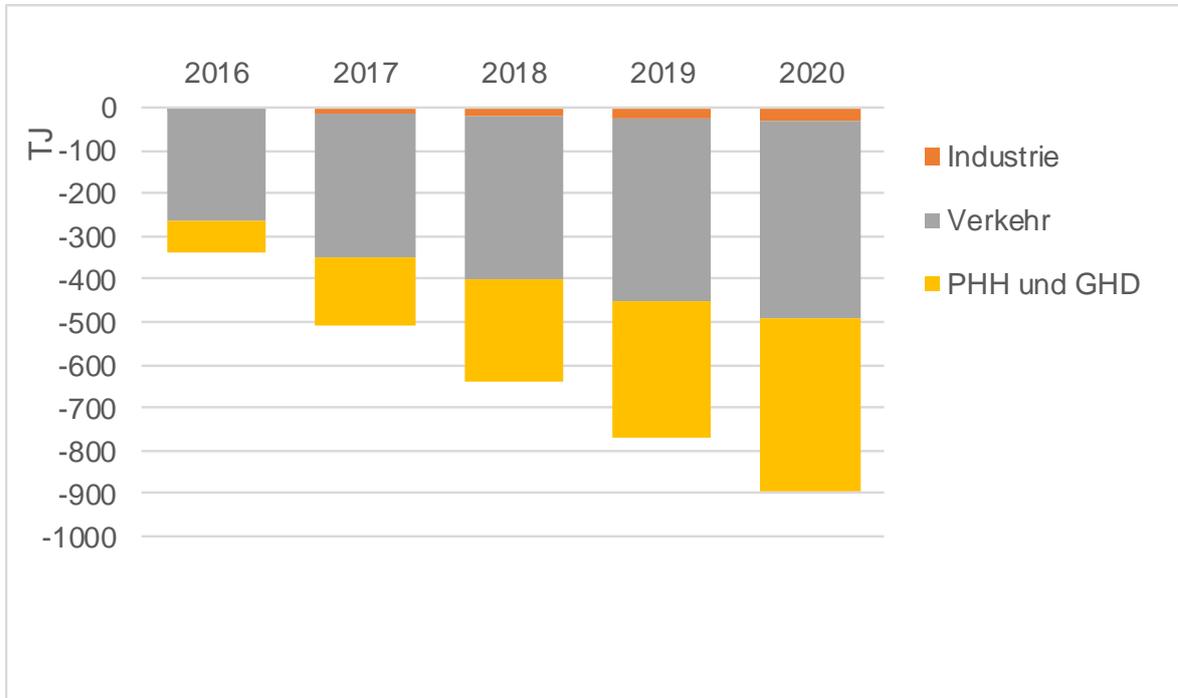
Abbildung 7-3: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren nach KEP-Systematik nach Energieträgern im Klimaschutz- und im Referenzszenario, in g CO<sub>2</sub>/kWh



Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

Die Verteilung der Endenergieverbrauchseinsparungen auf die Sektoren im Klimaschutzszenario gegenüber dem Referenzszenario ist in Abbildung 7-4 dargestellt. Die größten Einsparungen werden im Verkehrssektor (52% der Einsparungen in 2020) und in den Sektoren PHH und GHD (zusammen 45% der Einsparungen in 2020) erreicht, wohingegen die Einsparungen im Sektor Industrie (ohne Stahlindustrie) gering ausfallen.

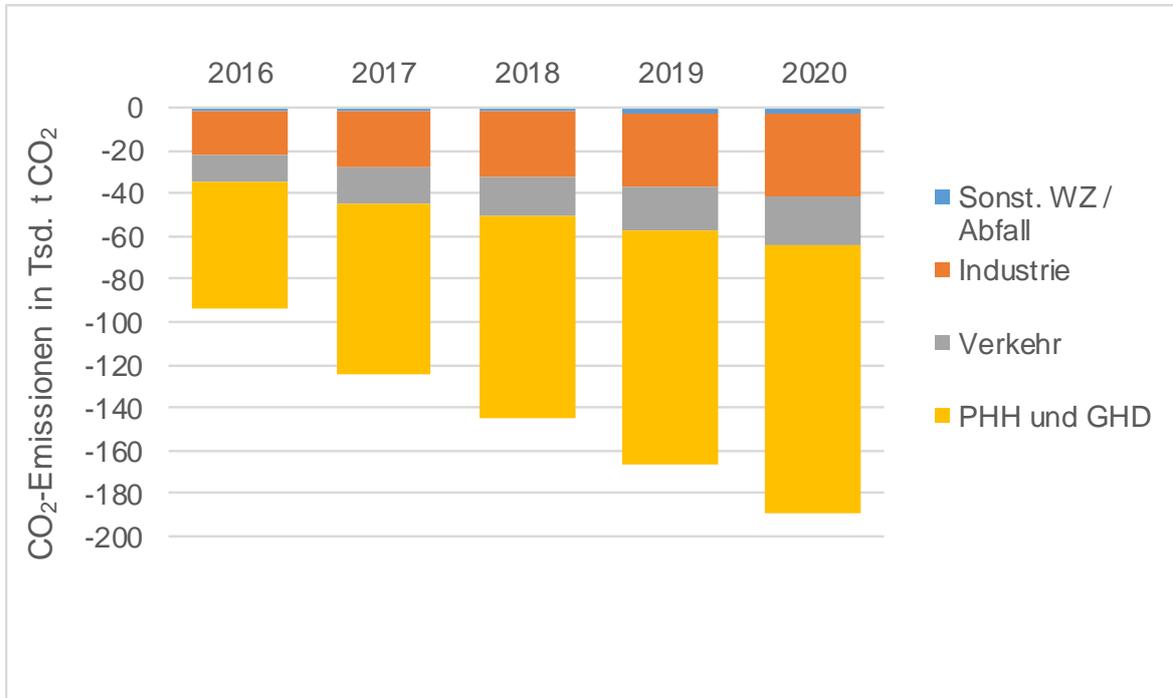
Abbildung 7-4: Differenz des Endenergieverbrauchs nach KEP-Systematik zwischen Klimaschutz- und Referenzszenario nach Sektoren, ohne Stahlindustrie, 2016 bis 2020, in TJ



Quelle: eigene Berechnungen

Durch die große Bedeutung der CO<sub>2</sub>-Minderungen über den im Klimaschutzszenario niedriger liegenden Emissionsfaktor für Strom in den Städten Bremen und Bremerhaven fällt die Verteilung der CO<sub>2</sub>-Minderung auf die Sektoren im Klimaschutzszenario gegenüber dem Referenzszenario deutlich anders aus als bei der Differenz des Endenergieverbrauchs. Eine große Minderung wird primär in Sektoren erreicht, die hohe Anteile am Stromverbrauch in den Städten Bremen und Bremerhaven haben: Der Großteil der Minderung wird in den Sektoren PHH und GHD erreicht (zusammen 66% der Minderung in 2020) und nur noch ein vergleichsweise kleiner Teil der Minderung entfällt auf den Verkehrssektor (12% der Minderung in 2020; vgl. Abbildung 7-5).

Abbildung 7-5: Differenz der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach KEP-Systematik zwischen Klimaschutz- und Referenzszenario nach Sektoren, ohne Stahlindustrie, 2016 bis 2020, in Tsd. t CO<sub>2</sub>



Quelle: eigene Berechnungen

## 8 Weitere Maßnahmenvorschläge

Die Maßnahmen des KEP entsprechend dem Entwurf vom 9. Februar 2016 [SUBV, 2016] reichen nicht aus, um das Ziel einer Minderung von 40% gegenüber den Emissionen von 1990 zu erreichen. Im Folgenden werden deshalb weitere Maßnahmen untersucht, die dazu beitragen, die Emissionen gegenüber dem beschriebenen Klimaschutzszenario weiter zu mindern.

Die untersuchten weiteren Maßnahmen und die jeweils betroffenen Sektoren sind in Tabelle 8-1 aufgeführt. Hierbei handelt es sich um Maßnahmenvorschläge, die im Rahmen der landesweiten Klimakonferenz am 17. Februar 2016 in Bremerhaven entwickelt wurden (Z06 bis Z09) sowie um Ideen für weitere Klimaschutzmaßnahmen, die vom Senator für Umwelt, Bau und Verkehr mit der Bitte um Quantifizierung der zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte übermittelt wurden (Z01 bis Z05).

*Tabelle 8-1: Weitere Maßnahmen*

Nr.	Beschreibung
Z01	neuer Schwerpunkt Stromsparen im REN-Programm
Z02	Stromsparkampagne Private Haushalte
Z03	Substitution Ölheizungen
Z04	klimaverträgliche Nahwärmeversorgung von Neubaugebieten
Z05	Förderprogramm Photovoltaik
Z06	BHKW-Potenzialstudien Wohnungswirtschaft
Z07	Energieberichte der bremischen Gesellschaften
Z08	Kofinanzierungsfonds für Klimaschutzprojekte
Z09	Instrumentencheck Klimaschutzpotenzial

### **Z01: Neuer Schwerpunkt Stromsparen im REN-Programm**

- Angenommen wird eine Mittelaufstockung innerhalb des REN-Programms um rund 200.000 Euro pro Jahr für die Jahre 2018, 2019 und 2020. Gefördert wird damit die Einsparung von elektrischem Strom innerhalb von Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des GHD-Sektors. Im Strombereich wird gegenüber den bisherigen Maßnahmen, die überwiegend im Wärmebereich durchgeführt wurden, eine niedrigere Energieeinspareffizienz unterstellt. Zur Abschätzung der Wirkung des neuen Schwerpunkts wurde eine gegenüber dem laufenden REN-Programm (M04) leicht niedrigere Energieeinspareffizienz (Endenergieverbrauchs-Einsparung je Fördereuro) von rund 80 MJ/Jahr je Euro herangezogen.

- Damit ergibt sich eine Wirkung des Schwerpunkts „Stromsparen“ von rund 16 TJ/Jahr; bis 2020 steigt damit die jährliche Einsparung auf 48 TJ. Mit einem durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Faktor für Strom von rund 187 t/TJ resultiert die Stromeinsparung in einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von rund 9,0 Tsd. t im Jahr 2020.
- Da der einzige Unterschied des neuen zum bestehenden REN-Programm in der Beschränkung auf Stromanwendungen liegt, ist das laufende Programm ein guter Maßstab zur Abschätzung des Effekts. Ausschlaggebend sind weniger die umgesetzten Maßnahmen (für diese gilt meist ohnehin das Wirtschaftlichkeitskriterium von wenigen Jahren Amortisationszeit), vielmehr zählt die Reichweite eines Programms. Die Reichweiten des bestehenden und des zukünftigen Programms wurden als identisch angenommen.
- Durch eine Fortführung der Maßnahme können auch zwischen 2020 und 2030 weitere Effizienzeinsparungen in gleichbleibender Höhe erreicht werden.

## **Z02: Stromsparkampagne für Private Haushalte (Förderung Haushaltsgeräte)**

- Motivations-, Informations- und Beratungsmaßnahmen sind wichtig für die Unterstützung und Umsetzung von anderen Instrumenten wie z. B. Förderprogrammen. Die Quantifizierung des Effektes solcher Transaktionsinstrumente ist allerdings generell schwierig, insbesondere wenn präzisere Vorstellungen zu Umfang und Ausgestaltung fehlen. Eine Quantifizierung dieser Maßnahmen kann deshalb im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden.
- Der Effekt eines Förderprogramms für effiziente Haushaltsgeräte wird beispielhaft an Kühlschränken aufgezeigt. Die Einsparwirkungen der übrigen Großgeräte, wie zum Beispiel Herde liegen in einer vergleichbaren Größenordnung. Die Effekte, aber auch die Kosten können näherungsweise addiert werden.
- Beispiel Kühlschrank:  
Der Bestand an Kühlschränken liegt im Land Bremen bei rund 285.000 Geräten, ohne Kühl-Gefrier-Kombi-Geräte. Der jährliche Absatz neuer Kühlschränke beträgt rund 20.000 Stück.
- Der Verbrauch von Best-Geräten liegt bei etwa 125 kWh/Jahr, bei einem durchschnittlichen Neugerät bei

etwa 150 kWh/Jahr. Die mittlere Einsparung durch ein (zusätzliches) Best-Gerät liegt demnach bei 25 kWh/Jahr.

- Zur geschätzten Reichweite eines möglichen Förderprogramms oder einer finanziellen Grenze sind keine Angaben vorhanden. Es wird deshalb auf eigene Annahmen zurückgegriffen. Es wird angenommen, dass 25% der Konsumenten die Förderung nutzen. Dadurch ergeben sich pro Jahr 5.000 geförderte Best-Geräte und eine jährliche Einsparung von  $5.000 * 25 \text{ kWh} = 125 \text{ MWh}$  Strom.
- Für den Zeitraum 2017 bis 2020 ergibt sich eine Einsparung von insgesamt 500 MWh (ca. 0,05% des Stromverbrauchs der Haushalte). Die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch den Einsatz der effizienteren Kühlschränke liegt bei 0,34 Tsd. t CO<sub>2</sub>.
- Bei einer angenommenen Förderung je Kühlschrank von 50 Euro ergibt sich eine jährliche Fördersumme von 250.000 Euro.
- Die Wirkung bei anderen Haushaltsgroßgeräten (darunter Gefriergeräte, Kühl-Gefrier-Kombis, Waschmaschinen, Wäschetrockner und Geschirrspüler) dürfte in einer vergleichbaren Größenordnung liegen. Insgesamt könnten durch ein Förderprogramm in den Jahren 2017 bis 2020 bei diesen sechs Großgeräten bis zum Jahr 2020 die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen um grob geschätzt 2 Tsd. t CO<sub>2</sub> gesenkt werden.
- Bei Kochherden werden die möglichen Einsparungen als geringer eingestuft: Für Kochfelder gibt es kein Label (keine Effizienzkatégorien), bei den Backöfen entsprechen fast alle verkauften Geräte der effizientesten Kategorie.
- Auch nach 2020 besteht ein Reduktionspotenzial durch die Förderung von Best-Geräten. Der Einspareffekt dürfte aber langsam zurückgehen, da die Differenz zwischen Best-Geräten und durchschnittlichen Neugeräten kleiner werden wird.

### **Z03: Substitution Ölheizungen**

#### a) Maximal-Variante: Verbot

- Der Bestand an Ölkesseln liegt bei rund 22.000 Stück. Davon sind etwas mehr als 6.000 älter als 25 Jahre. Es wird davon ausgegangen, dass von diesen 6.000 im Zeitraum 2017 bis 2020 4.000 ersetzt werden.

- Je Heizkessel ergibt sich im Mittel eine mit Öl beheizte Fläche von 260 m<sup>2</sup> und ein mittlerer spezifischer Verbrauch von 155 kWh/m<sup>2</sup>. Daraus ergibt sich ein jährlicher Wärmebedarf von rund 40 MWh. Bei der Berechnung wird berücksichtigt, dass ein neuer Ölkessel einen höheren Wirkungsgrad aufweist als der ersetzte Kessel.
- Bei 4.000 Anlagen ergeben sich unter Berücksichtigung der Anlagen-Wirkungsgrade ein Gesamtverbrauch von 160 Tsd. MWh (575 TJ) und Emissionen von 42,5 Tsd. t CO<sub>2</sub> (74 t/TJ).
- Für den Ersatz durch alternative Systeme werden folgende Annahmen getroffen:  
Verteilung der Ersatzsysteme und Emissionsfaktoren
  - Gas 40% (56 t/TJ)
  - Fernwärme 25% (26 t/TJ)
  - Elektro-Wärmepumpe 20% (177 t/TJ)
  - Biomasse 15% (0 t/TJ)
- Für Strom und Fernwärme werden die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verwendet, die im Rahmen des Klimaschutzszenarios für die Städte Bremen und Bremerhaven berechnet wurden.
- Die Nutzungsgrade der alternativen Ersatzsysteme (z. B. Gas oder Wärmepumpe) sind teilweise höher als bei einem neuen Ölkessel, wodurch sich ein geringerer Endenergieverbrauch ergibt.
- Bei der Wirkungsabschätzung wird der Neubau vernachlässigt. Öl hat nur einen geringen Anteil an den Neubauten (ca. 50 bis 75 Anlagen/Jahr). Zudem liegt der Verbrauch in Neubauten deutlich unter dem Verbrauch in Bestandsgebäuden, da neue Gebäude besser gedämmt sind.
- Insgesamt können unter den getroffenen Annahmen bis 2020 durch den Ersatz der 4.000 Öl-Anlagen durch Systeme mit geringeren Emissionen 18,2 Tsd. t CO<sub>2</sub> eingespart werden.
- Die effektive Wirkung der Maßnahme ist geringer, da auch ohne Verbot alte Ölkessel teilweise durch andere Heizungsanlagen ersetzt werden. Auf nationaler Ebene ist zurzeit ein deutlicher Rückgang des Heizölverbrauchs und des Bestands an Heizölheizungen zu beobachten. Im

Einklang mit diesem Trend werden schätzungsweise zurzeit nur 40 bis 50% der alten Heizölanlagen beim Ersatz durch neue Ölkessel ausgetauscht werden. Die übrigen Anlagen werden durch alternative Systeme ersetzt. Als konservative Abschätzung wird davon ausgegangen, dass rund 33 bis 40% der Betreiber von Ölkesseln ohnehin auf ein anderes System wechseln und 60 bis 67% wieder eine Ölheizung einbauen würden. Danach ergäbe sich durch ein Verbot ab 2017 bis 2020 eine zusätzliche CO<sub>2</sub>-Reduktion von rund 10,9 bis 12,2 Tsd. t CO<sub>2</sub>.

- Würden tatsächlich nur rund 40 bis 50% der Anlagenbetreiber wieder eine Ölheizung einbauen wollen (anstelle der angenommenen 60 bis 67%), dann wäre der Effekt des Verbots geringer. Wäre andererseits der Anteil der Betreiber, die wieder eine Ölheizung einbauen würden, höher als 60 bis 67%, dann wäre auch der Einspareffekt höher als die berechneten 10,9 bis 12,2 Tsd. t CO<sub>2</sub>.
- Es gilt zu berücksichtigen, dass ein Teil der Besitzer trotz des Verbots den Ersatz zeitlich hinauszögert und die alte Anlage länger betreibt. Die Einsparungen könnten deshalb in den ersten Jahren etwas geringer ausfallen, längerfristig ist dieser Effekt wohl vernachlässigbar, da der Ersatz nicht beliebig hinausgezögert werden kann. Auch könnten einige Besitzer die Anlage vorzeitig ersetzen. Wird noch vor dem Inkrafttreten des Verbots eine ältere Ölheizung durch eine neue Ölheizung ersetzt, können das Verbot für rund 25 Jahre umgangen und die Einsparwirkung des Verbots verringert werden.

#### b) Förderprogramm

- Es wird angenommen, dass rund 33% der zu ersetzenden alten Ölkessel ohnehin durch ein alternatives Heizungssystem ersetzt werden (vgl. oben).
- Es wird unterstellt, dass die Förderung von 40% der Betreiber in Anspruch genommen wird (Mitnahmeeffekt).
- Weiter wird angenommen, dass aufgrund der Förderung zusätzliche 15% der Betreiber auf ein alternatives System wechseln (in Summe wechseln dadurch 48% der Betreiber bei einem Ersatz auf ein anderes System).
- Gegenüber der Referenz können durch eine Förderung bis 2020 2,7 Tsd. t CO<sub>2</sub> zusätzlich eingespart werden (15% von 18,2 Tsd. t).
- Wird im Mittel mit 1.500 Euro je Anlage gefördert, ergibt sich unter Berücksichtigung der Mitnahmeeffekte ein

Fördervolumen von 1,7 Mio. Euro bis 2020 (4.000 Anlagen\*[15 % + 40% \* 33%]\*1.500 Euro).

- Da bis 2020 erst rund 4.000 der 22.000 Ölkessel ausgetauscht werden, sind nach 2020 immer noch mindestens 18.000 Kessel in Betrieb. Deshalb hätte sowohl ein Verbot als auch eine weitere Förderung des Ersatzes über das Jahr 2020 hinaus weiterhin einen erheblichen Effekt auf die Emissionsentwicklung der betroffenen Anlagen.

#### **Z04: Klimaverträgliche Nahwärmeversorgung von Neubaugebieten**

- Ziel: Klimaverträgliche Nahwärmeversorgung von Neubaugebieten  
Wärmeangebotsseite: zusätzliche Erschließung durch Nahwärme gekoppelt mit Solarthermie, Umweltwärme und Erdgas-BHKW.
- Der Energiebedarf ist in Neubauten aufgrund der guten Dämmung der Gebäudehüllen deutlich geringer als im Gebäudebestand. Zudem sind die Heizungen in Neubauten neu und vergleichsweise effizient. Aufgrund des EEWärme-Gesetzes muss ein Teil der Wärme mit Erneuerbaren Energien erzeugt werden (20% oder zusätzliche Effizienzmaßnahmen).
- Gemäß der Neubaustatistik auf Bundesebene verfügen aktuell bereits mehr als 50% der Neubauten über eine Heizung auf Basis von Erneuerbaren Energien, Nah- oder Fernwärme.
- Die Zahl zusammenhängender (großflächiger) Neubaugebiete dürfte beschränkt sein.
- Aufgrund der oben genannten Faktoren wird die CO<sub>2</sub>-Minderungswirkung dieser Maßnahmen als gering betrachtet, insbesondere wenn ein Erdgas-BHKW eingesetzt wird.
- Nahwärme ist besonders sinnvoll, wenn bereits vorhandene Abwärme genutzt werden kann, die sonst ungenutzt bleiben würde. Nahwärme kann auch wirtschaftlich eine interessante Lösung sein, da damit verschiedene Energiequellen kombiniert und ihre Vorteile genutzt werden können.
- An einem einfachen Beispiel wird die mögliche Einsparung der Maßnahme dargestellt. Da keine Angaben zur

Ausgestaltung der Fördermaßnahme vorliegen, stützt sich das Beispiel auf eigene Annahmen und Einschätzungen.

- Die Minderungswirkung ergibt sich durch einen im Rahmen der Nahwärmeversorgung angenommenen höheren Anteil von erneuerbarer Wärme (Solar, Wärmepumpen und Biomasse) und nicht durch die Art der Nahwärmeversorgung an sich.
- Es wird davon ausgegangen, dass durch eine ausreichende finanzielle und regulatorische Förderung in jedem Jahr des Zeitraums 2017 bis 2020 ein zusätzliches Neubaugebiet mit einer Nahwärmeversorgung erschlossen wird. Jedes dieser Versorgungsgebiete besteht im Mittel aus sechs Wohngebäuden zu 35 Wohnungen mit einer durchschnittlichen Wohnungsgröße von 85 m<sup>2</sup>. Der spezifische Wärmeverbrauch für Raumwärme und Warmwasser wird mit 55 kWh/m<sup>2</sup> angenommen. Für jedes Nahwärmeversorgungsgebiet ergibt sich dadurch ein jährlicher Wärmebedarf von 980 MWh.
- Weiter wird angenommen, dass ohne die Fördermaßnahme die Wärme in diesen Gebäuden aus einer Kombination aus Gasbrennwertanlagen (80%) und solarthermischen Anlagen (20%) erzeugt wird. Dadurch ergeben sich jährliche Emissionen von 167,5 t CO<sub>2</sub> je Versorgungsgebiet und 0,67 Tsd. t CO<sub>2</sub> für alle vier im Zeitraum 2017 bis 2020 erstellten Versorgungsgebiete.
- Würde die Nahwärmeversorgung auf fossilen Energien basieren, würden keine Emissionen eingespart. Diese Option wird deshalb nicht betrachtet.
- Als Alternative wird angenommen, dass diese Neubaugebiete durch ein Nahwärmesystem versorgt werden, in dem die Wärme aus einer Kombination aus Solarthermie (20%), Biomasse (40%) sowie Strom und Umweltwärme (elektrische Großwärmepumpe, Anteil 40%) erzeugt wird. Die Emissionen bei einem Versorgungsgebiet könnten dadurch auf jährlich 88,5 t CO<sub>2</sub> gesenkt werden. Für alle vier Versorgungsgebiete ergeben sich 0,35 Tsd. t CO<sub>2</sub>.
- Gegenüber der Referenz (Gas-Brennwertheizung kombiniert mit Solarthermie) können durch die vier zusätzlichen Nahwärmeversorgungsgebiete, die überwiegend auf Erneuerbarer Energie basieren, bis 2020 insgesamt rund 0,32 Tsd. t CO<sub>2</sub>/Jahr eingespart werden.
- Der Einspareffekt ist überwiegend auf den Energieträgerwechsel zurückzuführen. Durch die längere

Wärmeverteilung könnten gegenüber einer Einzelobjektversorgung zusätzliche Wärmeverluste entstehen und die berechneten Einsparungen verringern.

- Ab 2021 sollen alle Neubauten einem Niedrigstenergiestandard entsprechen. Die Möglichkeit, durch Nahwärme bei Neubauten Emissionen einzusparen, nimmt dadurch ab. Besser wäre ein Fokus auf Bestandsgebäude mit höherem Verbrauch.

### **Z05: Förderprogramm Photovoltaik**

- Ziel: Erhöhung des Anteils erneuerbarer Stromerzeugung im Land Bremen durch die Förderung von Speichersystemen für PV-Dachanlagen.
- Grundsätzlich führt eine zunehmende Installation von Heimspeichersystemen zu keiner direkten Erhöhung der eingespeisten Menge an Erneuerbaren Energien. Ein staatliches Instrument, das vermehrte Installationen von Speichern anreizt, kann den Anteil an Erneuerbaren Energien daher allenfalls indirekt steigern und ist in seiner Wirkung schwer quantifizierbar. Die wirtschaftliche Motivation zur Installation eines Heimspeichers liegt in der Steigerung des Eigenverbrauchsanteils, sofern die eingesparten Kosten des Strombezugs je kWh die Vergütung für die Einspeisung übersteigen. Aus diesem Grund würde eine Speicherförderung vor allen Dingen im Einfamilienhausbereich wirken, da der Verbrauch in Mehrfamilienhäusern und Gewerbegebäuden die Eigenerzeugung in der Regel übersteigt.
- Unter den aktuellen Rahmenbedingungen ist die Installation einer PV-Dachanlage bei entsprechendem Standort bereits wirtschaftlich, die Installation eines Speichers ist es hingegen aufgrund der Investitionskosten nicht. Eine Speicherförderung könnte daher zu einer Zunahme der Installationen von Speichern führen. Allerdings ist fraglich, inwieweit durch die vermehrte Installation von Speichern zusätzliche PV-Anlagen installiert werden würden, da diese bereits ohne Speicher rentabel sind.
- Für den Fall, dass Speicher rentabel sind, erhöht das Speichersystem die Rentabilitätserwartung durch die bereits ohne Speicher wirtschaftliche PV-Anlage. Inwieweit durch die höhere Rentabilitätserwartung die Anzahl der installierten PV-Anlagen steigt, erfordert eine sehr viel differenziertere Betrachtung als sie im Rahmen dieser Studie möglich ist. Es wäre denkbar, dass Hausbesitzer, die planen, eine PV-Anlage zu errichten, diese aufgrund

der Speicherförderung größer dimensionieren, um die Wirtschaftlichkeit des Eigenverbrauchs zu erhöhen. In diesem Fall könnte eine Förderung zu einer zusätzlichen Erzeugung an Erneuerbaren Energien führen. Dieser Sachverhalt ist jedoch von einer Reihe von Annahmen über die konkreten Ausgestaltungen des Instruments sowie der Standortqualität der PV-Dachanlage und des Nutzerprofils abhängig.

- Des Weiteren stellt sich die Frage der Abgrenzung und der Wechselwirkungen der Maßnahme zu der bereits existierenden Speicherförderung auf Bundesebene durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW).
- Unabhängig von der Ausgestaltung der Förderung ist zwischen 2020 und 2030 mit einer weiteren Reduktion der Speicherinvestitionskosten zu rechnen. Daher lässt sich erwarten, dass Speicher mittelfristig ohne spezifische Speicherförderung rentabel werden. In diesem Fall führt eine zusätzliche Speicherförderung zu einer Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Speicher, weshalb sich zusätzliche Speicherinstallationen erwarten ließen.

#### **Z06: BHKW-Potenzialstudien Wohnungswirtschaft**

- Ziel des Maßnahmenvorschlags ist es, den Ausbau der dezentralen KWK in der Wohnungswirtschaft zu unterstützen. Hierzu soll den Wohnungsbaugesellschaften im Land Bremen angeboten werden, im Rahmen von für sie kostenlosen Potenzialstudien technische und wirtschaftliche Potenziale für den Einsatz von dezentralen KWK-Anlagen zu ermitteln.
- Der Ausbau von KWK-Anlagen ermöglicht über den höheren Gesamtwirkungsgrad im Rahmen der gekoppelten Strom- und Wärmeproduktion gegenüber Gas- oder Ölkesseln, den Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu senken.
- Wohnungsbaugesellschaften sind zentrale Akteure für den KWK-Ausbau. In der Potenzialstudie werden technische und wirtschaftliche Potenziale für den Einsatz von KWK-Anlagen ermittelt. Dabei wird die jeweils konkrete Situation untersucht und damit der Ausbau von KWK gefördert.
- Die im Fall einer Umsetzung des Maßnahmenvorschlags zu erwartenden Energieeinsparungen und CO<sub>2</sub>-Minderungseffekte sind davon abhängig, inwieweit das Angebot zur Durchführung von Potenzialstudien in Anspruch genommen wird und in welchem Umfang im Rahmen der

Potenzialstudien wirtschaftliche Potenziale für dezentrale KWK-Lösungen ermittelt werden können.

- Für eine exemplarische Abschätzung wird unterstellt, dass bei den beteiligten Wohnungsgesellschaften infolge der Potenzialstudien 20 neue BHKW realisiert werden.
- Der Einsatz der BHKW wirkt auf zwei Wegen reduzierend auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen:
  - Einerseits liegen die indirekten Emissionen der eingesetzten Nahwärme niedriger als die Emissionen des substituierten Gases zur Erzeugung von Wärme.
  - Da die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stroms, der in den BHKW erzeugt wird, vergleichsweise niedrig sind, wird andererseits eine Absenkung der indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Stroms erreicht (vgl. Tabelle 8-2).
- Insgesamt wird durch den Einsatz von 20 BHKW eine Minderung um insgesamt 3,2 Tsd. t CO<sub>2</sub> und damit um 0,6 ‰ gegenüber den Gesamtemissionen im Klimaschutzszenario nach KEP-Systematik (ohne Stahlindustrie) erreicht.

*Tabelle 8-2: Minderungswirkung des Einsatzes von 20 BHKW nach KEP-Systematik im Jahr 2020, in Tsd. t CO<sub>2</sub>*

Emissionswirkung Wärmesubstitution	-0,5
darunter substituierte Erdgasheizungen	-2,8
darunter substituierende Nahwärmeheizungen	2,3
Absenkung der indirekten Strom-Emissionen	-2,7
<b>Minderungswirkung insgesamt</b>	<b>-3,2</b>

*Quelle: eigene Berechnungen*

### **Z07: Energieberichte der bremischen Gesellschaften**

- Der Maßnahmenvorschlag sieht vor, Gesellschaften im öffentlichen Einflussbereich zur Erstellung und jährlichen Fortschreibung von Energieberichten zu verpflichten. Hiermit wird das Ziel verfolgt, Transparenz über den Status quo und die Entwicklung der Energieeffizienz in den beteiligten Gesellschaften zu gewährleisten.
- Als Beteiligte sind Gesellschaften vorgesehen, die gemäß Gesetz über Energiedienstleistungen und andere

Energieeffizienzmaßnahmen (EDL-G) zur Durchführung eines Energieaudits nach DIN EN 16.247-1 verpflichtet sind. Das Audit bezieht sich nicht nur auf die Gebäude, sondern umfasst den gesamten Einflussbereich eines Unternehmens.

- Im Rahmen der bestehenden Energieaudits sind die Beteiligten aktuell verpflichtet, alle vier Jahre einen Energiebericht zu erstellen und Maßnahmen zur Verbesserung vorzulegen – sie sind jedoch nicht verpflichtet, diese umzusetzen. Mit der Maßnahme sollen die betroffenen Gesellschaften zukünftig im jährlichen Rhythmus Energieberichte vorlegen. Damit wird die interne und externe Transparenz erhöht, die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen befördert und beschleunigt.
- Die im Fall einer Umsetzung des Maßnahmenvorschlags erzielbaren Energieeinsparungen und CO<sub>2</sub>-Minderungen sind von zahlreichen Faktoren abhängig. Hierzu gehören beispielsweise die Art und die Anzahl der einbezogenen Gesellschaften, die Höhe und Energieträgerstruktur des Energieverbrauchs der Gesellschaften sowie die in den Gesellschaften vorhandenen Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz. Da hierzu keine Informationen vorliegen, ist eine Quantifizierung der zu erwartenden Effekte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich.

#### **Z08: Kofinanzierungsfonds für Klimaschutzprojekte**

- Ziel des Maßnahmenvorschlags ist es, die Förderangebote des Bundes für Projekte des kommunalen Klimaschutzes in verstärktem Maße in Anspruch zu nehmen. Hierzu soll ein Fonds zur Finanzierung der erforderlichen Eigenmittel geschaffen werden.
- Die Inanspruchnahme von Fördermitteln des Bundes erfordert in der Regel die Leistung eines finanziellen Eigenbeitrags, der in Abhängigkeit von den jeweiligen Förderbedingungen in einer Bandbreite von 10 bis 80 % der Projektkosten liegen kann. Auch für die Durchführung von Vorarbeiten im Zusammenhang mit der Beantragung von Fördermitteln sind häufig finanzielle Vorleistungen erforderlich.
- Der vorgeschlagene Kofinanzierungsfonds hilft, mögliche Finanzierungsprobleme lokaler Akteure zu lösen, und soll so die Inanspruchnahme von Fördermitteln des Bundes für kommunale Klimaschutzprojekte steigern.

**Z09: Instrumentencheck Klimaschutzpotenzial**

- Der Maßnahmenvorschlag sieht vor, die Aktivitäten und Instrumente des bremischen Verwaltungshandelns (insbesondere Steuern, Förder-, Beratungsangebote) auf ihre Klimaschutzpotenziale hin zu überprüfen. Hierzu soll eine ressortübergreifende Arbeitsgruppe unter Beteiligung aller Senatsressorts eingesetzt werden.
- Die vorgeschlagene Maßnahme ist grundsätzlich geeignet, einen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele zu leisten. Wenn es gelingt, das Verwaltungshandeln ressortübergreifend stärker auf die Ziele der Energieeinsparung und Treibhausgasminderung auszurichten, kann die Maßnahme eine hohe Wirksamkeit entfalten. Die Wirkung ist indirekt und wesentlich von Art, Anzahl und Reichweite der einbezogenen Instrumente abhängig. Entsprechend ist eine Quantifizierung der zu erwartenden Effekte im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich.

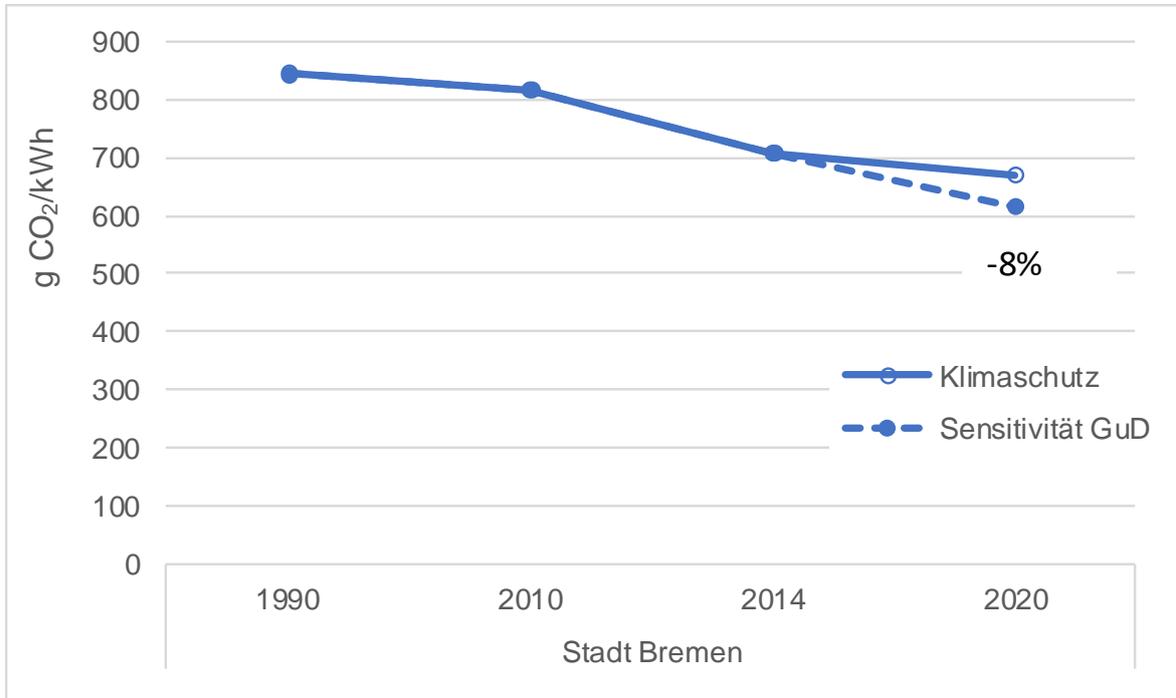
## 9 Sensitivitätsbetrachtung zum Kraftwerksbereich

Nach ursprünglicher Planung war vorgesehen, ein neu gebautes GuD-Kraftwerk mit stärkerer Auslastung zu betreiben. Die nachfolgende Sensitivitätsrechnung beantwortet die Frage, welche CO<sub>2</sub>-Minderung – bezogen auf das Land Bremen (ohne Stahlindustrie) – sich ergäbe, wenn das neue GuD-Kraftwerk betrieben würde wie seinerzeit geplant. Diese Annahmen entsprechen dem alten Klimaschutzszenario [BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010].

Für das GuD-Kraftwerk war eine Jahresstromerzeugung von 1,35 Tsd. GWh geplant. Der Anteil des produzierten Stroms, der als Fahrstrom an die Deutsche Bahn geliefert wird und deshalb in der CO<sub>2</sub>-Bilanz der Stadt Bremen unberücksichtigt bleibt, betrug nach den damaligen Planwerten 40 %. Nach den aktuellen Planwerten beträgt die jährliche Stromerzeugung des GuD-Kraftwerks 445 GWh, wovon 50 % als Fahrstrom an die Bahn geliefert werden. Gemäß ursprünglicher Planung läge die in Bremen Stadt jährlich abgesetzte Strommenge bei 810 GWh und damit gegenüber der aktuellen Planung (222 GWh) fast viermal höher. Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen des GuD-Kraftwerks sind wegen seines hohen elektrischen Wirkungsgrades und des CO<sub>2</sub>-armen Energieträgers Erdgas vergleichsweise niedrig. Eine höhere Auslastung der Anlage würde deshalb den mittleren Strom-Emissionsfaktor der Stadt Bremen erheblich reduzieren: In der berechneten Variante (Sensitivität) liegt dieser um 8 % unter dem entsprechenden Wert des Klimaschutzszenarios (vgl. Abbildung 9-1).

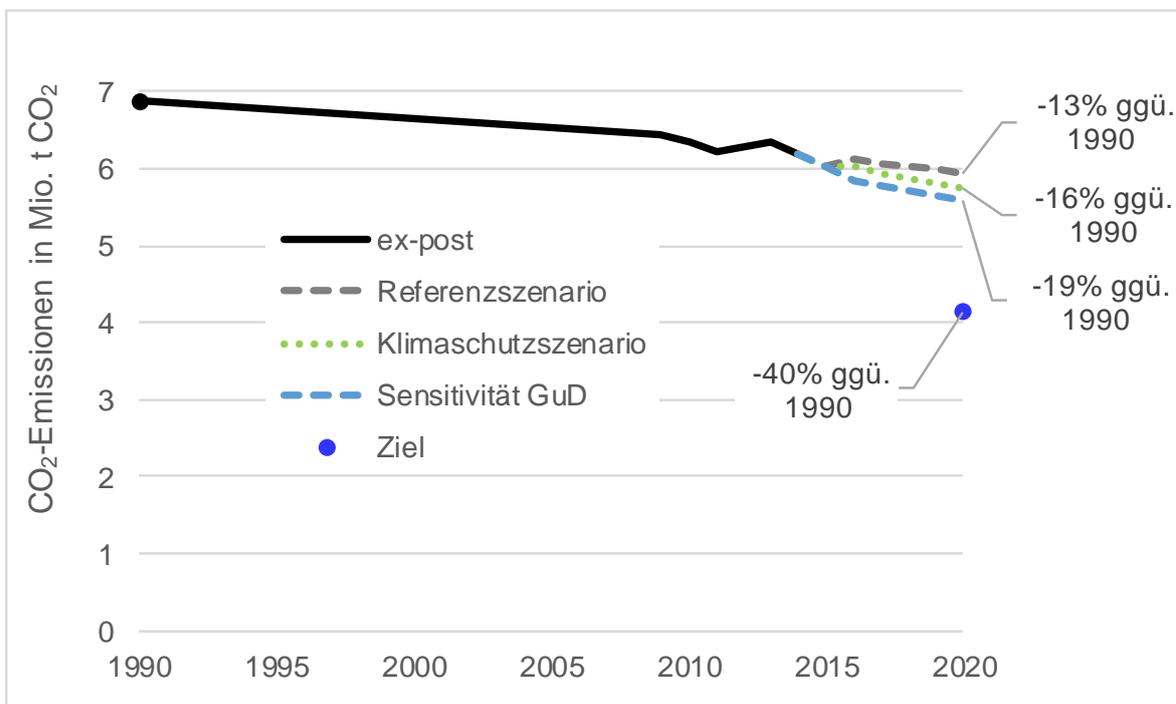
Durch den vergleichsweise niedrigeren Strom-Emissionsfaktor der Stadt Bremen liegen in der Sensitivität GuD die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt und damit auch des Landes Bremen um 164 Tsd. t CO<sub>2</sub> niedriger als im Klimaschutzszenario. Damit liegt die Minderung gegenüber dem Klimaschutzszenario in der gleichen Größenordnung wie die Minderung durch alle Maßnahmen des Klimaschutzszenarios gegenüber dem Referenzszenario (189 Tsd. t CO<sub>2</sub>). Insgesamt liegen die Emissionen des Landes Bremen exklusive Stahlindustrie in der Sensitivität GuD im Jahr 2020 bei 5,59 Mio. t CO<sub>2</sub> und damit 19 % unter dem Niveau von 1990 (vgl. Abbildung 9-2).

Abbildung 9-1: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für elektrischen Strom nach KEP-Systematik in der Sensitivität zum Kraftwerksbereich und im Klimaschutzszenario, in g CO<sub>2</sub>/kWh



Quellen: für die Jahre 1990, 2010 und 2014: KEP-Bilanz

Abbildung 9-2: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik 1990 bis 2020, Ex-post-Entwicklung, Szenarienvergleich Sensitivität GuD, Referenz-, Klimaschutzszenario und Ziel, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>



Quellen: für die Jahre 1990, 2010 bis 2014: KEP-Bilanz

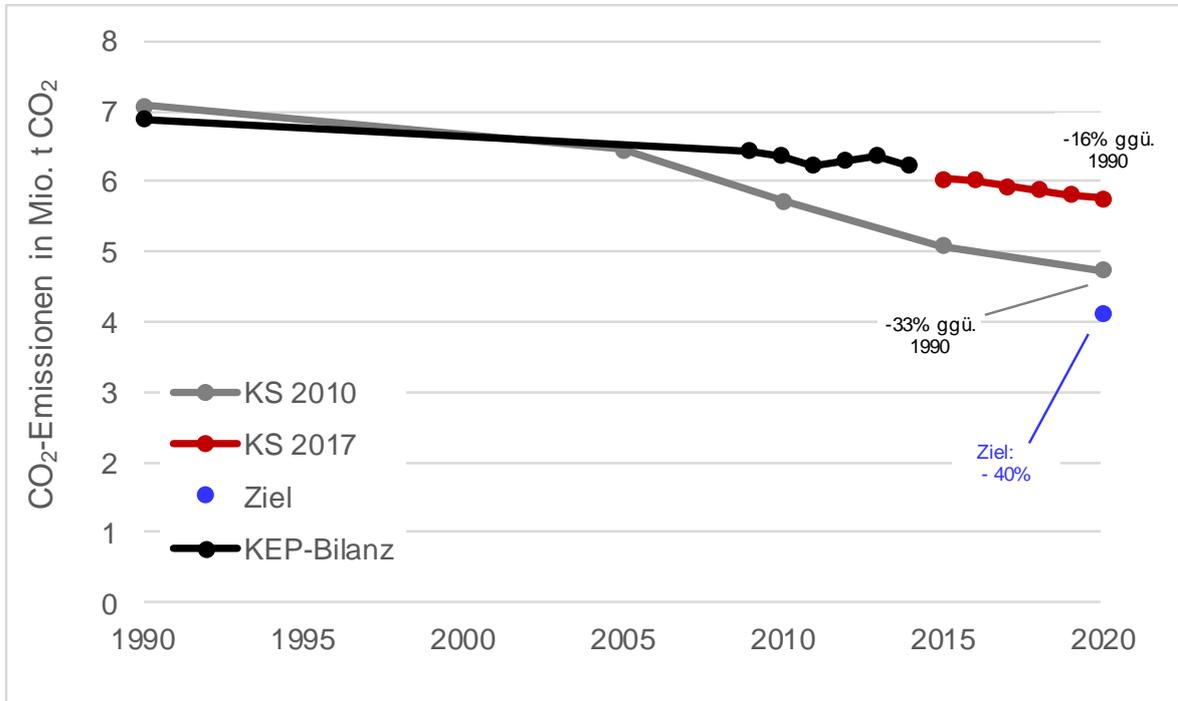
## 10 Vergleich mit den Ergebnissen des Klimaschutzszenarios 2010

Die Ergebnisse des aktualisierten Klimaschutzszenarios weichen deutlich von den Ergebnissen der Vorgängerstudie ab. Während im Klimaschutzszenario aus dem Jahr 2010 (nachfolgend KS2010) [BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010] bis 2020 eine Minderung der Emissionen gegenüber 1990 von 33 % erreicht wird, liegen die Emissionen nach dem aktualisierten Klimaschutzszenario (nachfolgend KS2017) nur 16 % unter den Emissionen des Jahres 1990 (vgl. Abbildung 10-1). Damit wird das gesetzte Ziel, die Emissionen bis 2020 um 40 % zu mindern, im KS2017 deutlich stärker verfehlt. Nachfolgend werden die Unterschiede zwischen beiden Szenarien im Detail verglichen und Ursachen für die Abweichungen aufgezeigt.

### 10.1 Vergleich der Entwicklungen von Endenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zeitverlauf

Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik im KS2010 und im KS2017 sowie die bekannte Vergangenheitsentwicklung gemäß KEP-Bilanz sind für den Zeitraum 1990 bis 2020 in Abbildung 10-1 gegenübergestellt. Bis zum Zieljahr 2020 wächst der Unterschied zwischen den Klimaschutzszenarien auf 1 Mio. t CO<sub>2</sub>. Damit liegt das KS2017 im Zieljahr 22 % über dem Niveau des KS2010. Der Großteil der Abweichung ist bereits als Abweichung zwischen der bekannten Vergangenheitsentwicklung gemäß KEP-Bilanz und KS2010 zu verzeichnen, die bis ins Jahr 2014 auf 19 % anwächst.

Abbildung 10-1: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik 1990 bis 2020, Ex-post-Entwicklung gemäß KEP-Bilanz, Ziel, Szenarienvergleich KS2017 und KS2010, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>

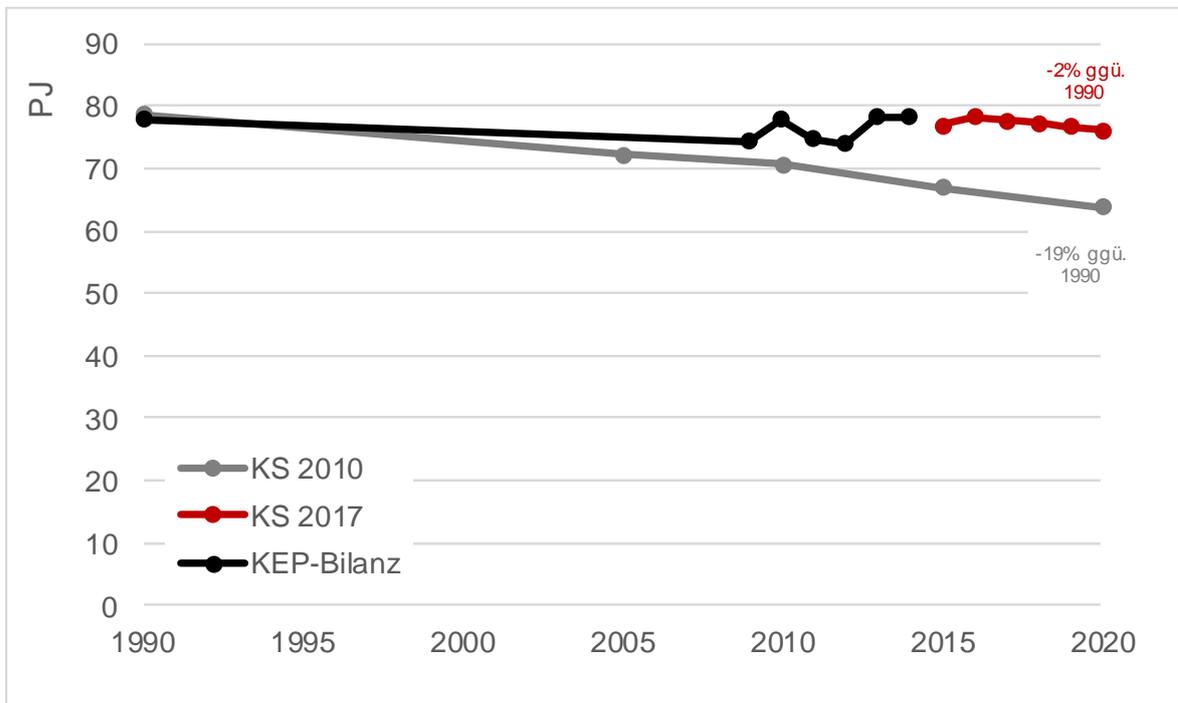


Quellen: KEP-Bilanz, BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs gemäß KEP-Systematik wird für beide Szenarien und gegenüber der Vergangenheitsentwicklung gemäß KEP-Bilanz in Abbildung 10-2 aufgezeigt. Bis zum Jahr 2014 steigt die Abweichung zwischen der Vergangenheitsentwicklung gemäß Statistik und dem KS2010 auf 11 PJ (+14 %) und macht damit bereits den Großteil der Abweichung im Jahr 2020 zwischen beiden Szenarien aus (19 %).

Während im KS2010 eine deutliche Absenkung des Endenergieverbrauchs bis 2020 um 19 % gegenüber 1990 erreicht wurde, liegt die entsprechende Absenkung im aktualisierten Szenario bei nur 2 %.

Abbildung 10-2: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik, 1990 bis 2020, Ex-post-Entwicklung gemäß KEP-Bilanz, Szenarienvergleich KS2017 und KS2010, ohne Stahlindustrie, in PJ

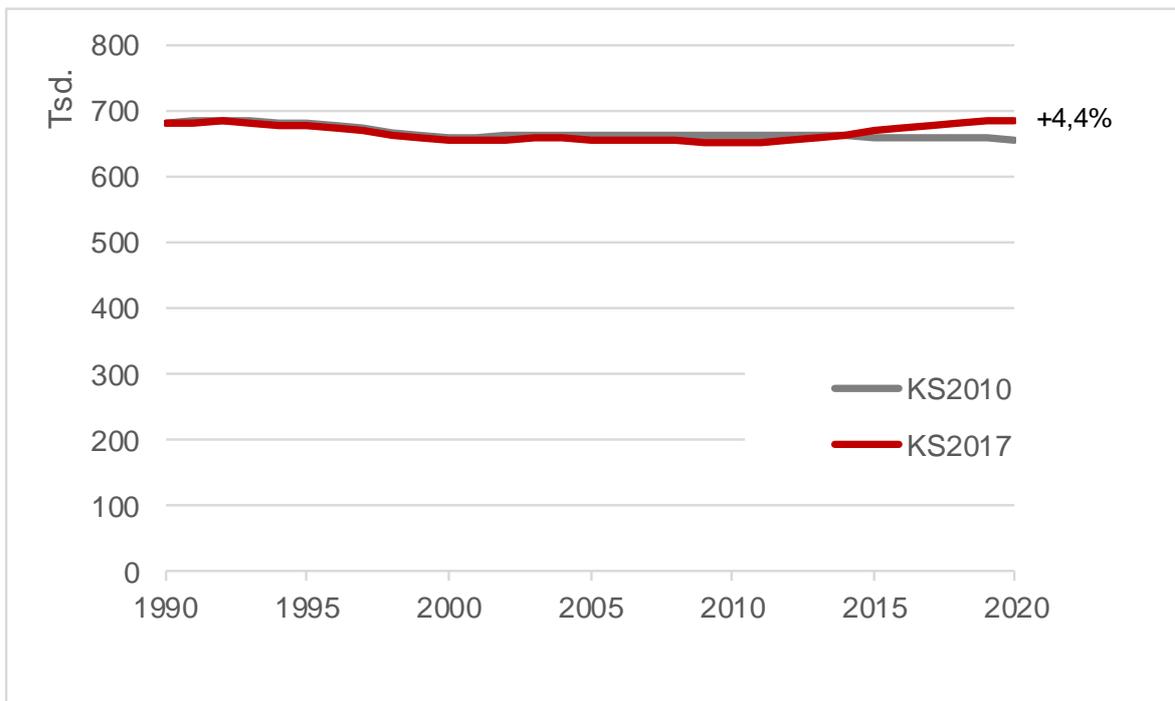


Quellen: KEP-Bilanz, BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010

## 10.2 Vergleich der sozioökonomischen Rahmendaten

Die Entwicklung der Bevölkerung zwischen 1990 und 2020 ist in Abbildung 10-3 vergleichend für die Szenarien KS2017 und KS2010 abgebildet. Zwischen 2010 und 2020 wächst die Bevölkerung im KS2017 stärker an und liegt im Jahr 2020 4,4 % über der im KS2010 zugrunde gelegten Bevölkerung.

Abbildung 10-3: Bevölkerung im Vergleich: KS2017 gegenüber KS2010, 1990 bis 2020, in Tsd.

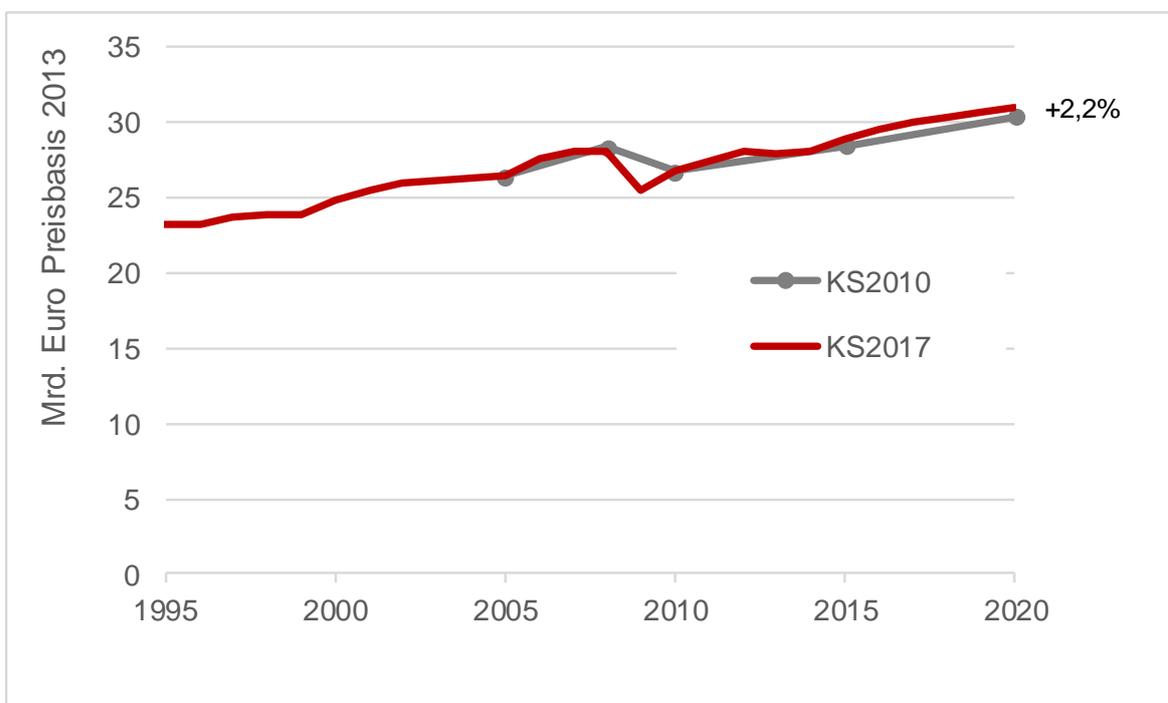


Quellen: KS2017: Statistisches Landesamt Bremen, 2016; bis 2010 zensus-korrigierte Ist-Werte, 2011 bis 2015 Ist-Werte, ab 2016 Vorausberechnung, KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010

Die Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes und der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes sind in Abbildung 10-4 und Abbildung 10-5 vergleichend dargestellt. Im Jahr 2020 liegen im KS2017 das Bruttoinlandsprodukt 2,2 %, die Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes 6,5 % über den Rahmendaten des KS2010. Zwischen den Veröffentlichungen der beiden Studien wurde die Systematik zur Berechnung des Bruttoinlandsproduktes zweimal geändert (Revision 2011 der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen der Länder, Generalrevision 2014 der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen). Auch nach Umrechnung auf die gleiche Preisbasis (2013) sind die Größen damit nur bedingt vergleichbar. Wegen der besonderen wirtschaftlichen Situation im Krisenjahr 2009, als das KS2010 erstellt wurde, war die Prognose der wirtschaftlichen Rahmendaten mit einer erhöhten Unsicherheit behaftet.

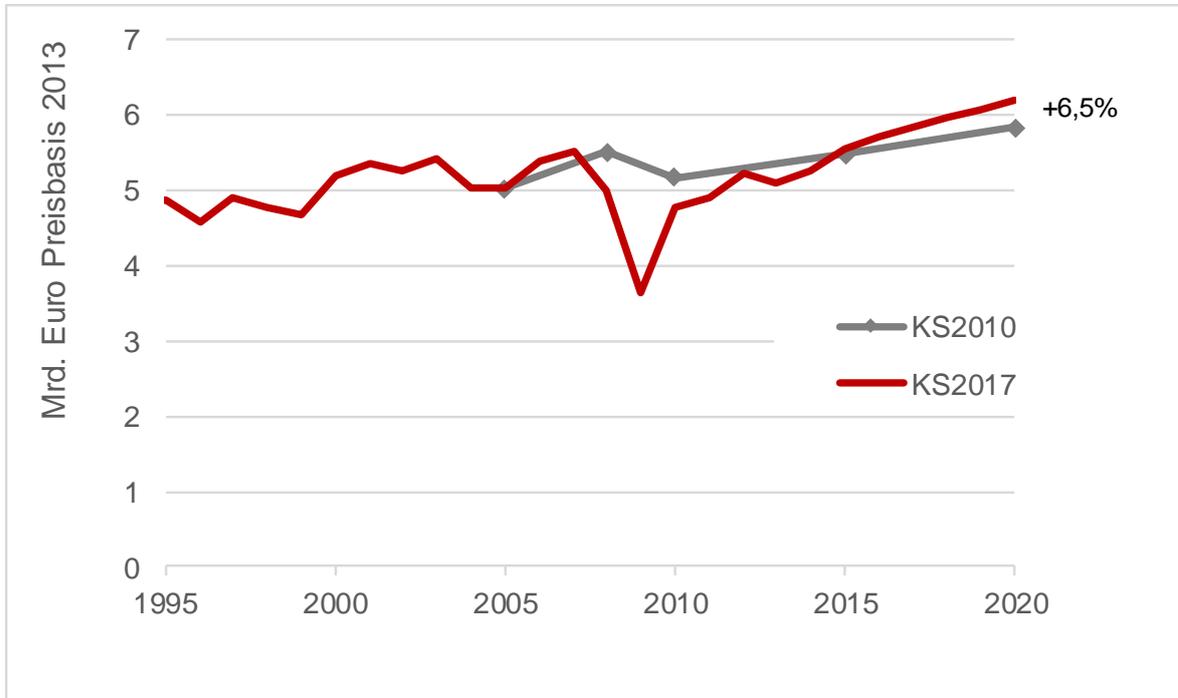
Die untersuchten sozioökonomischen Rahmendaten liegen im KS2017 höher als im KS2010, was die höheren Endenergieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Teil erklärt.

Abbildung 10-4: Wirtschaftliche Rahmendaten im Vergleich: Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes des Landes Bremen preisbereinigt, in Mrd. Euro 2013



Quellen: KS2017: Statistisches Bundesamt, Statistisches Landesamt Bremen, 2016; bis 2015: Ist-Werte, ab 2016: Vorausberechnung, KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010

Abbildung 10-5: Wirtschaftliche Rahmendaten im Vergleich:  
Entwicklung der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden  
Gewerbes des Landes Bremen preisbereinigt, in Mrd. Euro 2013



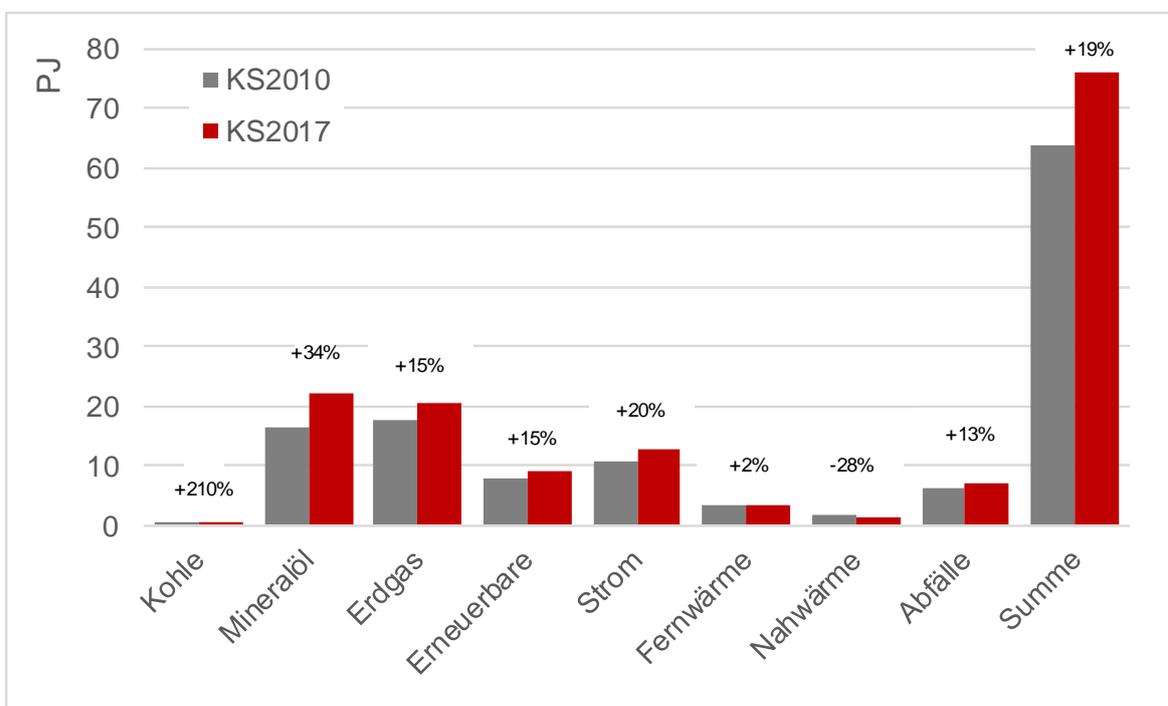
Quellen: KS2017: Statistisches Bundesamt, Statistisches Landesamt Bremen, 2016; bis 2015: Ist-Werte, ab 2016: Vorausberechnung, KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010

### 10.3 Detaillierter Vergleich der Ergebnisse im Jahr 2020

Im Folgenden werden jeweils die Szenarienergebnisse für das Jahr 2020 des KS2010 mit den Ergebnissen des aktualisierten Klimaschutzszenarios KS2017 verglichen.

In Abbildung 10-6 wird der Endenergieverbrauch nach Energieträgern verglichen. Insgesamt liegt der Endenergieverbrauch gemäß KS2017 19 % über dem Niveau des KS2010. Wesentliche Unterschiede folgen aus Abweichungen im Verbrauch von Mineralölprodukten (+34 %), Strom (+20 %) und Erdgas (+15 %).

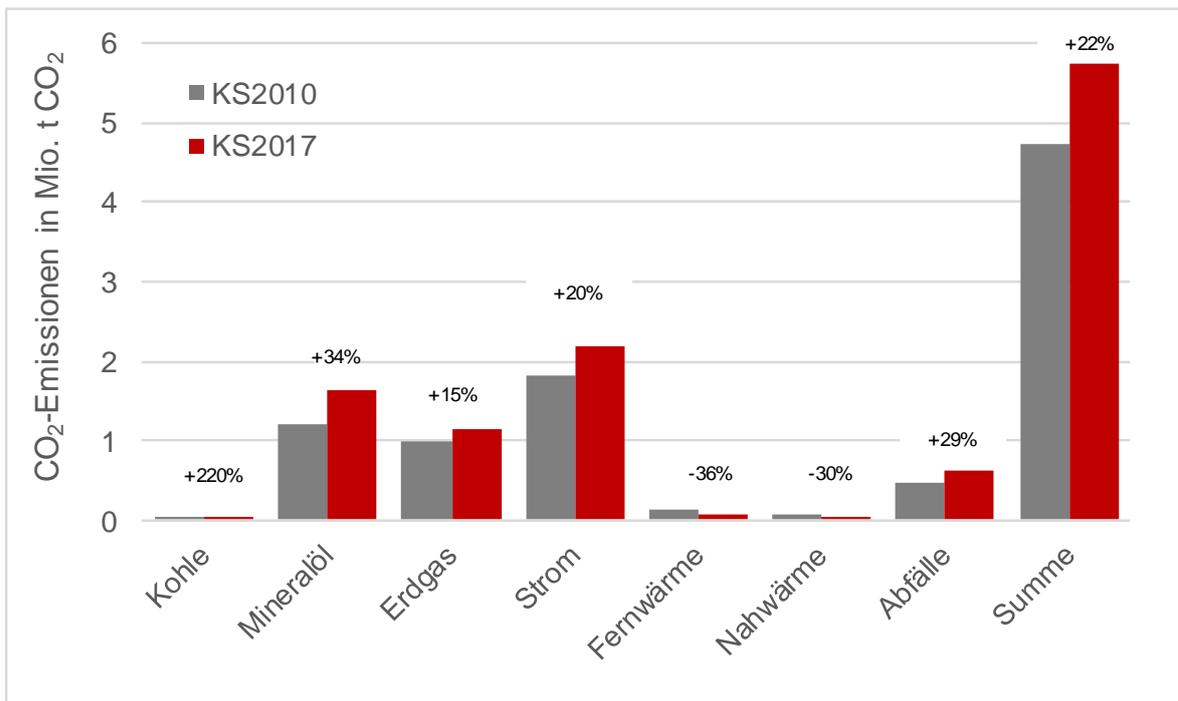
Abbildung 10-6: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Energieträger, ohne Stahlindustrie, in PJ



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Abbildung 10-7 vergleicht die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Energieträgern von beiden Szenarien. Insgesamt liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KS2017 22 % über dem Niveau des KS2010. Die Unterschiede fallen ähnlich wie beim Endenergieverbrauch aus. Abweichend fällt der Unterschied bei den Abfällen deutlich höher aus. Grund ist eine Änderung des Emissionsfaktors für Abfall im Jahr 2011 von 80,0 g/MJ auf 91,5 g/MJ.

Abbildung 10-7: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Energieträger, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>

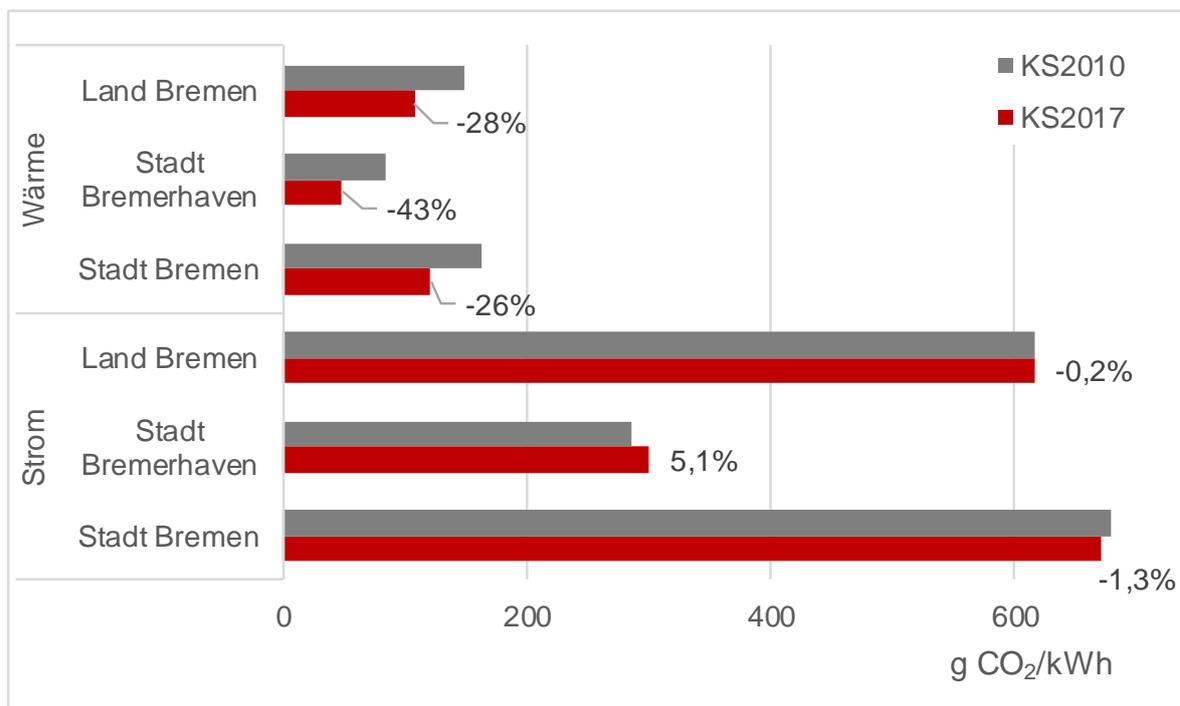


Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen (Emissionsfaktoren) für Strom und Wärme (mittlerer Faktor für Fernwärme im eigentlichen Sinne und Sonstige Wärmelieferungen) sind für die Stadt Bremen, die Stadt Bremerhaven und im gewichteten Durchschnitt für das Land Bremen in Abbildung 10-8 vergleichend dargestellt. Die spezifischen Emissionen der Wärme liegen im KS2017 deutlich niedriger als im KS2010 (-28 % auf Landesebene). Entsprechend höher fällt der Unterschied zwischen den Szenarien der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber dem Unterschied beim Endenergieverbrauch aus.

Der Vergleich der spezifischen Emissionen für Strom auf Landesebene zeigt nur sehr geringe Unterschiede auf (-2 ‰ im KS2017). Während der Emissionsfaktor Strom nach dem KS2017 für die Stadt Bremerhaven 5 % höher ausfällt, liegt der Emissionsfaktor für die Stadt Bremen 1,3 % niedriger als im KS2010. Im gewichteten Mittel heben sich die Unterschiede durch den höheren Stromverbrauch in Bremen Stadt auf.

Abbildung 10-8: Emissionsfaktoren im Vergleich KS2010 gegenüber KS2017: Emissionsfaktoren für Strom und Wärme nach Städten und Land, im Jahr 2020



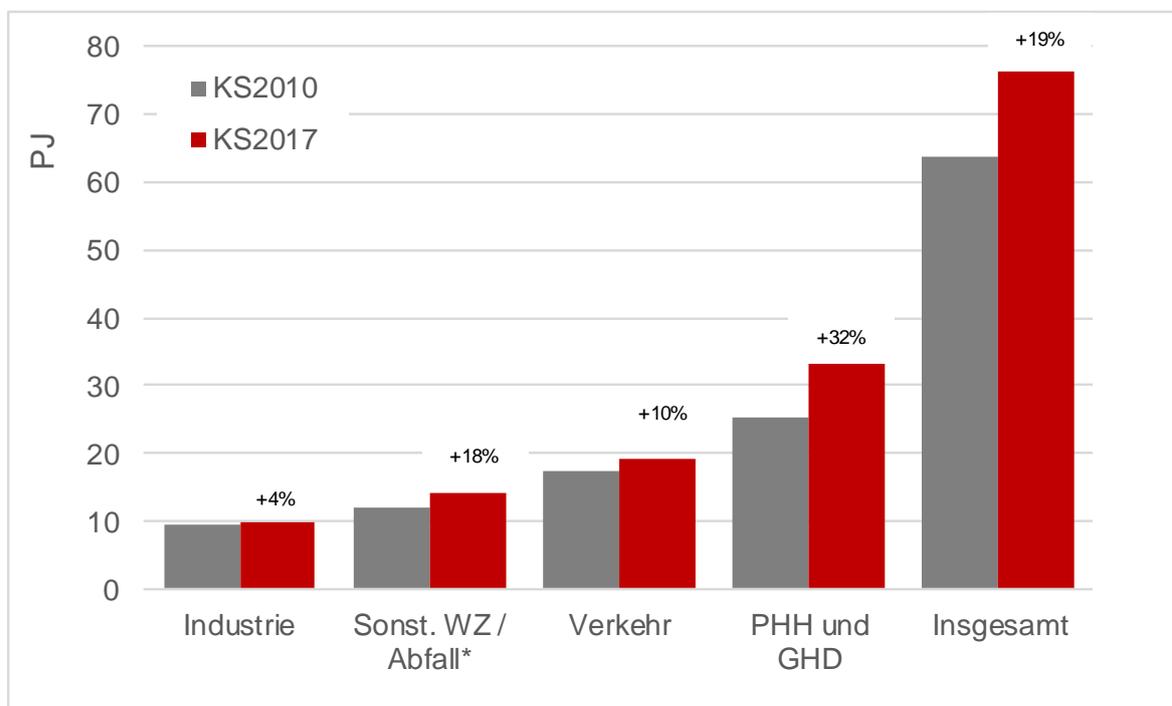
Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Trotz des auf Landesebene nur marginal abweichenden Strom-Emissionsfaktors unterscheidet sich die Stromerzeugung in beiden Szenarien, wobei sich erhöhende und abschwächende Einflüsse ausgleichen. So wirken die im KS2017 höher ausfallende Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien, die ebenfalls höhere

Stromerzeugung in Abfallverbrennungsanlagen sowie die Stilllegung des Kohleblocks 5 im Kraftwerk Hafen, die im KS2010 noch nicht berücksichtigt war, absenkend auf den Emissionsfaktor. Diese Effekte werden jedoch durch die vergleichsweise niedrige Auslastung des GuD-Kraftwerks im KS2017 annähernd kompensiert (vgl. Kapitel 9).

In Abbildung 10-9 wird der Endenergieverbrauch der beiden Szenarien nach Sektor verglichen. Die größte Abweichung ist in den Sektoren PHH und GHD zu verzeichnen. Die hohe Abweichung von 32 % kann nur zu einem geringen Anteil durch die im KS2017 um 4 % höhere Bevölkerungszahl erklärt werden.

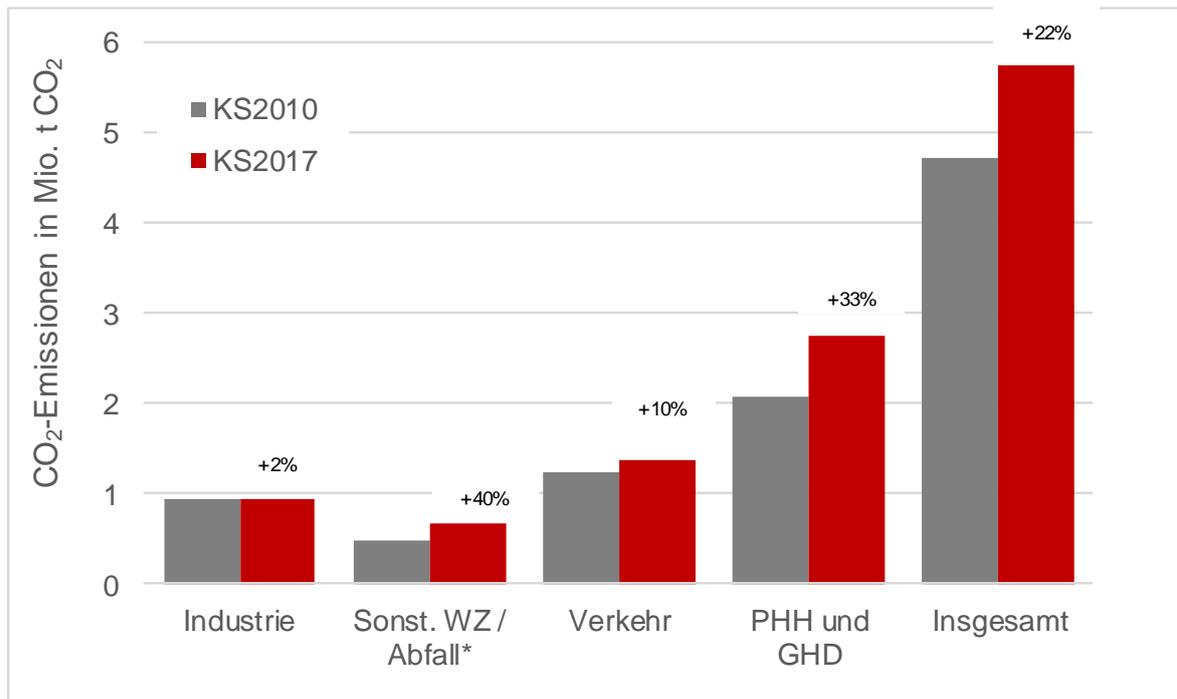
Abbildung 10-9: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Sektor, ohne Stahlindustrie, in PJ



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Der in Abbildung 10-10 dargestellte Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Sektor fällt ähnlich wie der des Endenergieverbrauchs aus. Die höhere Abweichung im Sektor Sonst. WZ/Abfall lässt sich durch den im KS2017 höheren Emissionsfaktor für Abfall erklären.

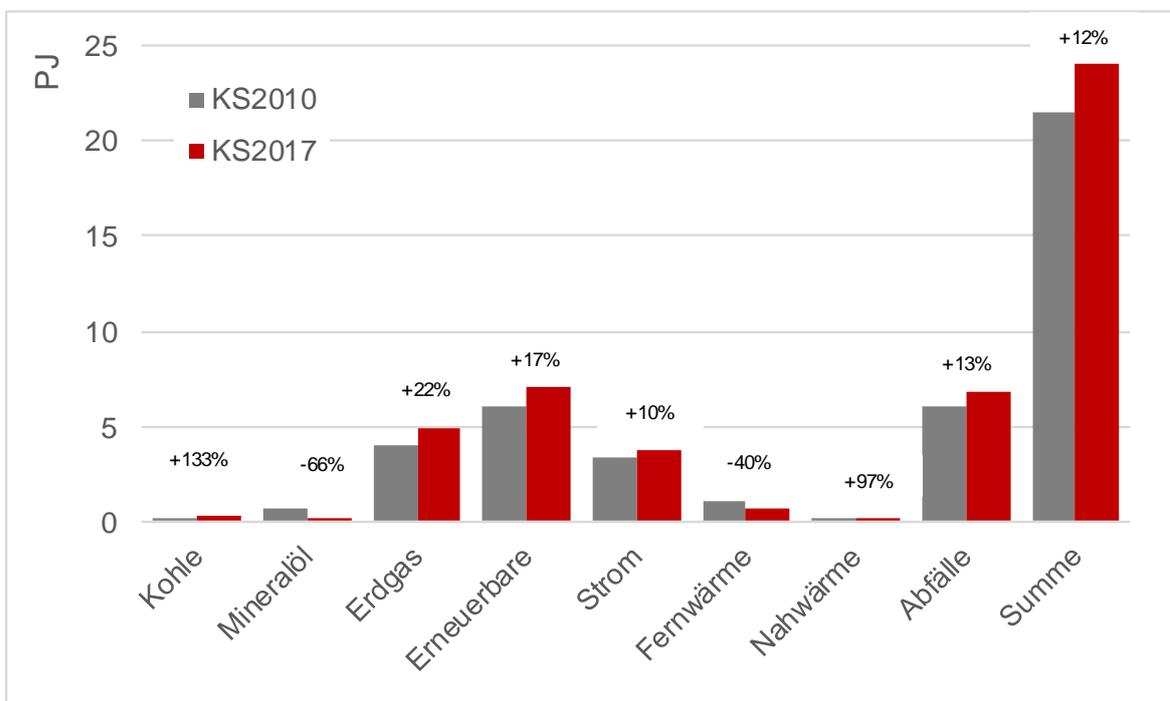
Abbildung 10-10: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Sektor, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

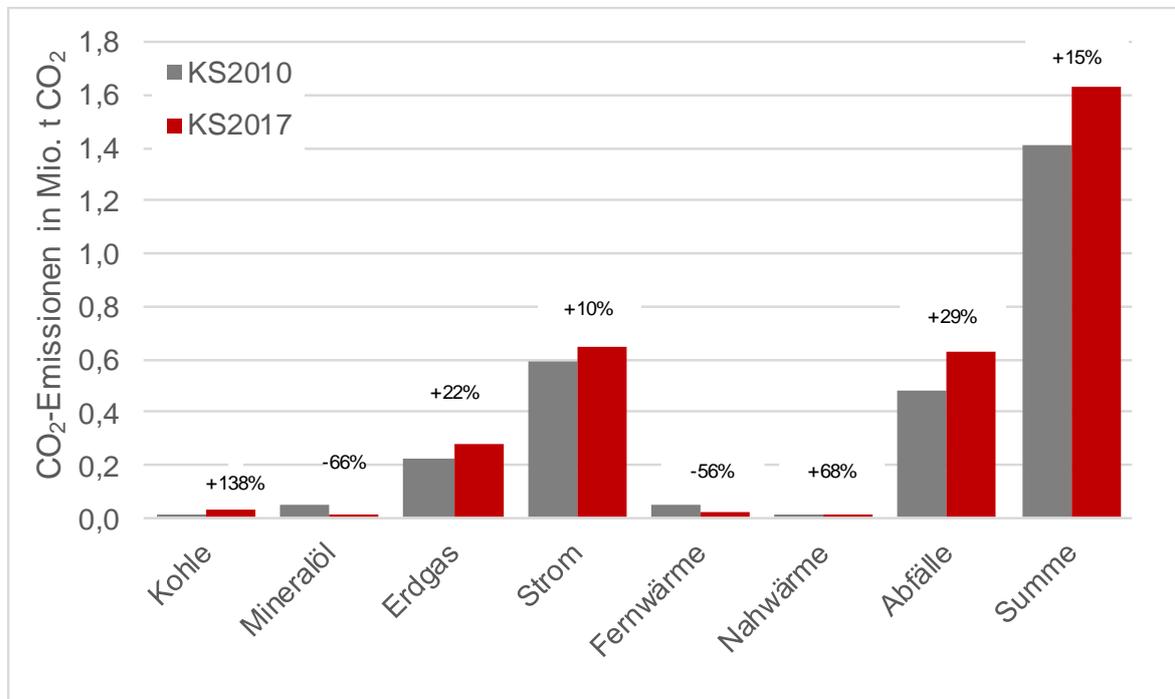
Für den Sektor Industrie, ohne Stahlindustrie, einschließlich Sonst. WZ/Abfall werden der Endenergieverbrauch (vgl. Abbildung 10-11) und die CO<sub>2</sub>-Emissionen (vgl. Abbildung 10-12) nach Energieträger verglichen. Die Abweichung im Energieverbrauch wird überwiegend durch die Unterschiede bei den Abfallverbrennungsanlagen bedingt. Wesentlich höher liegen im KS2017 auch die Emissionen durch Strom- (10 %) und Gasverbrauch (22 %).

Abbildung 10-11: Endenergieverbrauch der Industrie, ohne Stahlindustrie, inkl. Sonst. WZ/Abfall gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Energieträger, ohne Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall, in PJ



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

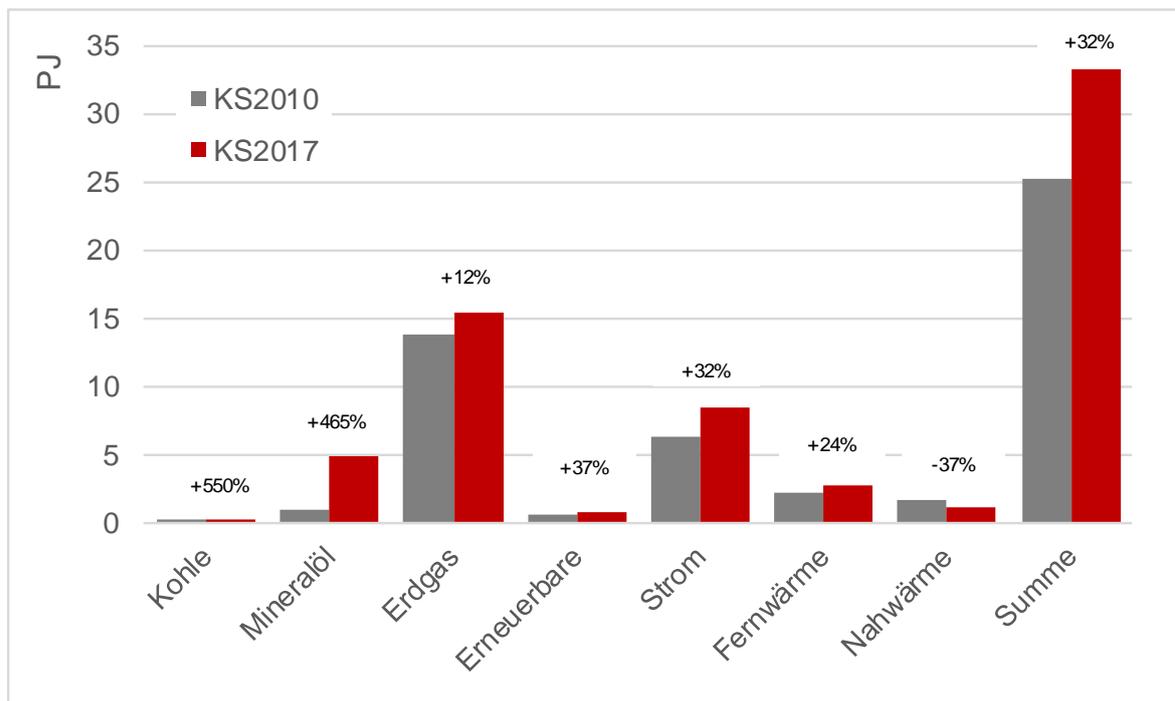
Abbildung 10-12: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie, ohne Stahlindustrie, inkl. Sonst. WZ/Abfall gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Energieträger, ohne Stahlindustrie und Sonst. WZ/Abfall, in Mio. t CO<sub>2</sub>



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

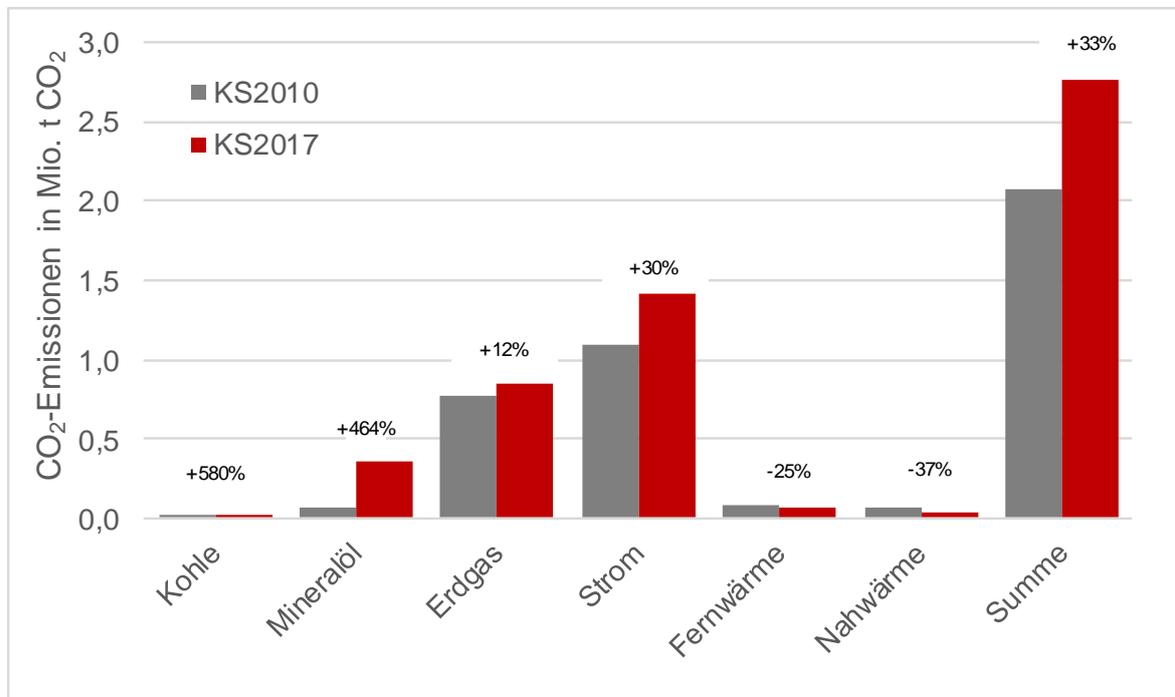
Für den Sektor PHH und GHD werden der Endenergieverbrauch (vgl. Abbildung 10-13) und die CO<sub>2</sub>-Emissionen (vgl. Abbildung 10-14) nach Energieträger verglichen. Wesentlich höher fallen die Verbräuche im KS2017 bei Mineralöl – insbesondere Heizöl – (+465 %), bei Strom (+32 %) und Erdgas (+12 %) aus.

Abbildung 10-13: Endenergieverbrauch GHD und PHH gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Energieträger, in PJ



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

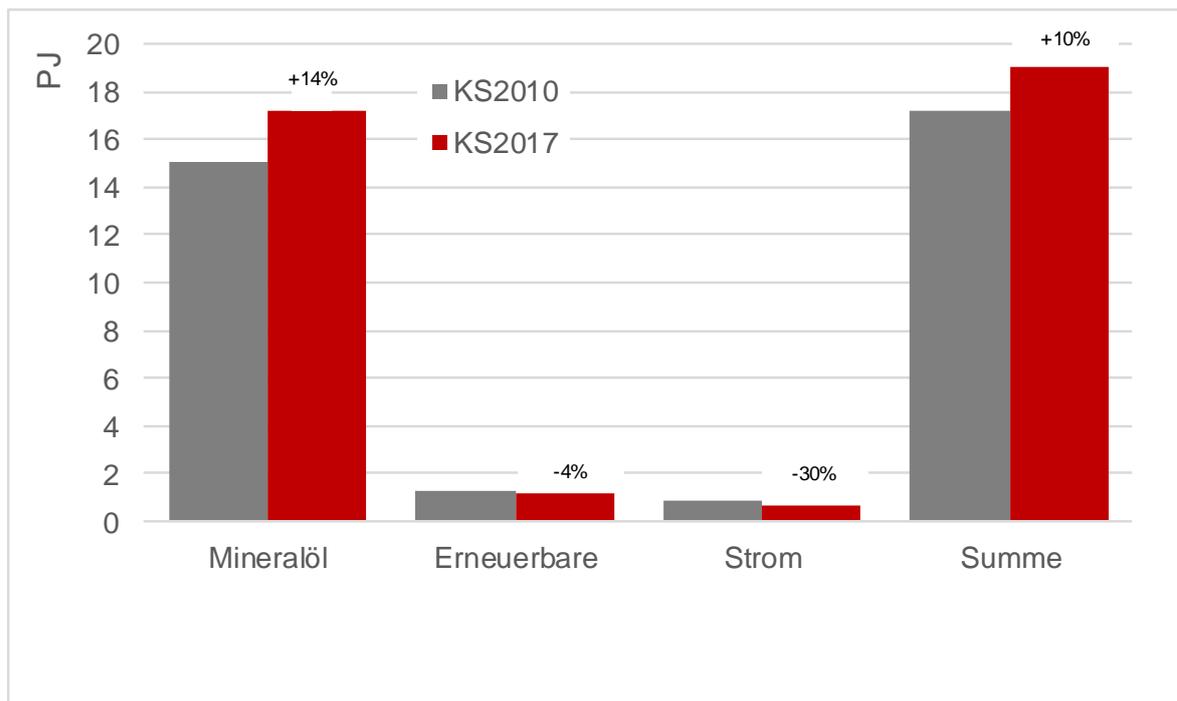
Abbildung 10-14: CO<sub>2</sub>-Emissionen GHD und PHH gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Energieträger, in Mio. t CO<sub>2</sub>



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

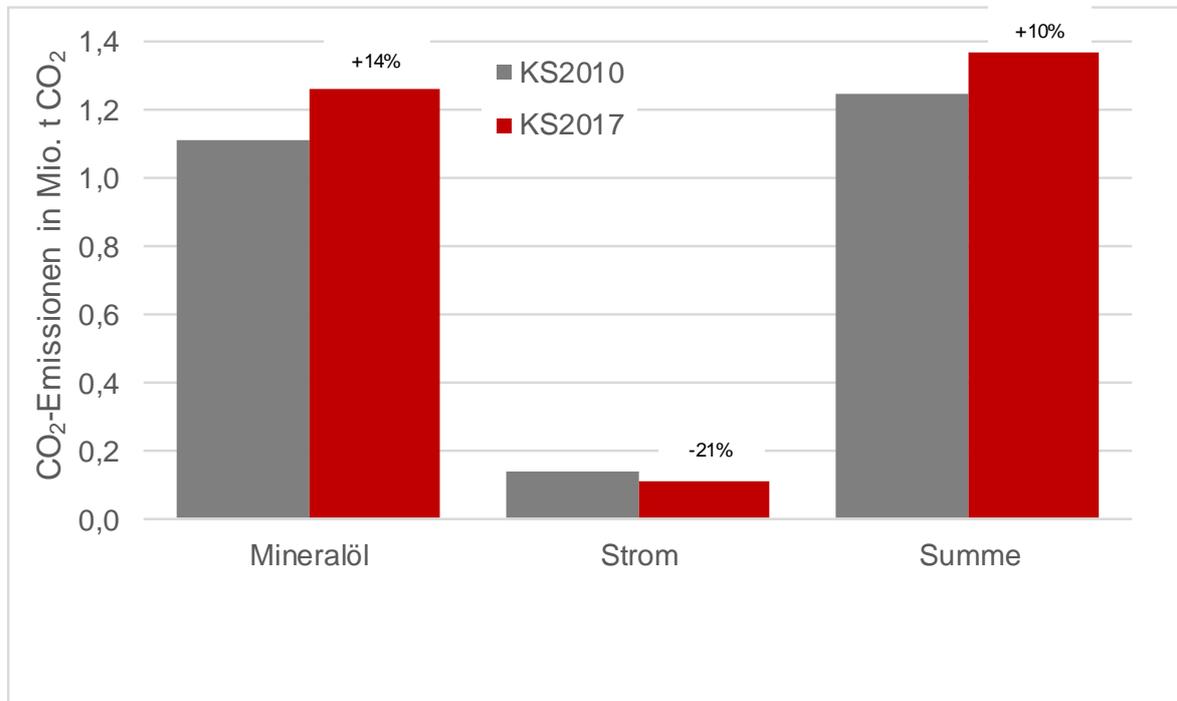
Für den Verkehrssektor werden ebenfalls die Endenergieverbräuche (vgl. Abbildung 10-15) und die CO<sub>2</sub>-Emissionen (vgl. Abbildung 10-16) nach Energieträger im Jahr 2020 verglichen. Die Abweichung wird wesentlich durch den Unterschied bei den Mineralölprodukten (also den Kraftstoffen) bedingt.

Abbildung 10-15: Endenergieverbrauch des Verkehrssektors gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Energieträger, in PJ



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Abbildung 10-16: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors gemäß KEP-Systematik im Jahr 2020: Szenarienvergleich KS2017 und KS2010 nach Energieträger, in Mio. t CO<sub>2</sub>



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

## 10.4 Effektzerlegung der Abweichung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2020

Im Folgenden wird zur Erklärung der Unterschiede der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2020 zwischen den Szenarien KS2017 und KS2010 eine Effektzerlegung vorgenommen. Mit dieser Methode wird untersucht, zu welchen Anteilen die Unterschiede auf Abweichungen in der CO<sub>2</sub>-Intensität des Energieträgermixes, der Energieintensität und der Mengentreiber zurückzuführen sind. Die CO<sub>2</sub>-Intensität berechnet sich als Verhältnis von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch und gibt damit an, wie viel Einheiten (g) CO<sub>2</sub> durchschnittlich durch den Verbrauch einer Einheit Energie (MJ) verursacht werden. Die Energieintensität ergibt sich als Verhältnis von Endenergieverbrauch und dem jeweiligen Mengentreiber. In der Industrie wird beispielsweise als Mengentreiber die Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes verwendet.

Zur Ermittlung der Effektzerlegung werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Sektors als Produkt der CO<sub>2</sub>-Intensität (Verhältnis von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Endenergieverbrauch), der Energieintensität (Verhältnis von Endenergieverbrauch und Mengentreiber) und des jeweiligen sektorspezifischen Mengentreibers dargestellt. Ausgehend vom KS2017 wird jeweils einer der drei Faktoren (z. B. die Energieintensität) durch die jeweilige Größe des KS2010 ersetzt und der resultierende Emissionswert ermittelt. Die Differenz der Ergebnisse ergibt jeweils den unkalibrierten Effekt. Die Summe der unkalibrierten Effekte weicht aus methodischen Gründen leicht von der Differenz der CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen den Szenarien ab, da das Verfahren nicht linear ist. Deshalb wird eine (multiplikative) Kalibrierung der unkalibrierten Effekte vorgenommen, sodass sich aus der Summe der jeweiligen Effekte in einem Sektor die Differenz der CO<sub>2</sub>-Emissionen im jeweiligen Sektor zwischen den Szenarien ergibt.

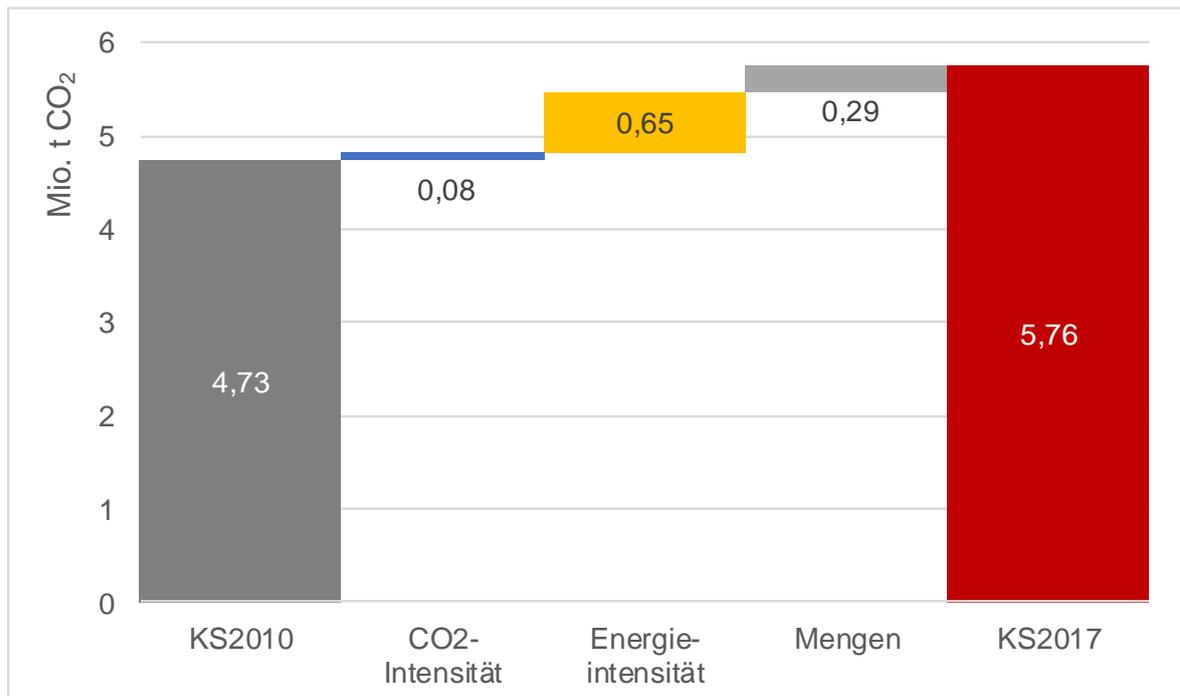
Durch Summierung der Effekte der einzelnen Sektoren ergibt sich die sektorübergreifende Effektzerlegung.

Zunächst wird das sektorübergreifende Ergebnis der Effektzerlegung vorgestellt, im Anschluss die im Rahmen der Effektzerlegung variierten Größen (CO<sub>2</sub>-Intensität, Energieintensität und Mengen) nach Sektor zwischen den Sektoren verglichen und abschließend die Effektzerlegung für die einzelnen Sektoren aufgezeigt. Die sektorübergreifende Effektzerlegung ist in Abbildung 10-17 dargestellt.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen liegen im KS2017 insgesamt 1,02 Mio. t höher als im KS2010. Dies wird maßgeblich durch Unterschiede in der Energieintensität bewirkt, denen eine Wirkung von insgesamt 650 Tsd. t zugeschrieben werden kann. Daneben können

290 Tsd. t der Mehremissionen auf Unterschiede der Mengentreiber zurückgeführt werden. Eine untergeordnete Rolle spielen Effekte aufgrund abweichender CO<sub>2</sub>-Intensität, die eine Abweichung von 80 Tsd. t CO<sub>2</sub> bewirken.

Abbildung 10-17: Effektzerlegung der Abweichung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von KS2017 ggü. KS2010 im Jahr 2020 nach CO<sub>2</sub>-Intensität, Energieintensität und Mengen, in Mio. t CO<sub>2</sub>



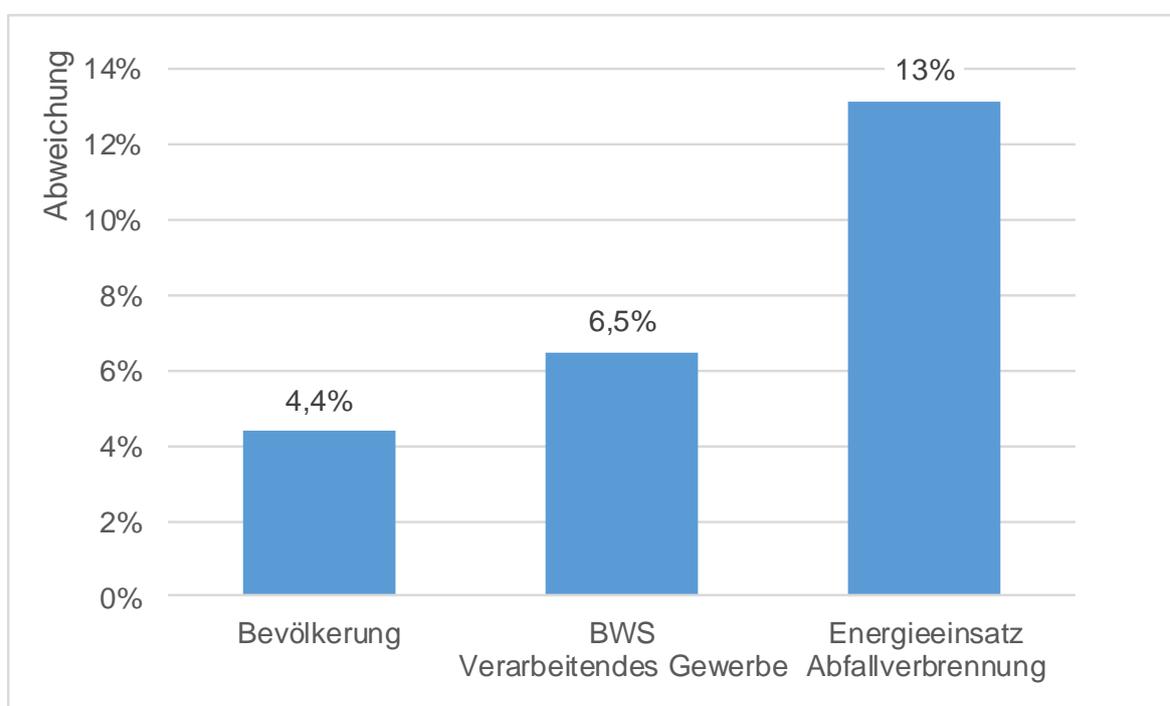
Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Als Mengentreiber für den Sektor PHH und GHD sowie für den Verkehrssektor wird die Bevölkerung verwendet.

Die Bevölkerung eignet sich nur bedingt als Mengentreiber des Gesamtsektors von PHH und GHD. Für die Energieverbräuche der PHH und des Personenverkehrs eignet sich der Mengentreiber gut – der Energieverbrauch des GHD-Sektors und der Energieverbrauch des Güterverkehrs korrelieren stärker mit der wirtschaftlichen Entwicklung. Da der Endenergieverbrauch nach KEP-Bilanz und in den verglichenen Szenarien nur insgesamt für GHD und PHH aggregiert ausgewiesen wird, muss hier ein gemeinsamer Mengentreiber verwendet werden, was die Aussagekraft beschränkt und Interpretationen schwierig macht.

Im KS2017 ist die Bevölkerungszahl im Jahr 2020 4,4 % höher als im KS2010, wodurch sich die Mehremissionen in den Sektoren zum Teil erklären lassen (vgl. Abbildung 10-18). Für den Industriegesektor ohne Stahlindustrie und Abfallverbrennung wird die Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes als Mengentreiber verwendet. Sie liegt im KS2017 im Jahr 2020 6,5 % höher als im KS2010, wodurch sich die Mehremissionen zum Teil erklären lassen. Als Mengentreiber für die Abfallverbrennung wird der Energieinhalt der verbrannten Abfälle verwendet. Er liegt im KS2017 im Jahr 2020 13 % höher als im KS2010, wodurch sich die Mehremissionen teilweise erklären lassen.

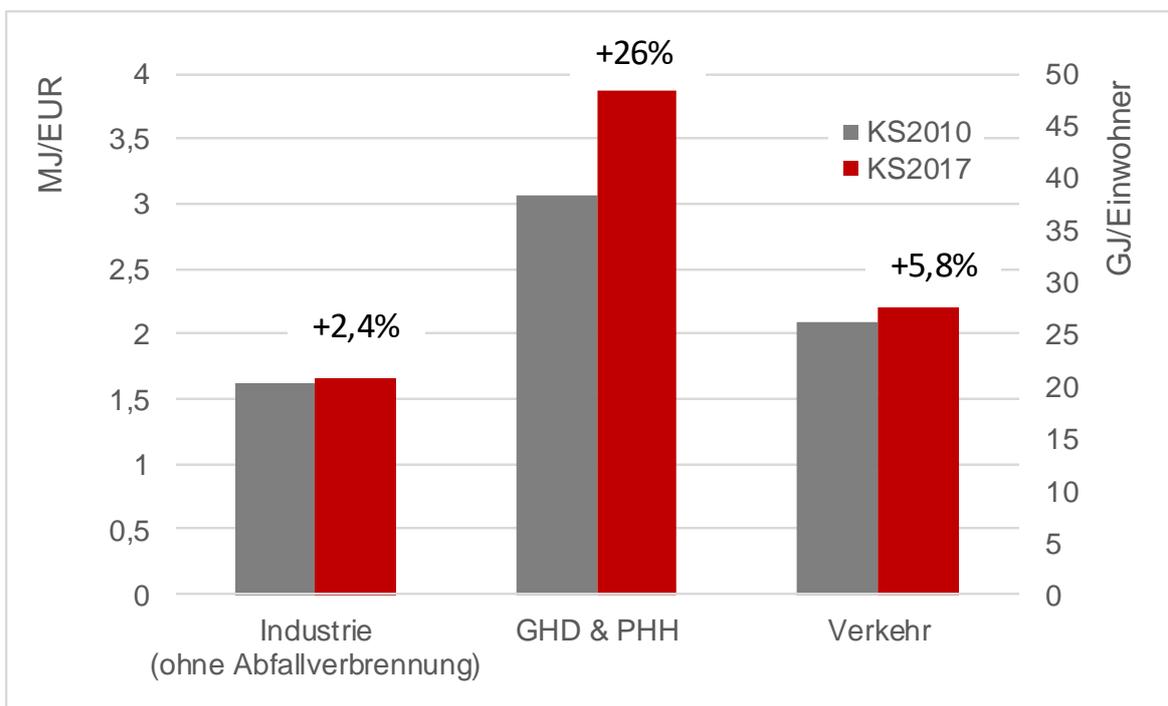
Abbildung 10-18: Abweichung von Mengentriibern im Jahr 2020 KS2017 ggü. KS2010: Bevölkerung, Bruttowertschöpfung (BWS) Verarbeitendes Gewerbe und Energieeinsatz Abfallverbrennung



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Das Verhältnis zwischen Endenergieverbrauch und gewähltem Mengentreiber wird als Energieintensität definiert. Die Energieintensitäten sind in Abbildung 10-19 nach Sektor für die beiden Klimaschutzszenarien vergleichend dargestellt. Die Energieintensität der Industrie ohne Abfallverbrennung und Stahlindustrie gibt das Verhältnis vom Endenergieverbrauch zur Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes an. Die Energieintensität der aggregierten Sektoren GHD und PHH gibt die Höhe des Endenergieverbrauchs bezogen auf die Bevölkerung an. Für den Sektor Abfallverbrennung wird keine Energieintensität definiert, da der absolute Energieinhalt des verbrannten Abfalls als Mengentreiber verwendet wird. Besonders hoch fällt der Unterschied der Energieintensität im Sektor GHD und PHH aus. Im KS2017 liegt der Wert im Jahr 2020 26 % höher als im KS2010 (vgl. Abbildung 10-19). Die Energieintensitäten sind auch für den Verkehr (+5,8 %) und für die Industrie (+2,4 %) im KS2017 höher.

Abbildung 10-19: Energieintensität nach Sektor im Vergleich: Endenergieverbrauch pro Bruttowertschöpfung Verarbeitendes Gewerbe (Industrie) ohne Stahlindustrie, exklusive Abfallverbrennung und Endenergieverbrauch je Einwohner (GHD und PHH, Verkehr), in MJ/Eur und GJ/Einwohner

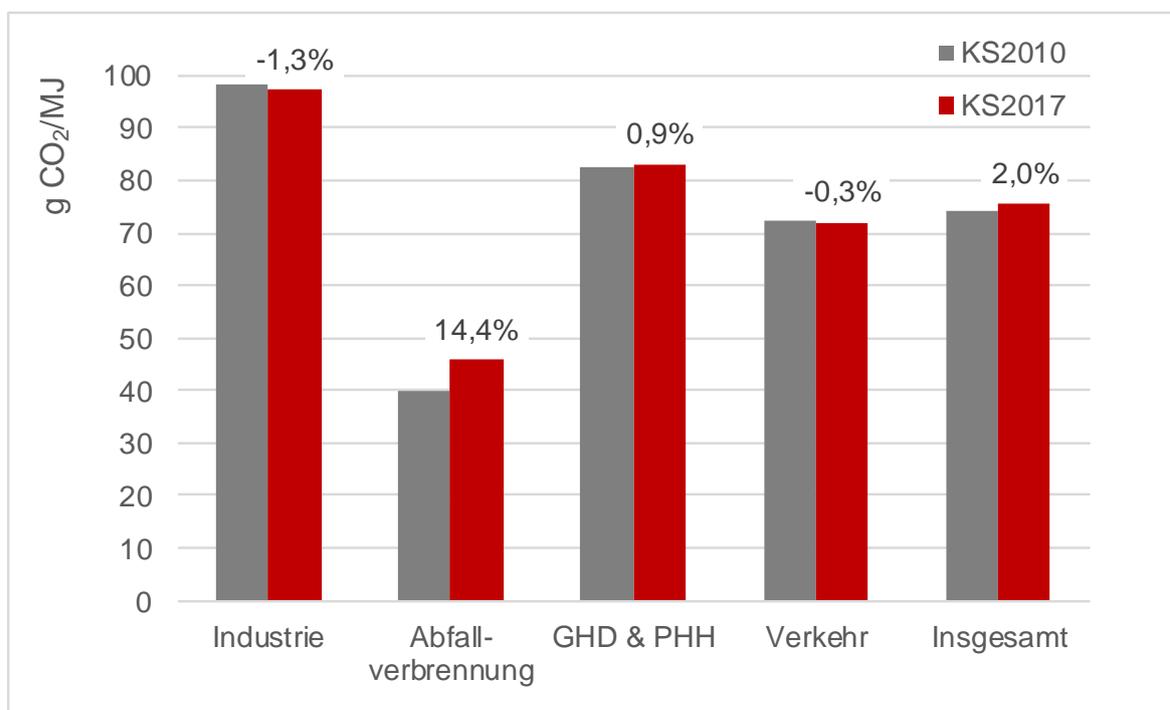


Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Das durchschnittliche Verhältnis zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und dem Endenergieverbrauch wird als CO<sub>2</sub>-Intensität definiert. Dadurch werden Substitutionen zwischen Energieträgern und Änderungen der Emissionsfaktoren von Strom und Fernwärme hinsichtlich ihrer Wirkung auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen zusammengefasst bewertet.

Die Abweichungen zwischen den Szenarien fallen gegenüber den Abweichungen bei Mengentreibern und Energieintensitäten vergleichsweise klein aus. Mit +14 % liegt die CO<sub>2</sub>-Intensität der Abfallverbrennung im KS2017 deutlich höher als im KS2010. Grund ist eine Änderung des Emissionsfaktors für Abfall im Jahr 2011 von 80,0 g/MJ auf 91,5 g/MJ.

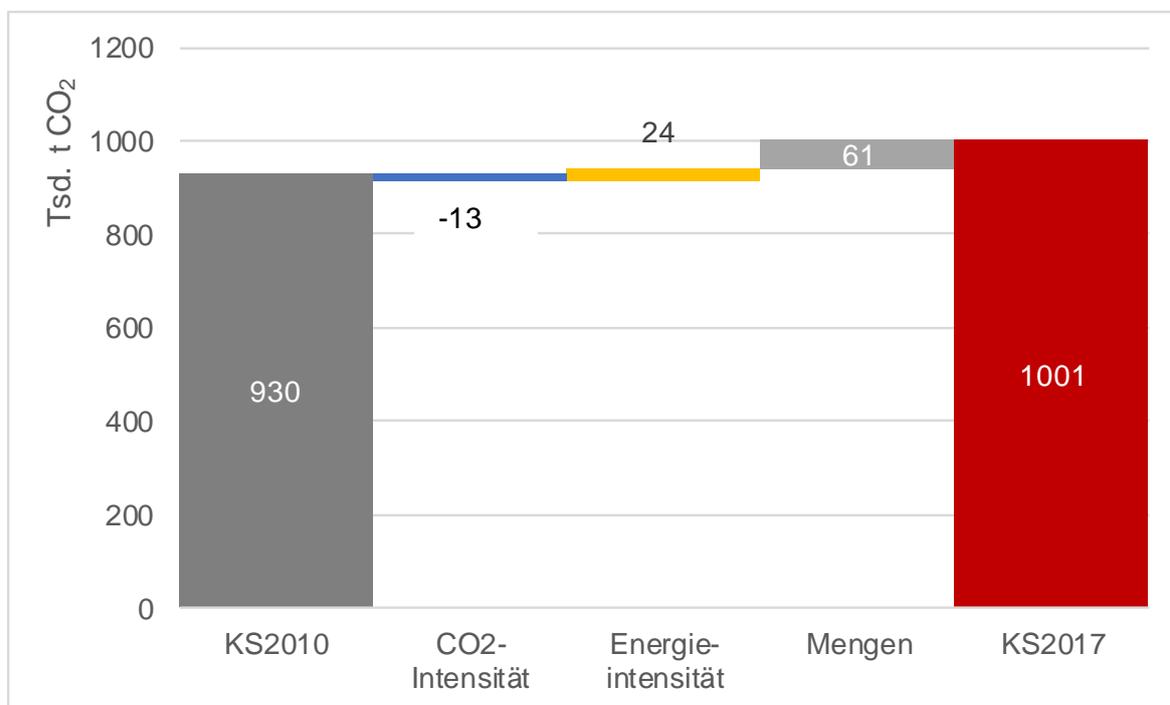
Abbildung 10-20: CO<sub>2</sub>-Intensität nach Sektor im Jahr 2020 im Vergleich: mittlere spezifische Emissionen, in g CO<sub>2</sub>/MJ



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Industriesektor ohne Stahlindustrie und Abfallverbrennung liegen im KS2017 insgesamt um 71 Tsd. t höher als im KS2010. Dies wird überwiegend durch Unterschiede des Mengentreibers (also der Bruttowertschöpfung des Verarbeitenden Gewerbes) bewirkt, denen eine Wirkung von 61 Tsd. t zugeschrieben werden kann. Daneben können 24 Tsd. t der Mehremissionen auf Unterschiede in der Energieintensität zurückgeführt werden. Die CO<sub>2</sub>-Intensität fällt im KS2017 niedriger als im KS2010 aus, sodass dieser eine Minderungswirkung von 13 Tsd. t CO<sub>2</sub> zugeschrieben werden kann.

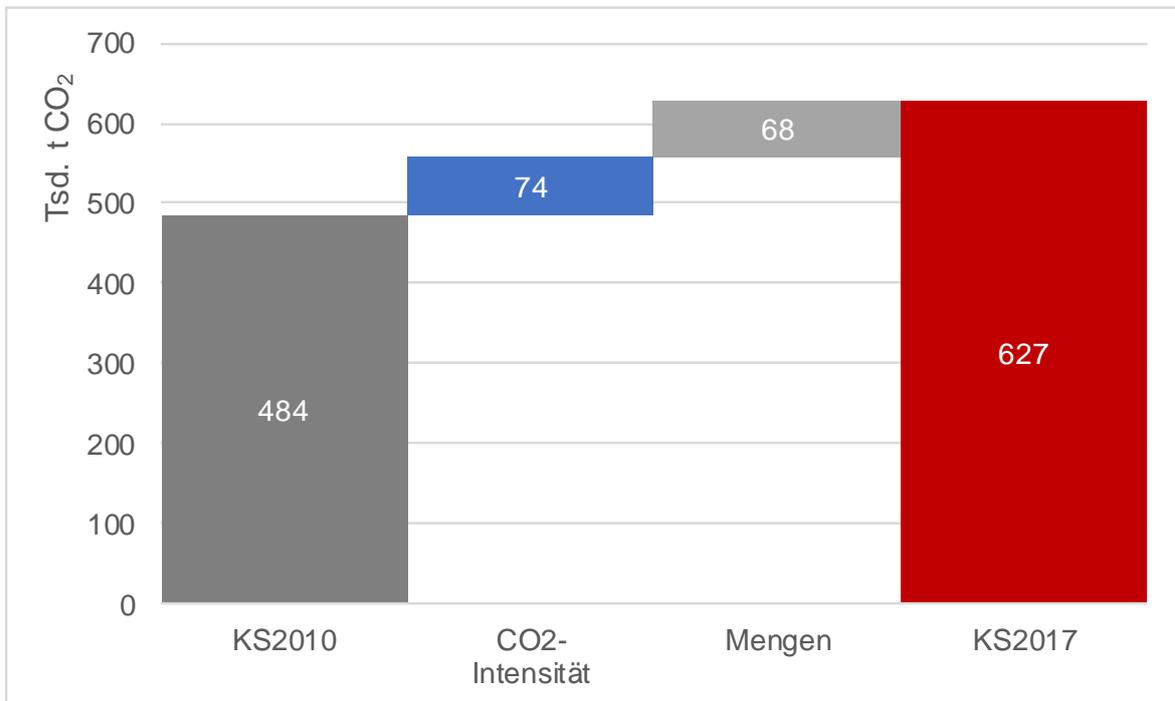
Abbildung 10-21: Effektzerlegung der Abweichung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Industriesektor ohne Stahlindustrie und Abfallverbrennung von KS2017 ggü. KS2010 im Jahr 2020 nach CO<sub>2</sub>-Intensität, Energieintensität und Mengen, in Tsd. t CO<sub>2</sub>



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Abfallverbrennung liegen im KS2017 insgesamt 142 Tsd. t höher als im KS2010. Die Abweichung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wird bei der Abfallverbrennung lediglich in zwei Komponenten zerlegt, da als Mengentreiber bereits der Energieinhalt des verbrannten Abfalls verwendet wird. Die Mehremissionen lassen sich zu ähnlichen Anteilen auf die CO<sub>2</sub>-Intensität (+74 Tsd. t) und den Mengentreiber (+68 Tsd. t) zurückführen. Grund für die Abweichung der CO<sub>2</sub>-Intensität ist eine Änderung des Emissionsfaktors für Abfall im Jahr 2011 von 80,0 g/MJ auf 91,5 g/MJ.

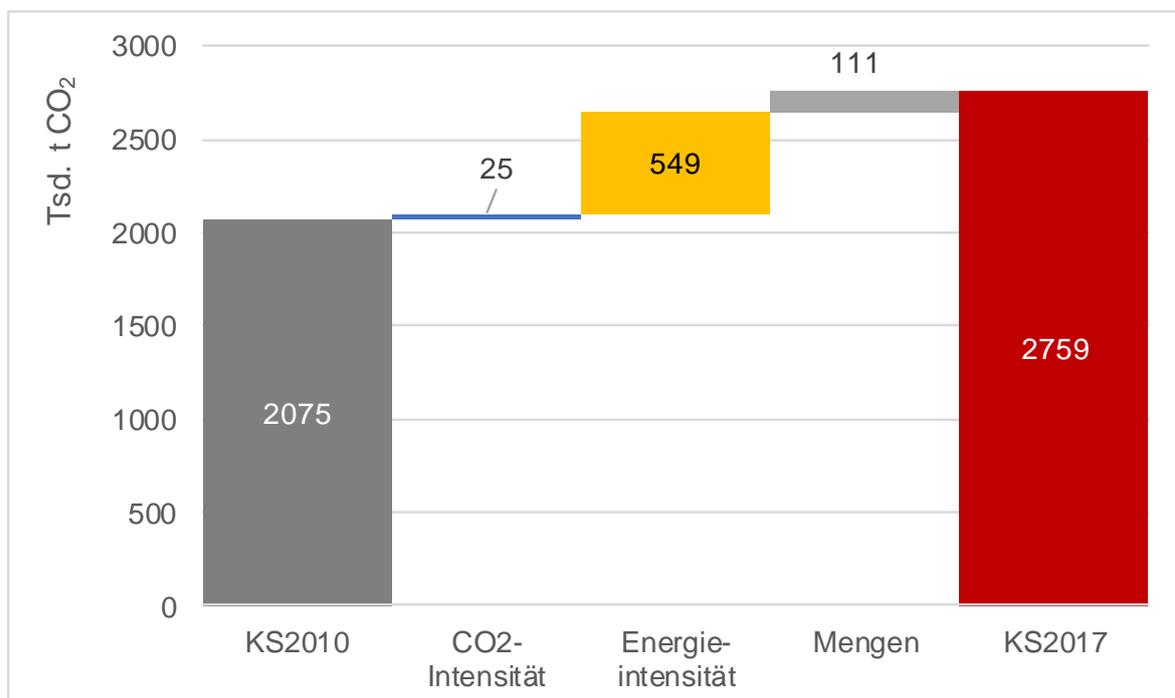
Abbildung 10-22: Effektzerlegung der Abweichung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Abfallverbrennung von KS2017 ggü. KS2010 im Jahr 2020 nach CO<sub>2</sub>-Intensität und Mengen, in Tsd. t CO<sub>2</sub>



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor PHH und GHD liegen im KS2017 insgesamt 684 Tsd. t höher als im KS2010. Die Mehremissionen sind im Rahmen der Effektzerlegung überwiegend auf Unterschiede der Energieintensität (also des Endenergieverbrauchs pro Kopf) zurückzuführen, denen eine Wirkung von 550 Tsd. t zugeschrieben werden kann. Daneben lassen sich 109 Tsd. t durch die höhere Bevölkerungszahl und 25 Tsd. t durch die CO<sub>2</sub>-Intensität erklären. Dabei sei darauf hingewiesen, dass sich die Bevölkerung nur bedingt als Mengentreiber des Gesamtsektors von PHH und GHD eignet. Für die Energieverbräuche der PHH und des Personenverkehrs eignet sich der Mengentreiber gut – der Energieverbrauch des GHD-Sektors und der Energieverbrauch des Güterverkehrs korrelieren stärker mit der wirtschaftlichen Entwicklung. Da der Endenergieverbrauch nach KEP-Bilanz und in den verglichenen Szenarien insgesamt für GHD und PHH aggregiert ausgewiesen wird, kann nur ein gemeinsamer Mengentreiber verwendet werden. Die eingeschränkte Aussagekraft dieser Effektzerlegung muss bei der Interpretation berücksichtigt werden.

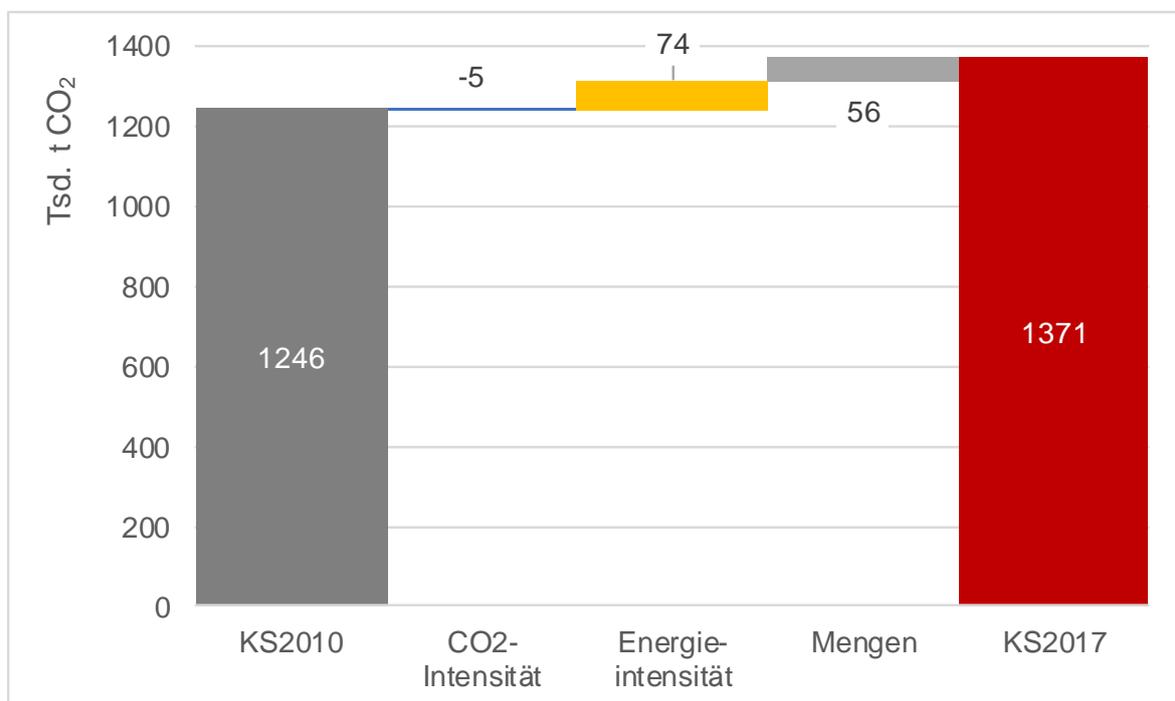
Abbildung 10-23: Effektzerlegung der Abweichung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Sektoren GHD und PHH von KS2017 ggü. KS2010 im Jahr 2020 nach CO<sub>2</sub>-Intensität, Energieintensität und Mengen, in Tsd. t CO<sub>2</sub>



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors liegen im KS2017 125 Tsd. t höher als im KS2010. Die Mehremissionen lassen sich zu ähnlichen Anteilen auf Unterschiede der Energieintensität (also des Endenergieverbrauchs pro Kopf; +74 Tsd. t) und den Mengentreiber (also die Bevölkerung; +55 Tsd. t) zurückführen. Die CO<sub>2</sub>-Intensität fällt im KS2017 niedriger als im KS2010 aus, sodass dieser eine Minderungswirkung von 5 Tsd. t CO<sub>2</sub> zugeschrieben werden kann.

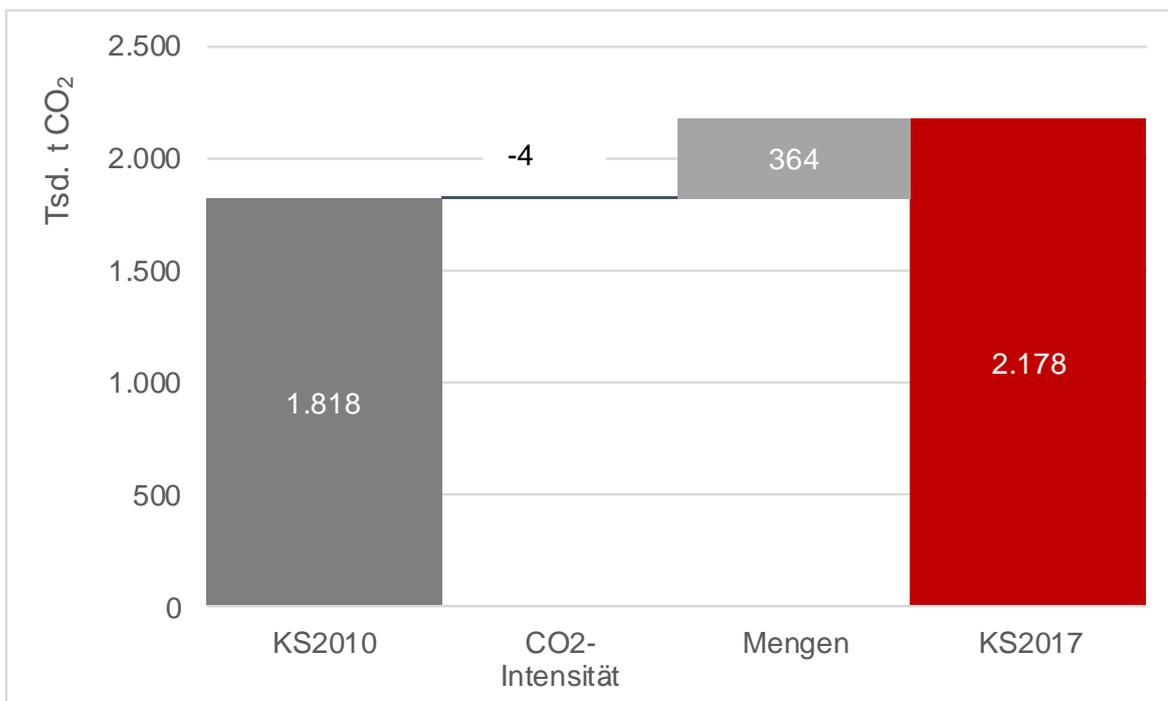
Abbildung 10-24: Effektzerlegung der Abweichung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors von KS2017 ggü. KS2010 im Jahr 2020 nach CO<sub>2</sub>-Intensität, Energieintensität und Mengen, in Tsd. t CO<sub>2</sub>



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

Die indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch den Verbrauch des Endenergieträgers Strom verursacht werden, liegen im Jahr 2020 im KS2017 360 Tsd. t über dem Niveau des KS2010. Generell können höhere indirekte Emissionen durch eine höhere CO<sub>2</sub>-Intensität oder einen höheren Stromverbrauch verursacht werden. Deshalb wird in Abbildung 10-25 eine Effekterlegung des Unterschieds auf diese beiden Dimensionen vorgenommen. Tatsächlich liegt der mittlere Stromfaktor auf Landesebene, der gleich der CO<sub>2</sub>-Intensität ist, im KS2017 leicht unter dem Niveau des KS2010. Damit werden der CO<sub>2</sub>-Intensität Minderemissionen von 4 Tsd. t zugeschrieben. Dementsprechend lassen sich der erhöhten Stromnachfrage im KS2017 364 Tsd. t an Mehremissionen zuschreiben.

Abbildung 10-25: Effekterlegung der Abweichung der indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Stromverbrauch von KS2017 ggü. KS2010 im Jahr 2020 nach CO<sub>2</sub>-Intensität und Mengen, in Tsd. t CO<sub>2</sub>



Quellen: KS2010: BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010, KS2017: eigene Berechnungen

## 11 Literaturverzeichnis

AMB (2016)	Persönliche Korrespondenz mit ArcelorMittal Bremen (vertraulich)
BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (2010)	BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie im Auftrag des Senators für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa der Freien Hansestadt Bremen: Energie- und Klimaschutzszenarien für das Land Bremen (2020), Aachen, Wuppertal, Bremen
BMUB (2016)	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Projektionsbericht der Bundesregierung 2015, Zusammenfassung der Ergebnisse
Freie Hansestadt Bremen (2010)	Freie Hansestadt Bremen: Klimaschutz- und Energieprogramm 2020 - Zugleich Vierte Fortschreibung des Landesenergieprogramms gemäß § 13 des Bremischen Energiegesetzes
imug (2016)	Imug: Evaluation Unternehmensaktivitäten, Ergebnisbericht 27. April 2016
Intrapolan/BVU (2014)	Intrapolan Consult GmbH, BVU Beratergruppe Verkehr+Umwelt GmbH: Verkehrsverflechtungsprognose 2030, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur
Prognos (2012)	Endenergieeinsparziel gem. Art. 7 EED und Abschätzung der durch politische Maßnahmen erreichbaren Energieeinsparungen
Prognos/EWI/GWS, (2014)	Prognos, EWU, GWS im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie: Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose
Statistisches Bundesamt (2010)	Statistisches Bundesamt 2010, Bauen und Wohnen, Mikrozensus - Zusatzerhebung 2010 Bestand und Struktur der Wohneinheiten - Wohnsituation der Haushalte

Statistisches Bundesamt (2013)	Bundesamt Downloadtabelle „Gebäude und Wohnungen“ des Zensus 2011, Version 2013
Statistisches Bundesamt (2017)	Preise – Daten zu Energiepreisentwicklung – Lange Reihen von Januar 2000 bis November 2016
Statistisches Bundesamt, Statistisches Landesamt Bremen (2016)	Statistisches Bundesamt sowie Schätzungen des Statistischen Landesamtes Bremen, Eigene Berechnungen. 2016 bis 2020 Prognosen des Statistischen Landesamtes Bremen
Statistisches Landesamt Bremen (2016a)	Statistisches Landesamt Bremen: Bevölkerungsvorausschätzung des Statistischen Landesamtes Bremen, August 2016
Statistisches Landesamt Bremen (2016b)	Statistisches Landesamt Bremen: Rück- bzw. Fortschreibung basierend auf den Ergebnissen der Gebäude- und Wohnungszählung 2011, Auszug Bremen Infosystem, Wohngebäude- und Wohnungsbestand nach Anzahl der Räume sowie Wohnfläche (ab 2010), Abruf: 30.05.2017, <a href="http://www.statistik-bremen.de/bremendat/abfrage.cfm?tabelle=03502&amp;netscape=ja&amp;titelname=Bremen%20Infosystem">http://www.statistik-bremen.de/bremendat/abfrage.cfm?tabelle=03502&amp;netscape=ja&amp;titelname=Bremen%20Infosystem</a>
Statistisches Landesamt Bremen (2016c)	Statistisches Landesamt Bremen, Tabelle 035-21 Wohngebäude- und Wohnungsbestand nach Anzahl der Räume sowie Wohnfläche (1967 bis 2010)
Statistisches Landesamt Bremen (2017a)	Baufertigstellungsstatistik, Auszug Bremen Infosystem, <a href="http://www.statistik-bremen.de/bremendat/statwizard_step1.cfm">http://www.statistik-bremen.de/bremendat/statwizard_step1.cfm</a> , Gebäude und Wohnen/Baufertigstellungen/Fertigstellung von Wohnungen in Wohn- und Nichtwohngebäuden nach Haustyp, ab 1981, Abruf: 25.01.2017
Statistisches Landesamt Bremen (2017b)	174-05: Privathaushalte nach Haushaltsgröße (Ergebnisse des Mikrozensus, nur Land Bremen)). <a href="http://www.statistik-bremen.de">http://www.statistik-bremen.de</a> , Abruf: 2017
SUBV (2014)	Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Verkehrsentwicklungsplan 2025, Stand: Oktober 2014
SUBV (2016)	Der Senator für Umwelt, Bau und Verkehr, Klimaschutz- und Energieprogramm (KEP) 2020 – Erste Fortschreibung, Arbeitsentwurf (Stand: 9. Februar 2016)

## 12 Verzeichnis der Abkürzungen

BHKW	Blockheizkraftwerk, auch Klein-KWK
Biokst.	Biokraftstoffe
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
Diesekst.	Diesekraftstoffe
ESC	Energiespar-Contracting
Flugturbkst.	Flugturbinenkraftstoffe
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GJ	Gigajoule, Energieeinheit
GuD-Kraftwerk	Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk
GWh	Gigawattstunde, Energieeinheit
KEP	Klimaschutz- und Energieprogramm 2020 [Freie Hansestadt Bremen, 2010]
KEP-Systematik	Systematik zur Bilanzierung von Energieverbräuchen und CO <sub>2</sub> -Emissionen (vgl. Kapitel 2.3)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KS2010	Klimaschutzszenario aus der Studie [BET, Bremer Energie Institut, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, 2010]
KS2017	Das im Rahmen der vorliegenden Studie erarbeitete Klimaschutzszenario (vgl. Kapitel 6)
kWh	Kilowattstunde, Energieeinheit 1 kWh = 3,6 MJ
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MJ	Megajoule, Energieeinheit
MW <sub>peak</sub>	Megawatt Peakleistung Einheit für maximale Leistung
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Ottokst.	Ottokraftstoffe
PHH	Private Haushalte

PJ	Petajoule, Energieeinheit
PV	Photovoltaik
REN-Programm	Förderprogramm für Maßnahmen der sparsamen und rationellen Energienutzung und -umwandlung in Industrie und Gewerbe (vgl. Kapitel 5.2)
Sonst. WZ/Abfall	Sonstige Wirtschaftszweige, insbesondere Abfallwirtschaft
TJ	Terajoule, Energieeinheit

## 13 Tabellenanhang

### 13.1 Referenzszenario

*Tabelle 13-1: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Energieträgern im Referenzszenario, ohne Stahlindustrie, in PJ*

	Land Bremen				Stadt Bremen				Stadt Bremerhaven			
	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020
Kohle	1,3	0,4	0,5	0,5	1,1	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Heizöl leicht	17,1	6,6	5,0	4,7	14,8	5,7	4,2	3,9	2,2	0,9	0,8	0,7
Kraftstoffe	23,9	18,5	19,0	17,7	19,7	15,6	16,1	14,8	4,1	2,8	2,9	2,9
sonst. Mineralöl	1,2	0,3	0,2	0,3	0,9	0,3	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
Erdgas	15,0	21,4	20,5	20,8	13,0	17,5	18,0	18,2	1,9	3,8	2,6	2,6
Erneuerbare	2,8	7,4	8,9	9,1	1,3	5,4	6,9	7,2	1,5	2,0	2,0	1,9
Strom	11,0	12,4	13,3	12,7	9,4	10,3	11,3	10,8	1,6	2,1	2,0	1,9
Fernwärme	2,4	3,8	3,2	3,4	1,9	3,1	2,6	2,8	0,5	0,7	0,5	0,6
Nahwärme	0,9	1,0	1,0	1,1	0,5	0,7	0,8	0,9	0,4	0,3	0,2	0,2
Abfälle	2,6	6,0	6,8	6,8	1,1	4,5	5,3	5,3	1,5	1,5	1,6	1,6
<b>Summe</b>	<b>78,0</b>	<b>77,8</b>	<b>78,4</b>	<b>77,1</b>	<b>63,9</b>	<b>63,5</b>	<b>65,8</b>	<b>64,8</b>	<b>14,1</b>	<b>14,3</b>	<b>12,6</b>	<b>12,3</b>

Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

*Tabelle 13-2: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik ohne Stahlindustrie nach Energieträgern im Referenzszenario, in Mio. t CO<sub>2</sub>*

	Land Bremen				Stadt Bremen				Stadt Bremerhaven			
	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020
Kohle	0,12	0,04	0,04	0,05	0,11	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
Heizöl leicht	1,26	0,49	0,37	0,35	1,10	0,42	0,31	0,29	0,16	0,07	0,06	0,05
Kraftstoffe	1,74	1,36	1,40	1,31	1,44	1,15	1,18	1,09	0,30	0,21	0,22	0,21
sonst. Mineralöl	0,09	0,02	0,02	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
Erdgas	0,84	1,20	1,15	1,16	0,73	0,98	1,00	1,02	0,11	0,21	0,14	0,14
Strom	2,46	2,62	2,48	2,31	2,20	2,34	2,21	2,12	0,26	0,28	0,27	0,19
Fernwärme	0,09	0,12	0,08	0,09	0,09	0,12	0,08	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Nahwärme	0,07	0,05	0,04	0,04	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01
Abfälle	0,21	0,48	0,63	0,63	0,09	0,36	0,48	0,48	0,12	0,12	0,14	0,14
<b>Summe</b>	<b>6,87</b>	<b>6,36</b>	<b>6,21</b>	<b>5,95</b>	<b>5,87</b>	<b>5,44</b>	<b>5,36</b>	<b>5,19</b>	<b>1,01</b>	<b>0,92</b>	<b>0,84</b>	<b>0,75</b>

Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

*Tabelle 13-3: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Sektoren im Referenzszenario, ohne Stahlindustrie, in PJ*

	Land Bremen				Stadt Bremen				Stadt Bremerhaven			
	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020
Industrie	9,6	9,7	9,8	9,8	8,7	8,5	8,4	8,8	0,9	1,2	1,4	1,0
Sonst. WZ / Abfall	6,2	12,5	14,1	14,3	3,2	9,3	10,8	11,0	3,0	3,2	3,3	3,2
Verkehr	22,0	19,9	20,0	19,5	18,2	16,6	16,7	16,4	3,8	3,3	3,2	3,1
PHH und GHD	40,2	35,7	34,6	33,6	33,8	29,1	29,9	28,5	6,4	6,6	4,7	5,0
<b>Summe</b>	<b>78,0</b>	<b>77,8</b>	<b>78,4</b>	<b>77,1</b>	<b>63,9</b>	<b>63,5</b>	<b>65,8</b>	<b>64,8</b>	<b>14,1</b>	<b>14,3</b>	<b>12,6</b>	<b>12,3</b>

Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

*Tabelle 13-4: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik nach Sektoren im Referenzszenario, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>*

	Land Bremen				Stadt Bremen				Stadt Bremerhaven			
	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020
Industrie	1,09	1,06	0,96	0,99	0,99	0,95	0,84	0,91	0,10	0,10	0,11	0,07
Sonst. WZ / Abfall	0,33	0,53	0,68	0,68	0,20	0,40	0,52	0,53	0,13	0,14	0,16	0,15
Verkehr	1,62	1,46	1,45	1,39	1,34	1,25	1,24	1,18	0,28	0,21	0,21	0,21
PHH und GHD	3,84	3,31	3,12	2,88	3,33	2,84	2,76	2,57	0,51	0,47	0,36	0,31
<b>Summe</b>	<b>6,87</b>	<b>6,36</b>	<b>6,21</b>	<b>5,95</b>	<b>5,87</b>	<b>5,44</b>	<b>5,36</b>	<b>5,19</b>	<b>1,01</b>	<b>0,92</b>	<b>0,84</b>	<b>0,75</b>

Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

## 13.2 Klimaschutzszenario

*Tabelle 13-5: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Energieträgern im Klimaschutzszenario, ohne Stahlindustrie, in PJ*

	Land Bremen				Stadt Bremen				Stadt Bremerhaven			
	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020
Kohle	1,3	0,4	0,5	0,5	1,1	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
Heizöl leicht	17,1	6,6	5,0	4,6	14,8	5,7	4,2	3,9	2,2	0,9	0,8	0,7
Kraftstoffe	23,9	18,5	19,0	17,2	19,7	15,6	16,1	14,4	4,1	2,8	2,9	2,8
sonst. Mineralöl	1,2	0,3	0,2	0,3	0,9	0,3	0,2	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
Erdgas	15,0	21,4	20,5	20,4	13,0	17,5	18,0	17,9	1,9	3,8	2,6	2,5
Erneuerbare	2,8	7,4	8,9	9,1	1,3	5,4	6,9	7,2	1,5	2,0	2,0	1,9
Strom	11,0	12,4	13,3	12,7	9,4	10,3	11,3	10,9	1,6	2,1	2,0	1,9
Fernwärme	2,4	3,8	3,2	3,4	1,9	3,1	2,6	2,8	0,5	0,7	0,5	0,6
Nahwärme	0,9	1,0	1,0	1,2	0,5	0,7	0,8	1,0	0,4	0,3	0,2	0,2
Abfälle	2,6	6,0	6,8	6,8	1,1	4,5	5,3	5,3	1,5	1,5	1,6	1,6
<b>Summe</b>	<b>78,0</b>	<b>77,8</b>	<b>78,4</b>	<b>76,2</b>	<b>63,9</b>	<b>63,5</b>	<b>65,8</b>	<b>64,0</b>	<b>14,1</b>	<b>14,3</b>	<b>12,6</b>	<b>12,3</b>

Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

*Tabelle 13-6: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik ohne Stahlindustrie nach Energieträgern im Klimaschutzscenario, in Mio. t CO<sub>2</sub>*

	Land Bremen				Stadt Bremen				Stadt Bremerhaven			
	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020
Kohle	0,12	0,04	0,04	0,05	0,11	0,03	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
Heizöl leicht	1,26	0,49	0,37	0,34	1,10	0,42	0,31	0,29	0,16	0,07	0,06	0,05
Kraftstoffe	1,74	1,36	1,40	1,27	1,44	1,15	1,18	1,06	0,30	0,21	0,22	0,21
sonst. Mineralöl	0,09	0,02	0,02	0,02	0,07	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
Erdgas	0,84	1,20	1,15	1,14	0,73	0,98	1,00	1,00	0,11	0,21	0,14	0,14
Strom	2,46	2,62	2,48	2,18	2,20	2,34	2,21	2,02	0,26	0,28	0,27	0,15
Fernwärme	0,09	0,12	0,08	0,09	0,09	0,12	0,08	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
Nahwärme	0,07	0,05	0,04	0,05	0,05	0,02	0,03	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01
Abfälle	0,21	0,48	0,63	0,63	0,09	0,36	0,48	0,48	0,12	0,12	0,14	0,14
<b>Summe</b>	<b>6,87</b>	<b>6,36</b>	<b>6,21</b>	<b>5,76</b>	<b>5,87</b>	<b>5,44</b>	<b>5,36</b>	<b>5,04</b>	<b>1,01</b>	<b>0,92</b>	<b>0,84</b>	<b>0,72</b>

Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

*Tabelle 13-7: Endenergieverbrauch gemäß KEP-Systematik nach Sektoren im Klimaschutzscenario, ohne Stahlindustrie, in PJ*

	Land Bremen				Stadt Bremen				Stadt Bremerhaven			
	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020
Industrie	9,6	9,7	9,8	9,8	8,7	8,5	8,4	8,8	0,9	1,2	1,4	1,0
Sonst. WZ / Abfall	6,2	12,5	14,1	14,2	3,2	9,3	10,8	11,0	3,0	3,2	3,3	3,2
Verkehr	22,0	19,9	20,0	19,0	18,2	16,6	16,7	16,0	3,8	3,3	3,2	3,1
PHH und GHD	40,2	35,7	34,6	33,2	33,8	29,1	29,9	28,2	6,4	6,6	4,7	5,0
<b>Summe</b>	<b>78,0</b>	<b>77,8</b>	<b>78,4</b>	<b>76,2</b>	<b>63,9</b>	<b>63,5</b>	<b>65,8</b>	<b>64,0</b>	<b>14,1</b>	<b>14,3</b>	<b>12,6</b>	<b>12,3</b>

Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen

*Tabelle 13-8: CO<sub>2</sub>-Emissionen gemäß KEP-Systematik nach Sektoren im Klimaschutzscenario, ohne Stahlindustrie, in Mio. t CO<sub>2</sub>*

	Land Bremen				Stadt Bremen				Stadt Bremerhaven			
	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020	1990	2010	2014	2020
Industrie	1,09	1,06	0,96	0,95	0,99	0,95	0,84	0,88	0,10	0,10	0,11	0,07
Sonst. WZ / Abfall	0,33	0,53	0,68	0,68	0,20	0,40	0,52	0,53	0,13	0,14	0,16	0,15
Verkehr	1,62	1,46	1,45	1,37	1,34	1,25	1,24	1,16	0,28	0,21	0,21	0,21
PHH und GHD	3,84	3,31	3,12	2,76	3,33	2,84	2,76	2,47	0,51	0,47	0,36	0,29
<b>Summe</b>	<b>6,87</b>	<b>6,36</b>	<b>6,21</b>	<b>5,76</b>	<b>5,87</b>	<b>5,44</b>	<b>5,36</b>	<b>5,04</b>	<b>1,01</b>	<b>0,92</b>	<b>0,84</b>	<b>0,72</b>

Quelle für die Jahre 1990, 2010, 2014: KEP-Bilanz, 2020: eigene Berechnungen