

# Treibhausgasbilanz für das Land Hessen

## Bilanzjahr 2016



erstellt vom Hessischen Statistischen Landesamt

Oktober 2018



## Copyright

© Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden, 2018

Die Vervielfältigung und Verbreitung ist – auch auszugsweise – mit Quellenangabe gestattet.

## Autoren

Tobias Lentz, Hessisches Statistisches Landesamt

Janine Dubois, Hessisches Statistisches Landesamt

## Zeichenerklärungen

- = Wert unbekannt oder geheim zu halten
- = genau Null (nichts vorhanden) bzw. keine Veränderung eingetreten
- x = Angabe nicht sinnvoll
- 0 = Zahlenwert auf Null gerundet

Im Allgemeinen ist ohne Rücksicht auf die Endsumme auf- bzw. abgerundet worden. Das Ergebnis der Summierung der Einzelzahlen kann deshalb geringfügig von der Endsumme abweichen.

## Inhalt

Zusammenfassung .....	8
Hessische Treibhausgasbilanz Auftrag und methodische Hinweise .....	9
Vorbemerkungen .....	11
1 Energiebedingte Kohlendioxidemissionen .....	13
1.1 Methode der Bilanzierung energiebedingter Kohlendioxidemissionen .....	13
1.2 Die energiebedingten Kohlendioxidemissionen im Überblick (Quellenbilanz) .....	15
1.3 Sektoraler Vergleich der energiebedingten Emissionen zwischen Hessen und Deutschland .....	21
1.4 Indikatoren zur Entwicklung der energiebedingten Kohlendioxidemissionen (aus der Quellenbilanz) .....	23
1.5 Verursacherbezogene Kohlendioxidemissionen .....	28
2 Kohlendioxidemissionen aus Industrieprozessen .....	33
2.1 Ermittlung prozessbedingter Kohlendioxidemissionen .....	33
2.2 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Zementklinker .....	35
2.3 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Kalk .....	36
2.4 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Glas .....	36
2.5 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Ammoniak .....	37
2.6 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Mauer- und Dachziegeln .....	38
2.7 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Ruß (Industrieruß) .....	38
3 Methanemissionen .....	40
3.1 Methode zur Ermittlung der Methanemissionen und Berechnungsstand .....	40
3.2 Die Methanemissionen im Einzelnen .....	42
4 Lachgasemissionen .....	46
4.1 Methode zur Ermittlung der Lachgasemissionen und Berechnungsstand .....	46

---

4.2	Die Lachgasemissionen im Einzelnen .....	47
5	Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) .....	50
6	Schlussbetrachtung .....	52
	Verwendete Abkürzungen .....	56
	Quellenverweis .....	57
	Anhang .....	59
Anhang 1:	Demographische und gesamtwirtschaftliche Entwicklung .....	60
Anhang 2:	Glossar .....	67

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Entwicklung der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016 nach Sektoren.....	17
Tabelle 2	Struktur der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen der Industrie in Hessen im Jahr 2016 .....	20
Tabelle 3	Entwicklung der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen in Hessen und in Deutschland von 1990 bis 2016 .....	22
Tabelle 4	Energiebedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen bezogen auf Einwohner, Bruttoinlandsprodukt und Primärenergieverbrauch in Hessen und Deutschland von 1990 bzw. 1991 bis 2016.....	25
Tabelle 5	Effektive CO <sub>2</sub> -Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz) in Hessen im Jahr 2015 und 2016 .....	29
Tabelle 6	Entwicklung der prozessbedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016.....	34
Tabelle 7	Methanemissionen in Hessen und in Deutschland von 1990 bis 2016 .....	43
Tabelle 8	Entwicklung der Methanemissionen in Hessen von 1990 bis 2016 .....	44
Tabelle 9	Lachgasemissionen in Hessen und in Deutschland von 1990 bis 2016 .....	47
Tabelle 10	Entwicklung der Lachgasemissionen in Hessen von 1990 bis 2016 .....	49
Tabelle 11	Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft in Hessen von 1990 bis 2015.....	50
Tabelle 12	Entwicklung der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016 nach Sektoren (Auszug aus Tabelle 1) .....	52
Tabelle 13	Entwicklung der Emissionen in Hessen in CO <sub>2</sub> -Äquivalenten von 1990 bis 2016.....	53
Tabelle 14	Entwicklung der Bevölkerung in Hessen, in Deutschland sowie in den alten und neuen Bundesländern von 1990 bis 2016 .....	60
Tabelle 15	Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes in Hessen, in Deutschland sowie in den alten und neuen Bundesländern von 1991 bis 2016 .....	62
Tabelle 16	Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes je Einwohner in Hessen, in Deutschland sowie in den alten und neuen Bundesländern von 1991 bis 2016.....	63
Tabelle 17	Struktur der Bruttowertschöpfung in Hessen und in Deutschland nach Wirtschaftsbereichen von 1991 bis 2016.....	65
Tabelle 18	Zahl der Erwerbstätigen in Hessen und in Deutschland nach Wirtschaftsbereichen von 1991 bis 2016 .....	66

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Entwicklung der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2016.....	16
Abbildung 2	Entwicklung der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016 nach Sektoren.....	18
Abbildung 3	Entwicklung der sektoralen Struktur der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen in Hessen und in Deutschland von 1990 bis 2016.....	21
Abbildung 4	Abweichungen der energiebedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen bezogen auf Einwohner, Bruttoinlandsprodukt und Primärenergieverbrauch in Hessen von den Werten in Deutschland von 1990 bzw. 1991 bis 2016 .....	27
Abbildung 5	Quellen- und verursacherbezogene CO <sub>2</sub> -Emissionen der Hauptemissionssektoren in Hessen im Jahr 2016 .....	30
Abbildung 6	CO <sub>2</sub> -Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz) in Hessen von 1990 bis 2016.....	30
Abbildung 7	Verursacherbezogene CO <sub>2</sub> -Emissionen in Hessen im Jahr 2016 (Sankey-Diagramm).....	31
Abbildung 8	Entwicklung der prozessbedingten CO <sub>2</sub> -Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016.....	34
Abbildung 9	Schematische Darstellung der CO <sub>2</sub> -Freisetzung bei der Zementklinkerherstellung.....	35
Abbildung 10	Schematische Darstellung der CO <sub>2</sub> -Freisetzung bei der Kalkherstellung .....	36
Abbildung 11	Schematische Darstellung der CO <sub>2</sub> -Freisetzung bei der Glasherstellung .....	36
Abbildung 12	Schematische Darstellung der CO <sub>2</sub> -Freisetzung bei der Ammoniakherstellung .....	37
Abbildung 13	Schematische Darstellung der CO <sub>2</sub> -Freisetzung bei der Ziegelherstellung.....	38
Abbildung 14	Schematische Darstellung der CO <sub>2</sub> -Freisetzung bei der Rußherstellung.....	39
Abbildung 15	Entwicklung der Struktur der Methanemissionen in Hessen in den Jahren 1990 und 2016 .....	45
Abbildung 16	Entwicklung der Struktur der Lachgasemissionen in Hessen in den Jahren 1990 und 2016 .....	48
Abbildung 17	Entwicklung der Struktur der Gesamtemissionen in Hessen in CO <sub>2</sub> -Äquivalenten in den Jahren 1990 und 2016.....	54
Abbildung 18	Veränderung des Bruttoinlandsproduktes (preisbereinigt, verkettet) in Hessen und in Deutschland von 1992 bis 2016 .....	61
Abbildung 19	Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes (preisbereinigt, verkettet) je Einwohner in Hessen, in Deutschland sowie in den alten und neuen Bundesländern von 1991 bis 2016 .....	64

## Zusammenfassung

Die hessische Treibhausgasbilanz für das Bilanzjahr 2016 gibt einen Überblick über die Emissionen der mengenmäßig bedeutendsten Klimagase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) für das Bundesland Hessen. Hierbei werden die Emissionen nach den jeweiligen Emissionssektoren aufgeschlüsselt und analog zur nationalen Berichterstattung ab dem Jahr 1990 wiedergegeben.

Bei einer zusammenfassenden Betrachtung aller drei Klimagase wird die Emissionsmenge auf Basis von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten dargestellt, indem die Methan- und Lachgasmengen mit dem „Global Warming Potential“ (GWP) entsprechend der Höhe ihres klimawirksamen Potentials gewichtet werden. Die nachstehende Tabelle zeigt die Emissionsmengen für Hessen im Zeitraum 1990 bis 2016.

### Entwicklung der Emissionen in Hessen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten von 1990 bis 2016

Treibhausgas	Chemische Formel	GWP	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>	1990/2016
			Menge in 1000 t CO <sub>2</sub> -Äquivalenten							Veränderung in %
Kohlendioxid <sup>2)</sup>	CO <sub>2</sub>	1	43 658	47 914	45 490	42 980	39 318	36 279	37 568	– 13,9
Energiebedingt <sup>3) 4)</sup>	CO <sub>2</sub>	1	42 638	47 019	44 522	42 265	38 625	35 688	36 954	– 13,3
Prozessbedingt	CO <sub>2</sub>	1	1 020	895	968	715	693	590	614	– 39,8
Methan <sup>2) 4)</sup>	CH <sub>4</sub>	25	5 573	4 958	3 763	2 901	2 436	2 197	2 135	– 61,7
Lachgas <sup>2) 4)</sup>	N <sub>2</sub> O	298	1 619	1 543	1 568	1 310	1 202	1 609	1 578	– 2,5
<b>Insgesamt</b>			<b>50 850</b>	<b>54 415</b>	<b>50 822</b>	<b>47 191</b>	<b>42 955</b>	<b>40 085</b>	<b>41 281</b>	– 18,8

1) Vorläufige Werte. – 2) Ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft. – 3) Ohne nichtenergetischen Verbrauch. – 4) Ohne internationalen Luftverkehr.

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Die wichtigsten Ergebnisse (jeweils bezogen auf das Jahr 2016) sind:

- In Hessen wurden insgesamt 41,3 Millionen t CO<sub>2</sub>-Äquivalente emittiert.–
- Hierbei machte Kohlendioxid 91,0 % des erfassten Emissionsgeschehens aus, auf Methan entfielen 5,2 % und auf Lachgas 3,8 % der CO<sub>2</sub>-Äquivalente.
- Die Emissionen der drei genannten Treibhausgase sind im Vergleich zu 1990 um 18,8 % zurückgegangen: Der Rückgang betrug bei Kohlendioxid 13,9 %, bei Methan 61,7 % und bei Lachgas 2,5 %.

Bezieht man die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen – die für den Großteil des erfassten Emissionsgeschehens verantwortlich sind – auf die Anzahl der Einwohner bzw. das Bruttoinlandsprodukt in Hessen, lässt sich Folgendes festhalten:

- Diese beiden spezifischen Emissionswerte haben im Betrachtungszeitraum seit 1990 deutlich abgenommen.
- Die hessischen Pro-Kopf-Emissionen waren im Jahr 2016 um 34,9 % niedriger als auf Bundesebene.
- Das Bruttoinlandsprodukt wurde 2016 in Hessen im Vergleich zu Deutschland mit einem um 42,8 % niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß erwirtschaftet.

## **Hessische Treibhausgasbilanz**

### **Auftrag und methodische Hinweise**

Die Treibhausgasbilanz für das Land Hessen (Bilanzjahr 2016) wurde im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz erstellt. Seit 2007 legt das Hessische Statistische Landesamt jährlich eine Treibhausgasbilanz vor, die die Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) in Hessen abbildet.

Es ist davon auszugehen, dass diese drei Stoffe in Hessen einen ähnlich großen Emissionsanteil besitzen wie in der Bundesrepublik, was im Nationalen Inventarbericht (National Inventory Report, NIR) des Umweltbundesamts dargestellt wird. Demnach waren sie im Jahr 2016 für 98,3 % der direkt klimawirksamen Emissionen (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) auf Bundesebene verantwortlich.

Die übrigen im Kyoto-Protokoll genannten Gase – Fluorkohlenwasserstoffe (FKW), Perfluorcarbone (PFC), Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) sowie Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>) – waren mit 1,7 % an den gesamten Emissionen beteiligt (UBA 2018b). Diese vier Stoffgruppen werden für Hessen jedoch nicht abgebildet, da hierfür aktuell keine länderspezifischen Daten im statistischen System vorliegen. Ein dafür notwendiges Modell, analog zum deutschen Erfassungssystem für den Nationalen Inventarbericht, muss noch entwickelt werden.

Die Treibhausgasbilanz für das Land Hessen basiert ausschließlich auf modellhaften Berechnungen. Es werden keine Messwerte von Emittenten, wie Kraftwerken, Anlagen oder Fahrzeugen, herangezogen. Die Ermittlung der emittierten Schadstoffmengen erfolgt auf der Grundlage eines Berechnungsmodells, welches sich auf die durch menschliches Handeln (Wirtschaft, Konsum) verursachten Schadstoffeinträge konzentriert. In den Tabellen und Grafiken werden gerundete Werte dargestellt. Anteile bzw. Veränderungsraten wurden mit den intern zur Verfügung stehenden exakten Werten ermittelt, die mehr Nachkommastellen enthalten können, sodass sich Differenzen zu einer Berechnung mit den in den Tabellen nachgewiesenen, gerundeten Werten ergeben können.

Die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung erfolgt für Emissionen, die bei der Energieerzeugung entstehen (energiebedingte Emissionen) und Emissionen, die durch Produktionsprozesse freigesetzt werden (prozessbedingte Emissionen). Grundlage für die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen ist die Energiebilanz des Landes, die vom Hessischen Statistischen Landesamt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung jährlich erstellt wird. Um prozessbedingte Emissionen abbilden zu können, werden zusätzlich die Emissionsmengen aus ausgewählten Produktionsprozessen berechnet. Für beide Berechnungsfelder werden die Methoden des Länderarbeitskreises Energiebilanzen angewandt.

Die Berechnung der CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen erfolgt im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL) nach der dort festgelegten, für alle Bundesländer einheitlichen, Methode. Bei allen Berechnungsfeldern wird weitestgehend analog zu der Methode vorgegangen, die das Umweltbundesamt bei der Erstellung des NIR im Rahmen der Berichterstattung unter der UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) anwendet. Die methodischen Grundlagen und Berechnungen werden den Mitgliedern des Länderarbeitskreises Energiebilanzen und des Arbeits-

kreises Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder jeweils zur Verfügung gestellt.

Für die Treibhausgasbilanzen und für die wirtschaftlichen Bezugsgrößen gilt das Inlandsprinzip. Das bedeutet auch, dass alle durch den Flughafen Frankfurt am Main verursachten Emissionen aus methodischen Gründen zunächst in Hessen verbucht werden. Da sie überwiegend der Abwicklung des überregionalen und internationalen Flugverkehrs dienen, wird in einem zweiten Schritt, analog zum Vorgehen auf Bundesebene, eine Aufteilung in national und international verursachte Emissionen vorgenommen.

Als Basisjahr für die Treibhausgasemissionen wurde analog zur internationalen Berichterstattung einheitlich 1990 gewählt. Dazu war es erforderlich, die für die Jahre 1990 bis 1994 nicht verfügbaren prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen anhand der Zeitreihe zu extrapolieren.

Um eine möglichst aktuelle Berichterstattung zu erreichen, wurden für das Bilanzjahr 2016 teilweise Schätzungen für CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O durchgeführt. Grundlage hierfür bilden Daten der amtlichen Statistik sowie eine Reihe externer Quellen. Die verwendete Methodik orientiert sich an der auf Bundesebene im NIR 2018 beschriebenen Vorgehensweise. Auch wenn die Daten bis einschließlich 2015 als endgültig bewertet werden, kann es durch die Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse in der Emissionsbewertung (etwa in Bezug auf einzelne Emissionsfaktoren oder -sektoren) zu rückwirkenden Neuberechnungen kommen, die die gesamte Zeitreihe beeinflussen können.

Der Bericht zur Treibhausgasbilanz gliedert sich in fünf Kapitel. Das erste Kapitel führt die Analysen des Deutschen Instituts für Wirtschaftsforschung im Rahmen der früheren Energieberichterstattung der Hessischen Landesregierung fort und gibt neben methodischen Erläuterungen einen Überblick über die Entwicklung und die Struktur der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen und in Deutschland. Ergänzt wird die Darstellung um Indikatoren zur Entwicklung dieses bedeutendsten Teils des Emissionsgeschehens sowie um eine verursacherbezogene Betrachtung.

Gegenstand des zweiten Kapitels sind die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen, hierbei wird auf die einzelnen für das Emissionsgeschehen in Hessen relevanten Industrieprozesse eingegangen. Das dritte und vierte Kapitel befassen sich mit Methan- bzw. Lachgasemissionen. Der Methodenbeschreibung folgt jeweils eine Gegenüberstellung der hessischen und der gesamtdeutschen Emissionsentwicklung. Kapitel fünf gibt einen kurzen Überblick über die Emissionen, die in Hessen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) entstehen. Das sechste Kapitel enthält zum Abschluss eine Gesamtbetrachtung der Treibhausgasemissionen in Hessen, dargestellt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Im Anhang werden Faktoren wie Bevölkerungsentwicklung und gesamtwirtschaftliches Wachstum beleuchtet, die die Beurteilung der Emissionsentwicklung, insbesondere bei den Indikatoren, erleichtern.

## Vorbemerkungen

Im Zuge der fortschreitenden Industrialisierung verändert sich der globale Stoffhaushalt der Atmosphäre deutlich. Als Folge menschlicher Aktivitäten ist die CO<sub>2</sub>-Konzentration seit Beginn der industriellen Revolution weltweit um 43 % gestiegen. Die Methankonzentration hat sich um 150 % erhöht und die Konzentration von Lachgas hat um 20 % zugenommen. Weitere Treibhausgase, die überwiegend nicht aus natürlichen, sondern aus synthetischen Quellen stammen, werden durch den Einsatz und die Verwendung von FCKW, Halonen, FKW, HFKW, SF<sub>6</sub> sowie NF<sub>3</sub> an die Atmosphäre abgegeben (UBA 2018a).

Als gesicherte wissenschaftliche Erkenntnis gilt mittlerweile, dass der Treibhauseffekt und die daraus resultierende Klimaerwärmung überwiegend anthropogen, das heißt durch menschliches Handeln, verursacht werden. Das bestätigt der *Fünfte Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen des IPCC* (IPCC 2013) zum wiederholten Mal. Auf der Basis dieser Feststellungen hat die internationale Gemeinschaft in einem langen Prozess Ziele und Strategien zur Begrenzung der globalen Erderwärmung formuliert.

Auf der Klimakonferenz von Kyoto im Jahr 1997 legten sich die Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention erstmalig verbindlich auf bestimmte Reduktionsziele fest. Abgeleitet von den Zielen für die Industrienationen übernahm auch die Europäische Gemeinschaft konkrete Reduktionsverpflichtungen, die im Rahmen der Lastenteilung zwischen den Mitgliedstaaten aufgeteilt wurden. Daraus resultierend verpflichtete sich Deutschland völkerrechtsverbindlich, seine nationalen Treibhausgasemissionen – als die zusammengefassten Emissionen von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O sowie HFKW, FKW und SF<sub>6</sub> – bis 2008/2012 um 21 % gegenüber dem Basisjahr 1990 (bzw. 1995) zu reduzieren.

Im Rahmen des Post-Kyoto-Prozesses, der eine über das Jahr 2012 hinausgehende völkerrechtlich verbindliche Regelung zur Reduzierung der weltweiten Treibhausgasemissionen erreichen soll, kam es im Dezember 2015 auf der UN-Klimakonferenz in Paris zu einer weitreichenden Einigung. Es wurde beschlossen, die globale Erderwärmung im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen. Die Bundesrepublik Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 55 % gegenüber dem Basisjahr 1990 zu reduzieren. Bis zum Jahr 2050 ist darüber hinaus eine Verminderung der Treibhausgasemissionen von 80 bis 95 % angestrebt (BMUB 2016).

Die hessische Landesregierung verpflichtete sich im März 2017 im *Integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025* ihrerseits zu umfangreichen Treibhausgaseinsparungen. Mit insgesamt 140 Maßnahmen, die alle relevanten Handlungsfelder abdecken, sollen sowohl die hessischen Klimaschutzziele erreicht werden, als auch Anpassungen an die Folgen des Klimawandels erfolgen. Bis zum Jahr 2020 soll in Hessen eine Treibhausgasreduzierung um 30 % im Vergleich zu 1990 erreicht werden, bis 2025 soll die Reduktion 40 % betragen. Im Jahr 2050 will Hessen weitgehend klimaneutral sein und seine Emissionen um mindestens 90 % gesenkt haben (HMUKLV 2017).

Vor diesem Hintergrund ist es nicht nur von Interesse, wie sich die bundesdeutschen Treibhausgasemissionen entwickeln. Auch die Kenntnis der regionalen Veränderungen gibt wichtige Aufschlüsse über die Gesamtentwicklung. Deshalb ist die jährliche

Treibhausgasbilanzierung im Bundesland Hessen folgerichtig und wegen des wachsenden Interesses der Öffentlichkeit sowie der Politik an solchen Daten auch notwendig. Die Ergebnisse fließen nicht nur in die Bewertung der im *Integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025* festgelegten Ziele ein, sondern sind darüber hinaus auch Bestandteil des Indikatorensets der Hessischen Nachhaltigkeitsstrategie (HSL 2016).

# **1 Energiebedingte Kohlendioxidemissionen**

## **1.1 Methode der Bilanzierung energiebedingter Kohlendioxidemissionen**

Das farb- und geruchlose Gas Kohlendioxid ist mit einer Konzentration von rund 0,04 % ein natürlicher Bestandteil der Luft. Es entsteht hauptsächlich bei der vollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Substanzen sowie im Organismus von Lebewesen bei der Zellatmung. Es ist das wichtigste klimarelevante Spurengas. Der Anstieg der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration durch die vom Menschen verursachten (anthropogenen) CO<sub>2</sub>-Emissionen verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt, was zur globalen Erwärmung beiträgt. Hauptquelle für diese klimawirksamen Emissionen ist die Verbrennung von fossilen Energieträgern – das sind Kohle, Erdöl, Erdgas und deren kohlenstoffhaltige Umwandlungsprodukte – zur Erzeugung von Nutzenergie (energiebedingte Emissionen).

In Deutschland hat sich der relative Beitrag der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Energieumwandlungsprozessen an den Gesamtemissionen in den letzten Jahren sukzessive erhöht, da die Emissionen der anderen Treibhausgase, insbesondere in der Landwirtschaft und Abfallbeseitigung, überdurchschnittlich abgenommen haben. So wird in der nationalen Emissionsberichterstattung (Nationale Trendtabellen des Umweltbundesamts, UBA 2018b) ausgewiesen, dass 2016 die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger 82,7 % der klimawirksamen Emissionen, bezogen auf die Gesamtemissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, ausmachten.

Grundlage für die Berechnungen der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bildet die Energiebilanz des Landes, die vom Hessischen Statistischen Landesamt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung jährlich erstellt wird. Die Bilanzierung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Länder erfolgt nach einer im Länderarbeitskreis Energiebilanzen zwischen den beteiligten Ländern abgestimmten Methodik.

Genutzt werden spezifische, auf den Heizwert eines Energieträgers bezogene CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren, die nach Energieträgern und Einsatzbereichen differenziert vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt werden. Es werden die gleichen Emissionsfaktoren verwendet, die auch zur Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Rahmen der nationalen Berichterstattung zum Kyoto-Protokoll dienen. Zur Berechnung herangezogen werden die in den Energiebilanzen ausgewiesenen Verbrauchsmengen, die mit den energieträgerbezogenen spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verknüpft werden. Die einheitliche Methode gewährleistet die unmittelbare Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen Bundes- und Landesebene sowie mit anderen Bundesländern.

In der Energiebilanz werden Aufkommen, Umwandlung und Verwendung von Energieträgern in der Volkswirtschaft oder in einem Wirtschaftsraum für einen bestimmten Zeitraum möglichst lückenlos und detailliert dargestellt. Sie enthält auch Aussagen über den nichtenergetischen Verbrauch ausgewählter Brennstoffe, der jedoch für die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung keine Rolle spielt. Zum Beispiel werden Energieträger wie Rohöl, Schweröl oder Erdgas in der chemischen Industrie als Rohstoff eingesetzt. Da sie dabei nicht in Energie umgewandelt werden, sondern vollständig in die Produkte eingehen, tragen sie nicht zum energiebedingten CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei. Diese „Rohstoff-

mengen“ werden deshalb nicht mit Emissionsfaktoren bewertet. Gleichwohl sind sie jedoch für die Energiebilanz als Verbrauch an Brennstoffen von Interesse. Biogene Energieträger, die in der Energiebilanz erfasst werden – wie Brennholz, Klärgas oder Biotreibstoffe – gelten als CO<sub>2</sub>-neutral, da man davon ausgeht, dass biologisch bereits gebundenes CO<sub>2</sub> lediglich in den Naturkreislauf zurückgegeben wird. Dementsprechend gehen sie nicht emissionswirksam in die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung ein.

Die Emissionsberechnung erfolgt zunächst nach dem Quellenprinzip. Aus der Zeilengliederung der Energiebilanz werden nur diejenigen Bereiche einbezogen, in denen entweder ein emissionswirksamer Umwandlungseinsatz oder ein Endverbrauch von Energieträgern stattfindet. Dies ist der Fall bei Anlagen der Strom- und Wärmeerzeugung, beim Verbrauch in den Umwandlungsbereichen und in der Energiegewinnung, bei Fackelverlusten sowie in den drei Hauptbereichen des Endenergieverbrauchs. Die Emissionsdarstellung erfolgt jeweils in der sektoralen Gliederung der Energiebilanzen für

- Energieerzeugung/-umwandlung,
- Industrie (Bergbau, Gewinnung von Steinen und Erden sowie Verarbeitendes Gewerbe),
- Verkehr,
- Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher.

Die Abgrenzung des Industriesektors erfolgt nach der für die amtliche Statistik gültigen Systematik der Wirtschaftszweige. Für den Berechnungsstand dieses Berichts wurde die Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008), basierend auf der europäischen NACE, Rev. 2, verwendet.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors werden nach der allgemeinen Methode der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzierung des Länderarbeitskreises Energiebilanzen anhand der in den jeweiligen Regionen vertankten Kraftstoffmenge ermittelt. Um der exponierten Stellung des Frankfurter Flughafens gerecht zu werden, wird der internationale Luftverkehr bei der Untersuchung des hessischen Verkehrssektors nicht einbezogen. Nur auf diese Weise sind Vergleiche mit Deutschland möglich, da die hier aus der nationalen Inventarberichterstattung übernommenen Werte den internationalen Teil des (Luft-)Verkehrs ebenfalls nicht berücksichtigen. Die Emissionen des gesamten, dem Land Hessen zugerechneten Luftverkehrs werden analog zu den vom Umweltbundesamt verwendeten Prozentanteilen in einen „nationalen“ und einen „internationalen“ Anteil aufgeteilt<sup>1</sup>. Die Emissionen des internationalen Luftverkehrs werden, wie für Deutschland üblich, nur nachrichtlich ausgewiesen.

Bei der zunächst berichteten Quellenbilanz handelt es sich um eine auf den Primär-

---

<sup>1</sup> Diese Aufteilung erfolgte für Deutschland bis einschließlich NIR 2008 mit einem konstanten Wert für den nationalen Anteil von 20 %. Für Hessen wurde dieser Wert bis einschließlich der Treibhausgasbilanz 2005 ebenfalls verwendet. Seitdem werden die nationalen Anteilswerte auf der Basis von Flugbewegungen ermittelt. Die so für Deutschland ermittelten Anteilswerte lagen durchweg unter 20 %. Sie sanken von 15,6 % im Jahr 1990 auf 8,2 % im Jahr 2016 (NIR 2018a: 212).

Im vorliegenden Bericht wurden landesspezifische Werte auf Grundlage von Berechnungen des Arbeitskreises Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder verwendet. Für das Bilanzjahr 2016 liegt noch kein endgültiger landesspezifischer Splitfaktor für den nationalen und internationalen Luftverkehr vor, sodass die Berechnungen mithilfe einer Schätzung der UGRdL durchgeführt wurden. Der für Hessen anzusetzende Anteilswert sank von 7,7 % (1990) auf 5,2 % (2016).

energieverbrauch eines Landes bezogene Darstellung der Emissionen, unterteilt nach den Emissionsquellen Umwandlungsbereich und Endenergieverbrauch. Dabei bleiben Emissionen, die bei der Erzeugung von importierten Strommengen im Ausland oder in anderen Bundesländern entstehen, unberücksichtigt. Dagegen werden die Emissionen, die auf die Erzeugung des „ausgeführten“ Stroms zurückzuführen sind, in vollem Umfang nachgewiesen. Die tatsächlichen Emissionen, die sich aus den grenzüberschreitenden Stromlieferungen bzw. -bezügen ergeben, können also in der Quellenbilanz nicht dargestellt werden. Die durch hessische Stromverbraucher verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen werden hier tendenziell unterschätzt, da der Strombedarf in Hessen die Erzeugung auf dem Landesgebiet übertrifft.

Während die Quellenbilanz also Aussagen über die Gesamtmenge des im Land emittierten CO<sub>2</sub> ermöglicht, sind wegen des Stromaustauschs keine direkten Rückschlüsse auf das Verbrauchsverhalten der Endenergieverbraucher und den dadurch verursachten Beitrag zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Landes möglich. Erst bei der Verursacherbilanz (siehe Abschnitt 1.5) werden die Emissionen auf den Endenergieverbrauch des Landes bezogen. Im Unterschied zur Quellenbilanz werden die Emissionen des Umwandlungsbereichs nicht als solche ausgewiesen, sondern nach dem Verursacherprinzip den sie verursachenden Endverbrauchersektoren zugeordnet.

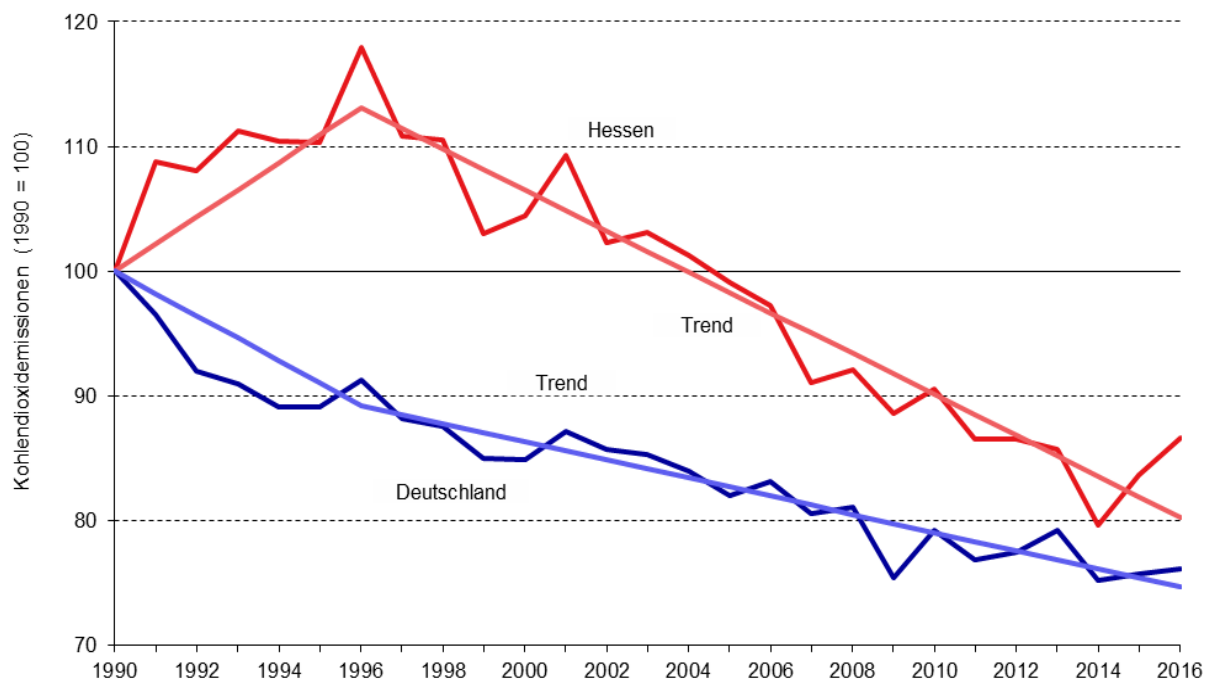
Bei Strom erfolgt die Anrechnung der dem Endverbrauch zuzurechnenden Emissionsmenge auf Grundlage des Brennstoffverbrauchs aller Stromerzeugungsanlagen auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland. Der hierzu benötigte Faktor (Generalfaktor) ergibt sich als Quotient der Summe der Emissionen aller deutschen Stromerzeugungsanlagen, soweit sie für den inländischen Verbrauch produzieren und der Summe des inländischen Stromendverbrauchs. Stromeinfuhren werden dabei unter Anlehnung an die Substitutionstheorie so bewertet, als wären sie in inländischen Stromerzeugungsanlagen der allgemeinen Versorgung hergestellt worden. Aufgrund dieser teilweise modellhaften Berechnungsmethode ist ein direkter Zusammenhang mit den tatsächlich in einem Land angefallenen Emissionen, die in der Quellenbilanz dargestellt werden, nicht gegeben.

## **1.2 Die energiebedingten Kohlendioxidemissionen im Überblick (Quellenbilanz)**

Im Jahr 2016 wurden in Hessen energiebedingt – ohne Berücksichtigung des internationalen Luftverkehrs – insgesamt 37,0 Mill. t CO<sub>2</sub> emittiert. Das entspricht einem Anstieg gegenüber 2015 um 1,3 Mill. t CO<sub>2</sub> bzw. 3,5 %. Seit 2005 liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen unter dem Wert des Basisjahres 1990. Die Verminderung für 2016 gegenüber 1990 betrug 5,7 Mill. t CO<sub>2</sub> oder 13,3 %.

Seit 1990 verlief die Entwicklung der hessischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus stationären und mobilen Verbrennungsprozessen in zwei Phasen (Abbildung 1). So wuchsen die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in den ersten sechs Jahren des Betrachtungszeitraums beträchtlich an. Im Jahre 1996 erreichten sie in Hessen mit insgesamt 50,3 Mill. t CO<sub>2</sub> ihren absoluten Höchstwert. Sie lagen damit um 17,9 % über denen des Referenzjahres 1990. Seitdem kam es, wenn auch mit einigen Schwankungen, zu einer deutlichen Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes. Im Vergleich zu 1996 sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen im Jahr 2016 um 13,3 Mill. t (26,5 %) gesunken.

**Abbildung 1 Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2016**



Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Umweltbundesamt, NIR 2018; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; hessischer Wert für 2016 vorläufig.

In Deutschland erreichten die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2016 eine Höhe von 754,1 Mill. t. Sie waren damit 0,5 % höher als im Vorjahr. Im Vergleich zum Basisjahr 1990 verminderten sie sich um 23,8 %. Dabei wurde die stärkste Gesamt-minderung in der ersten Hälfte der neunziger Jahre erreicht. So waren die CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland schon im Jahre 1995 um 11 % geringer als 1990, während in Hessen in diesem Zeitraum ein gegenläufiger Trend vorherrschte. Hauptgrund war die überdurchschnittliche Verminderung der Emissionen in den neuen Bundesländern, hervorgerufen durch den wirtschaftlichen Strukturwandel nach der Wiedervereinigung. In den alten Bundesländern hatten sich die CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1990 und 1995 dagegen leicht erhöht.

Tabelle 1 und Abbildung 2 zeigen die absolute Höhe und die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den einzelnen Sektoren. Im Jahr 2016 emittierte der hessische Energiesektor 8,1 Mill. t CO<sub>2</sub>. Im Vergleich zu 1990 legte der Sektor damit um 1,2 Mill. t bzw. 17,9 % zu. Bis zur Mitte der neunziger Jahre war der Energiesektor in Hessen besonders gewachsen. Durch Kraftwerkszubauten bzw. durch den vermehrten Einsatz von Kohle, Gas und Hausmüll, dessen fossile Anteile CO<sub>2</sub>-wirksam sind, erhöhten sich die hessischen CO<sub>2</sub>-Emissionen hier zwischen 1990 und 1998 um gut die Hälfte auf 10,5 Mill. t. In den darauffolgenden Jahren wurde nur 2009 ein Niveau von 9,0 Mill. t CO<sub>2</sub> knapp unterschritten. Seit 2013 liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Energieerzeugung und -umwandlung jedoch konstant unter diesem Wert.

**Tabelle 1 Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016 nach Sektoren**

Emissionssektor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>
CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t							
Energieerzeugung/-umwandlung	6,9	9,5	9,8	9,5	9,6	7,4	8,1
Industrie	6,1	5,8	4,3	3,8	3,2	2,8	2,9
Verkehr	14,4	15,0	15,9	13,9	13,1	13,8	14,0
Schienenverkehr	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Straßenverkehr	13,4	13,9	14,7	13,0	12,3	12,9	13,2
Luftverkehr (national) <sup>2)</sup>	0,7	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8	0,7
Binnenschifffahrt	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>3)</sup>	15,3	16,7	14,6	15,1	12,7	11,6	11,9
<b>Energiebedingte Emissionen im Inland<sup>4)</sup></b>	<b>42,6</b>	<b>47,0</b>	<b>44,5</b>	<b>42,3</b>	<b>38,6</b>	<b>35,7</b>	<b>37,0</b>
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr<sup>5)</sup></i>	<i>7,9</i>	<i>9,5</i>	<i>11,6</i>	<i>12,3</i>	<i>11,8</i>	<i>13,2</i>	<i>13,4</i>
Struktur der CO <sub>2</sub> -Emissionen in %							
Energieerzeugung/-umwandlung	16,1	20,3	22,0	22,4	24,8	20,9	21,9
Industrie	14,2	12,3	9,6	9,0	8,3	8,0	7,8
Verkehr	33,8	31,9	35,7	32,9	34,0	38,6	38,0
Schienenverkehr	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
Straßenverkehr	31,5	29,5	33,1	30,6	31,9	36,1	35,7
Luftverkehr (national) <sup>2)</sup>	1,6	1,8	2,2	1,9	1,8	2,2	2,0
Binnenschifffahrt	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>3)</sup>	35,9	35,5	32,7	35,7	32,8	32,6	32,3
<b>Energiebedingte Emissionen im Inland<sup>4)</sup></b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr<sup>5)</sup></i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>	<i>x</i>
Entwicklung der CO <sub>2</sub> -Emissionen (1990 = 100)							
Energieerzeugung/-umwandlung	100	139	143	138	140	108	118
Industrie	100	95	71	63	53	47	48
Verkehr	100	104	110	97	91	96	97
Schienenverkehr	100	87	73	53	45	47	49
Straßenverkehr	100	103	110	96	92	96	98
Luftverkehr (national) <sup>2)</sup>	100	128	144	120	101	115	110
Binnenschifffahrt	100	96	44	49	37	28	29
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>3)</sup>	100	109	95	99	83	76	78
<b>Energiebedingte Emissionen im Inland<sup>4)</sup></b>	<b>100</b>	<b>110</b>	<b>104</b>	<b>99</b>	<b>91</b>	<b>84</b>	<b>87</b>
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr<sup>5)</sup></i>	<i>100</i>	<i>120</i>	<i>147</i>	<i>156</i>	<i>150</i>	<i>168</i>	<i>170</i>
1) Vorläufige Werte. – 2) Nur inländischer Luftverkehr. – 3) Einschließlich militärischer Dienststellen. – 4) Ohne nichtenergetischen Verbrauch und ohne internationalen Luftverkehr. – 5) Internationaler Anteil am gesamten zivilen Luftverkehr.							

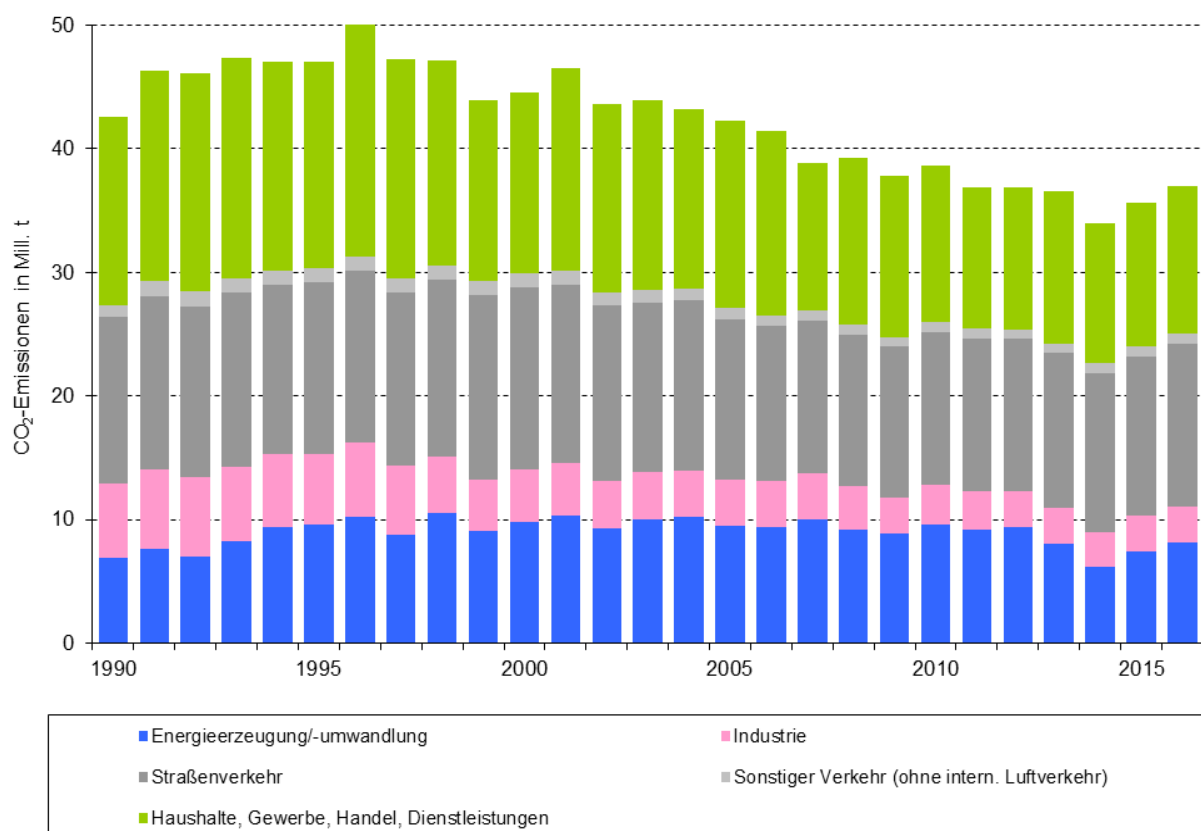
Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Die unterschiedliche Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Energiesektors hängt auch mit der von Jahr zu Jahr differierenden Bruttostrom- und Wärmeerzeugung der Kraftwerke zusammen. Hierbei spielen Rohstoffpreise und -verfügbarkeit, Wartungen bzw. Revisionen sowie die Witterung eine entscheidende Rolle. So wurde der nahezu das gesamte Jahr 2007 andauernde Ausfall der hessischen Energieerzeugung aus Kernenergie – die keine direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht – unter anderem durch die vermehrte Nutzung fossiler Energieträger aufgefangen. Als 2009 erneut außerge-

wöhnlich geringe Strommengen aus Kernenergie erzeugt wurden, fiel dies mit einem verringerten Energiebedarf in der Industrie zusammen. Da 2010 die Kernenergie wieder genutzt werden konnte, wäre ein geringerer CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Energiesektors zu erwarten gewesen, tatsächlich stieg er aufgrund der gesamtwirtschaftlichen Erholung im Vergleich zum Vorjahr um 8,8 %. Umgekehrt gingen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Energiesektors im Jahr 2011 – aufgrund der milderen Witterung – um 4,3 % zurück, als die Nutzung der Kernenergie in Hessen endgültig beendet wurde.

Im Jahr 2013 kam es zu einer weiteren Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiesektor, hervorgerufen durch die endgültige Stilllegung der mit Steinkohle betriebenen Blöcke 2 und 3 des Kraftwerks Staudinger. Auch die Emissionsverminderung ein Jahr später war maßgeblich getrieben durch Hessens größtes Kraftwerk, das aufgrund umfangreicher Reparaturmaßnahmen über einen langen Zeitraum stillstand. Doch auch die Witterung trug ihren Teil zum relativ geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß des Energiesektors bei – durch den milden Winter sank der Heizbedarf, sodass insgesamt weniger Wärme in Kraftwerken der öffentlichen Versorgung erzeugt wurde.

**Abbildung 2 Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016 nach Sektoren**



Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; Werte für 2016 vorläufig.

Dagegen stiegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiesektor 2015 um 20,1 % gegenüber 2014. Dies ist maßgeblich auf die Wiederaufnahme des Betriebs im Kraftwerk Staudinger zurückzuführen. Im Vergleich zu 2015 stiegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Energiesektors 2016 erneut um 8,7 % und bewegen sich damit wieder in der gleichen

Größenordnung wie im Jahr 2013, bevor die Reparaturmaßnahmen im Kraftwerk Staudinger begannen.

Im Jahr 2016 betrug der CO<sub>2</sub>-Ausstoß aus dem Verkehrssektor in Hessen 14,0 Mill. t. Hier war bis zum Ende der neunziger Jahre eine Zunahme der Emissionen zu beobachten. Den höchsten Stand erreichten die Verkehrsemissionen mit 16,1 Mill. t im Jahr 1999. In den darauffolgenden zehn Jahren gingen sie deutlich, um durchschnittlich 310 000 t jährlich, zurück und lagen im Jahr 2009 bei 13,0 Mill. t CO<sub>2</sub>. Seitdem sind die Verkehrsemissionen wieder kontinuierlich gestiegen. Verglichen mit dem Niveau des Basisjahres 1990 sanken die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors im Jahr 2016 um 363 000 t (2,5 %).

93,9 % der inländischen Verkehrsemissionen kamen 2016 aus dem Straßenverkehr. Dieser Teilsektor bestimmt wesentlich die Entwicklung der gesamten Verkehrsemissionen. Den höchsten Stand (15,0 Mill. t CO<sub>2</sub>) verzeichnete die Emissionsentwicklung des Straßenverkehrs im Jahr 1999 parallel zu den gesamten Verkehrsemissionen. Danach trat trotz steigender Zulassungszahlen und wachsender Verkehrsdichte bis zum Jahr 2012 eine Verminderung auf 12,3 Mill. t ein. In den folgenden Jahren stiegen die Emissionen aus dem Straßenverkehr wieder, auf zuletzt 13,2 Mill. t CO<sub>2</sub> im Jahr 2016. Sie lagen damit 1,8 % unter denen des Basisjahres.

Der gesamte Flugverkehr (sowohl national als auch international) des Flughafens Frankfurt am Main hat sich äußerst dynamisch entwickelt und ist im Betrachtungszeitraum deutlich gestiegen. Im Jahr 2016 ist die Zahl der Starts und Landungen sowie der Passagiere an Bord gegenüber 2015 jedoch leicht gesunken (um 0,9 % bzw. 0,4 %). Das beförderte Frachtaufkommen stieg hingegen um 1,7 % (Statistisches Bundesamt 2017). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamten Luftverkehrs in Hessen stiegen von 1990 bis 2016 um 64,9 %. Die starke Zunahme des internationalen Luftverkehrs (vgl. Fußnote 1, Seite 14) bewirkt, dass vor allem die dort verursachten Emissionen deutlich angestiegen sind.

Im Jahr 1990 betrugen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des internationalen Luftverkehrs in Hessen 7,9 Mill. t. Bis 2008 erhöhten sie sich stetig, um insgesamt 64,5 %, auf 13,0 Mill. t. Ursprünglich ausgelöst durch die Finanzkrise 2009, blieben sie bis 2011 – trotz wieder steigender Luftverkehrszahlen – unter 12 Mill. t. Im Jahr 2016 beliefen sie sich auf 13,4 Mill. t CO<sub>2</sub>, was einer Zunahme um 1,0 % im Vergleich zu 2015 bzw. 69,6 % gegenüber dem Basisjahr 1990 entspricht. Im Gegensatz dazu ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß des nationalen Luftverkehrs deutlich geringer und hat sich im Betrachtungszeitraum nicht in diesem Maße verändert. Die Emissionen lagen 2016 bei 744 000 t CO<sub>2</sub> und haben sich damit gegenüber dem Basisjahr um 69 000 t oder 10,2 % erhöht.

Im Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ waren die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2016 mit 11,9 Mill. t um 3,4 Mill. t niedriger als 1990. Die jährlichen Schwankungen in der Emissionsentwicklung sind in diesem Sektor überwiegend temperaturbedingt. So fiel der Wert im kalten Jahr 1996 besonders hoch aus. Der jüngste Anstieg um gut 2,6 % gegenüber 2015 ist größtenteils auf die gleiche Ursache zurückzuführen.

Die sektorale Struktur der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen hat sich im Betrachtungszeitraum teilweise erkennbar verändert. Der Industriesektor reduzierte seinen Anteil an

den Gesamtemissionen mit 6,4 Prozentpunkten im Vergleich zum Basisjahr am deutlichsten. Dies ist eine Folge der Entwicklungen in der hessischen Wirtschaftsstruktur. Der Anteil des Verkehrssektors lag 2016 wieder deutlich über dem des Basisjahres (+ 4,2 Prozentpunkte). Auch der Anteil des Energiesektors nahm erkennbar zu (+ 5,8 Prozentpunkte). Der Anteil des Sektors „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ ging im Vergleich zu 1990 um 3,6 Prozentpunkte zurück.

Seit 1990 hat die hessische Industrie ihre energiebedingten Emissionen mehr als halbiert, 2016 emittierte sie noch 2,9 Mill. t CO<sub>2</sub>. Die Emissionen der Industrie konzentrieren sich dabei auf eine geringe Anzahl von Wirtschaftszweigen (Tabelle 2).

**Tabelle 2      Struktur der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie in Hessen im Jahr 2016**

Industriezweige	CO <sub>2</sub> -Emissionen	Sektorstruktur	
	1000 t	%	%-kumul.
Chemische Industrie, Pharmazie	633	21,9	21,9
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	437	15,1	36,9
NE-Metalle, Gießereiindustrie	389	13,4	50,4
Papiergewerbe	308	10,6	61,0
Ernährungs- und Tabakgewerbe	268	9,2	70,3
Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen	171	5,9	76,2
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	168	5,8	81,9
Fahrzeugbau	135	4,6	86,6
Herstellung von Metallerzeugnissen	117	4,0	90,6
Maschinenbau	74	2,6	93,2
Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	35	1,2	94,4
Sonstige Wirtschaftszweige	162	5,6	100,0
<b>Industrie insgesamt</b>	<b>2 897</b>	<b>100,0</b>	

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; vorläufige Werte.

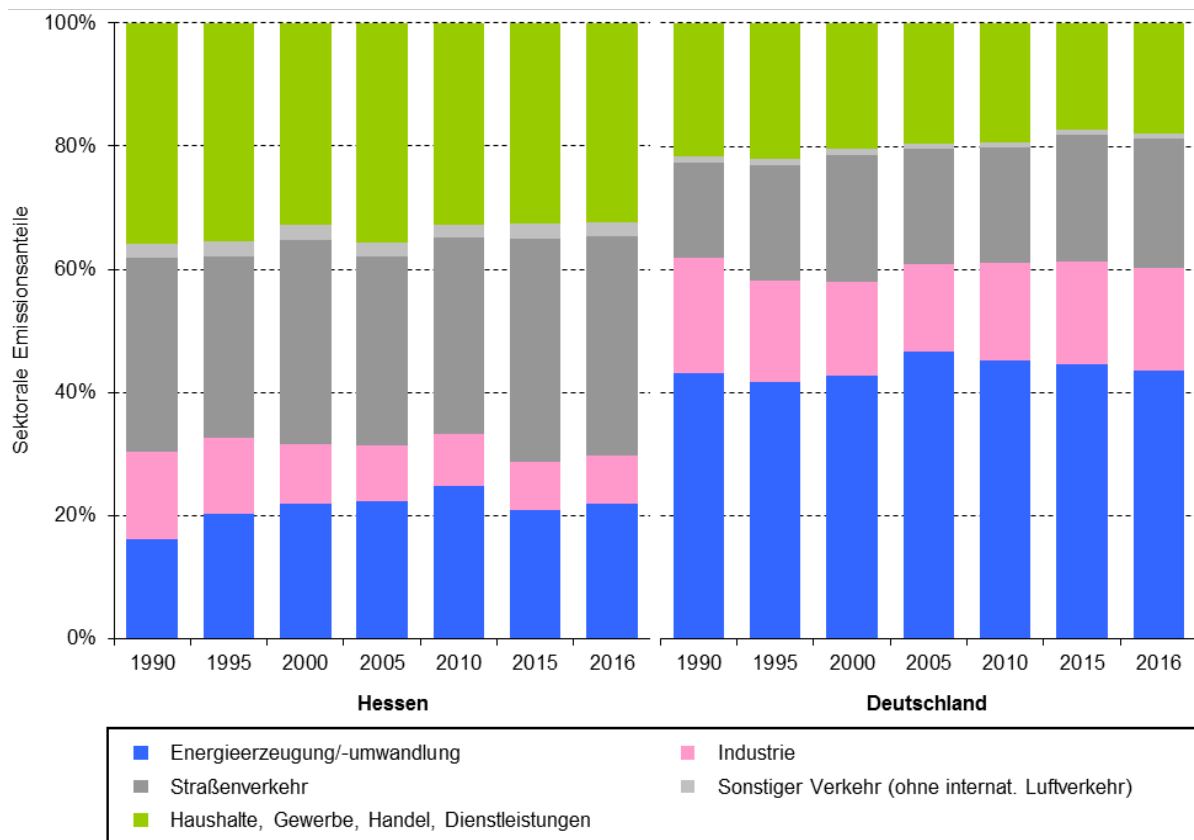
Mit 633 000 t CO<sub>2</sub> ist die Chemische Industrie/Pharmazie Hauptemittent der hessischen Wirtschaft. Das entspricht rund 21,9 % der gesamten energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Industrie. An zweiter Stelle folgt mit einigem Abstand die Verarbeitung von Steinen und Erden (Gips-, Beton-, Zement- und Baukeramikproduktion) einschließlich Glasgewerbe mit 437 000 t und einem Anteil von 15,1 % am CO<sub>2</sub>-Ausstoß.

Die dritte Position nimmt die Herstellung von Nichteisen-Metallen und Gießereierzeugnissen mit 389 000 t CO<sub>2</sub> (Anteil: 13,4 %) ein. Das Papiergewerbe erreicht mit 308 000 t CO<sub>2</sub> einen Anteil von 10,6 %. 268 000 t (9,2 %) trägt das Ernährungs- und Tabakgewerbe zum CO<sub>2</sub>-Ausstoß bei. Weitere 171 000 t (Anteil: 5,9 %) fallen bei der Herstellung von Roheisen, Stahl und eisenhaltigen Legierungen an. Die restlichen Mengen – knapp ein Viertel der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Industriesektors – verteilen sich auf andere Wirtschaftszweige.

### 1.3 Sektoraler Vergleich der energiebedingten Emissionen zwischen Hessen und Deutschland

Vergleicht man die sektorbezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen und Deutschland, werden deutliche Unterschiede sichtbar (Tabelle 3 und Abbildung 3). Besonders ausgeprägt sind die Differenzen im Energiesektor, der im Jahr 2016 in Deutschland mit 43,6 % einen fast doppelt so hohen Anteil an den energiebedingten Gesamtemissionen besaß wie in Hessen (21,9 %). Demgegenüber fällt in Hessen der Emissionsanteil des Verkehrssektors wesentlich höher aus als im Bundesgebiet.

**Abbildung 3 Entwicklung der sektoralen Struktur der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen und in Deutschland von 1990 bis 2016**



Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Umweltbundesamt, NIR 2018; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; hessische Werte für 2016 vorläufig.

In Hessen war der Anteil der Emissionen aus dem Straßenverkehr im Jahr 2016 um 14,7 Prozentpunkte höher als in Deutschland. Außerdem spielen der nationale wie auch der internationale Luftverkehr für Hessen eine besondere Rolle: 49,5 % aller Luftverkehrsemissionen Deutschlands fielen 2016 in Hessen an. Der Anteil des nationalen Luftverkehrs an den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen war in Hessen 2016 mit 2,0 % fast siebenmal so hoch wie in Deutschland (0,3 %).<sup>2</sup> Der Anteil des Sektors

<sup>2</sup> Der Anteil des internationalen Flugverkehrs kann nicht angegeben werden, da er nicht in die Summe der CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen eingeht. Die Gesamtemissionen werden gemäß internationaler Konvention sowohl für Deutschland als auch für Hessen stets um den Beitrag des internationalen Luftverkehrs bereinigt ausgewiesen.

„Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ lag im Jahr 2016 in Hessen 14,4 Prozentpunkte über dem Deutschlandwert.

**Tabelle 3      Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen und in Deutschland von 1990 bis 2016**

Emissionssektor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>
	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t						
<b>Hessen</b>							
Energieerzeugung/-umwandlung	6,9	9,5	9,8	9,5	9,6	7,4	8,1
Industrie	6,1	5,8	4,3	3,8	3,2	2,8	2,9
Verkehr	14,4	15,0	15,9	13,9	13,1	13,8	14,0
Schienenverkehr	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Straßenverkehr	13,4	13,9	14,7	13,0	12,3	12,9	13,2
Luftverkehr (national) <sup>3)</sup>	0,7	0,9	1,0	0,8	0,7	0,8	0,7
Binnenschifffahrt	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>4)</sup>	15,3	16,7	14,6	15,1	12,7	11,6	11,9
<b>Energiebedingte Emissionen im Inland<sup>5)</sup></b>	<b>42,6</b>	<b>47,0</b>	<b>44,5</b>	<b>42,3</b>	<b>38,6</b>	<b>35,7</b>	<b>37,0</b>
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr<sup>7)</sup></i>	<i>7,9</i>	<i>9,5</i>	<i>11,6</i>	<i>12,3</i>	<i>11,8</i>	<i>13,2</i>	<i>13,4</i>
<b>Deutschland</b>							
Energieerzeugung/-umwandlung	428,0	368,0	358,5	379,1	355,2	333,9	328,9
Industrie	185,1	144,5	129,0	114,4	124,1	125,7	125,3
Verkehr <sup>2)</sup>	161,9	175,4	180,7	160,0	152,8	161,1	165,0
Schienenverkehr	2,9	2,3	1,9	1,4	1,1	1,0	0,9
Straßenverkehr	151,9	166,4	172,5	152,7	146,3	154,9	158,6
Luftverkehr (national) <sup>3)</sup>	2,4	2,4	2,8	2,5	2,5	2,3	2,4
Binnenschifffahrt	3,6	2,9	2,1	1,9	1,7	1,7	1,9
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>4)</sup>	214,8	193,8	171,9	158,5	152,7	129,3	134,8
<b>Energiebedingte Emissionen im Inland<sup>5) 6)</sup></b>	<b>989,8</b>	<b>881,7</b>	<b>840,1</b>	<b>812,1</b>	<b>784,7</b>	<b>750,0</b>	<b>754,1</b>
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr<sup>7)</sup></i>	<i>12,0</i>	<i>14,8</i>	<i>19,1</i>	<i>22,7</i>	<i>24,0</i>	<i>24,2</i>	<i>26,2</i>
<b>Hessen in % von Deutschland</b>							
Energieerzeugung/-umwandlung	1,6	2,6	2,7	2,5	2,7	2,2	2,5
Industrie	3,3	4,0	3,3	3,3	2,6	2,3	2,3
Verkehr	8,9	8,6	8,8	8,7	8,6	8,6	8,5
Schienenverkehr	3,9	4,2	4,2	4,4	4,6	5,3	5,8
Straßenverkehr	8,8	8,3	8,5	8,5	8,4	8,3	8,3
Luftverkehr (national) <sup>3)</sup>	28,5	35,7	35,3	32,1	26,9	33,5	31,6
Binnenschifffahrt	5,2	6,4	4,0	4,7	4,2	3,2	2,9
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>4)</sup>	7,1	8,6	8,5	9,5	8,3	9,0	8,8
<b>Energiebedingte Emissionen im Inland<sup>5)</sup></b>	<b>4,3</b>	<b>5,3</b>	<b>5,3</b>	<b>5,2</b>	<b>4,9</b>	<b>4,8</b>	<b>4,9</b>
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr<sup>7)</sup></i>	<i>66,0</i>	<i>64,1</i>	<i>60,9</i>	<i>54,1</i>	<i>49,3</i>	<i>54,7</i>	<i>51,1</i>
1) Für Hessen vorläufige Werte. – 2) Für Deutschland einschließlich anderer Verkehr lt. Nationalem Inventarbericht. – 3) Nur inländischer Luftverkehr. – 4) Einschließlich militärischer Dienststellen. – 5) Ohne nichtenergetischen Verbrauch und ohne internationalen Luftverkehr. – 6) Für Deutschland einschließlich diffuser Emissionen aus Brennstoffen. – 7) Internationaler Anteil am gesamten zivilen Luftverkehr.							

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Umweltbundesamt, NIR 2018; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Die sektoralen Verschiebungen der Emissionsanteile seit 1990 entwickeln sich in Hessen insgesamt ähnlich wie in Gesamtdeutschland. Leicht zugenommen hat etwa der Beitrag der Energieerzeugung und -umwandlung an den CO<sub>2</sub>-Emissionen Deutschlands (1990: 43,2 %, 2016: + 0,4 Prozentpunkte). Der Emissionsanteil dieses Sektors ist in Hessen deutlicher gestiegen, jedoch auf einem wesentlich geringeren Niveau (1990: 16,1 %, 2016: + 5,8 Prozentpunkte).

Der Anteil des Straßenverkehrs am Emissionsgeschehen wuchs 2016 in Deutschland im Vergleich zum Basisjahr um 5,7 Prozentpunkte. In Hessen stieg er um 4,2 Prozentpunkte, allerdings ist der Emissionsanteil dieses Sektors hier mit 35,7 % deutlich größer als auf Bundesebene (21,0 %). Der Emissionsbeitrag der Industrie reduzierte sich in Hessen stärker als in Deutschland. Er lag für das Bundesgebiet 2016 bei 16,6 % und hat sich damit im Vergleich zu 1990 um 2,1 Prozentpunkte vermindert (Hessen: 7,8 %; – 6,4 Prozentpunkte). Der Emissionsanteil des Sektors „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ nahm 2016 gegenüber dem Basisjahr deutschlandweit um 3,8 Prozentpunkte ab. In Hessen verringerte sich sein Anteil – auf fast doppelt so hohem Niveau – um 3,6 Prozentpunkte.

Bedeutendste Quelle für die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen war im Jahr 2016 der Verkehrssektor mit einem Anteil von 38,0 %. Dahinter folgte der Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ mit 32,3 %. Bei Letzterem sind die Emissionen überwiegend auf den Verbrauch von Heizöl und Gas zu Heizzwecken zurückzuführen. Im Verkehrssektor spielt der Treibstoffverbrauch im Straßenverkehr die tragende Rolle: 93,9 % der Verkehrsemissionen bzw. 35,7 % der Gesamtemissionen stammen daher. Der aus dem Stromverbrauch in den verschiedenen Sektoren hervorgehende CO<sub>2</sub>-Ausstoß wird dem Bereich „Energieerzeugung und -umwandlung“ zugerechnet. Im Jahr 2016 entfielen auf diesen Sektor 21,9 % der hessischen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Der direkte energiebedingte CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Industrie spielte mit knapp 7,8 % eine vergleichsweise untergeordnete Rolle.

#### **1.4 Indikatoren zur Entwicklung der energiebedingten Kohlendioxid-emissionen (aus der Quellenbilanz)**

Indikatoren spielen in der Klimaschutzpolitischen Diskussion sowie im Rahmen des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung eine wichtige Rolle. So können durch die Verknüpfung der CO<sub>2</sub>-Emissionen mit geeigneten Bezugsgrößen energiewirtschaftliche und klimapolitische Zusammenhänge besser beurteilt werden. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Entwicklung dieser spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen und in Deutschland.

Bezieht man den absoluten CO<sub>2</sub>-Ausstoß auf die Zahl der Einwohner, differenziert sich das Bild für Deutschland und Hessen. Von 1990 auf 1991 stiegen die jährlichen Pro-Kopf-Emissionen in Hessen deutlich von 7,5 t auf 8,0 t. Zwischen 1992 und 1998 schwankten sie zwischen 7,9 t und 8,4 t, um erst am Ende der neunziger Jahre wieder unter das Ausgangsniveau abzusinken. Ab 1999 blieben die spezifischen einwohnerbezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen mit nur einer Ausnahme im heizintensiven Jahr 2001 stets unter 7,4 t pro Jahr, seit 2009 liegen sie unter 6,5 t. Für den Bund fielen die Werte, bei etwa gleichem Entwicklungsverlauf, stets höher aus. Im Basisjahr waren die gesamtdeutschen Emissionen pro Einwohner noch 5,0 t höher als in Hessen.

Der Abstand verringerte sich danach mehr und mehr, wobei sich die geringste Differenz mit 2,7 t im Jahr 1996 ergab. In den folgenden Jahren pendelte der Differenzwert zwischen 2,8 t und 3,2 t je Einwohner. Seit 2006 lag die Differenz zwischen dem hessischen und dem bundesdeutschen Wert zumeist leicht darüber – im Jahr 2016 lag sie jedoch wieder bei 3,2 t je Einwohner.

Im Zeitraum von 1990 bis 2016 verminderten sich die spezifischen einwohnerbezogenen Emissionen in Hessen um insgesamt 20,0 %, wobei eine Reduktion vor allem in den letzten 18 Jahren erkennbar ist. Bis 1995 wuchsen die hessischen Pro-Kopf-Emissionen um 5,6 %, bis zum Höchststand im Jahr 1996 (8,4 t je Einwohner) sogar um 12,5 %. Im Vergleich zu 1995 sanken die Pro-Kopf-Emissionen bis 2016 um 24,2 %, ausgehend vom Höchststand 1996 sogar um 28,9 %. Der spezifische CO<sub>2</sub>-Ausstoß reduzierte sich in Deutschland zwischen 1990 und 2016 um 26,6 % und damit stärker als in Hessen. Im Gegensatz zu Hessen betrug der Rückgang der einwohnerspezifischen Emissionen in den ersten fünf Jahren des Betrachtungszeitraums aufgrund des wirtschaftlichen Strukturwandels bereits 13,1 %. Seit 1995 setzte sich dieser Trend in geringerem Tempo fort. So belief sich die Minderung im Jahr 2016 gegenüber 1995 auf 15,6 %.

Die auf das Bruttoinlandsprodukt bezogene CO<sub>2</sub>-Intensität weist das Verhältnis der aufgewendeten Energie zur erzielten Wirtschaftsleistung aus. Höhe und Entwicklung sind abhängig von der Wirtschaftsstruktur der betrachteten Region. Zwischen 1991 und 2016 sank die CO<sub>2</sub>-Intensität in Hessen um 37,5 %.<sup>3</sup> Für Deutschland reduzierte sie sich in diesem Zeitraum um 43,7 %. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einheit Bruttoinlandsprodukt sind in Deutschland vor allem in der ersten Hälfte der neunziger Jahre aufgrund struktureller Veränderungen in der Wirtschaft und wegen stark verminderter CO<sub>2</sub>-Emissionen des Energiesektors deutlich gesunken (preisbereinigt zwischen 1991 und 1995 im Durchschnitt um 3,2 % pro Jahr). Zwischen 1995 und dem Jahr 2016 schwächte sich die Entwicklung ab (durchschnittlich 2,1 % Rückgang pro Jahr).

In Hessen zeigt der Trend ein ähnliches Muster wie bei den einwohnerspezifischen Emissionen. Bis 1996 sank die CO<sub>2</sub>-Intensität pro Jahr nur um durchschnittlich 0,9 %. Die Hauptminderung (im Schnitt 3,2 % pro Jahr) erfolgte in Hessen ab Mitte der neunziger Jahre bis 2007 und übertraf in dieser Periode die des Bundes. Zwischen 1996 und 2016 ist die CO<sub>2</sub>-Intensität pro Jahr durchschnittlich um 2,5 % gesunken. Nach einer Phase mit geringen Schwankungen fiel die CO<sub>2</sub>-Intensität im Jahr 2011 deutlich gegenüber dem Vorjahr. Durch die Reparaturmaßnahmen im Kraftwerk Staudinger kam es im Jahr 2014 noch einmal zu einer erkennbaren Reduktion im Vergleich zum Vorjahr. Die Wiederaufnahme des Betriebs zu Beginn des Jahres 2015 führt seitdem wieder zu einem leichten Anstieg der CO<sub>2</sub>-Intensität (vgl. Abschnitt 1.2).

Der Vergleich zwischen Hessen und Deutschland zeigt, dass die absolute Menge der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen langsamer als in der Bundesrepublik gesunken ist (vgl. Tabelle 3). Die hessische Verminderung der CO<sub>2</sub>-Intensität (als Quotient aus CO<sub>2</sub>-

<sup>3</sup> Der Bezug auf das Basisjahr der Emissionsberechnungen (1990) ist deshalb nicht möglich, weil das für den Deutschlandvergleich erforderliche Bruttoinlandsprodukt für das Jahr 1990 nicht verfügbar ist. Das Bruttoinlandsprodukt wird für Strukturvergleiche in jeweiligen Preisen verwendet. Um jedoch Betrachtungen der Zeitreihe unabhängig von Preisänderungen vorzunehmen, werden Entwicklungen über verkettete preisbereinigte Indizes dargestellt. Das führt dazu, dass die in Tabelle 4 rechts stehenden Veränderungsraten nicht aus den links ausgewiesenen Werten errechnet werden können.

Emissionen und Bruttoinlandsprodukt) bewegt sich jedoch ungefähr in der gleichen Größenordnung wie die gesamtdeutsche. Diese Entwicklung ist demnach in Hessen in wesentlich stärkerem Maße auf die Steigerung der Wirtschaftskraft (also höheren Werten im Nenner) als auf einen Emissionsrückgang zurückzuführen.

**Tabelle 4 Energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen bezogen auf Einwohner, Bruttoinlandsprodukt und Primärenergieverbrauch in Hessen und Deutschland von 1990 bzw. 1991 bis 2016**

Gebiet	1990	1991	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>	1990 bzw. 1991 / 2016	1995 / 2016
CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>2)</sup> je Einwohner in t CO <sub>2</sub>									Veränderungen in %	
Hessen	7,5	8,0	7,9	7,4	7,0	6,5	5,8	6,0	– 20,0	– 24,2
Deutschland	12,5	12,0	10,8	10,3	10,0	9,8	9,2	9,2	– 26,6	– 15,6
Deutschland = 100										
Hessen	59,8	66,9	72,6	71,8	70,3	66,2	63,4	65,1		
CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>2)</sup> je Einheit Bruttoinlandsprodukt <sup>3)</sup> in t CO <sub>2</sub> je Mill. Euro									Veränderungen <sup>4)</sup> in %	
Hessen	—	308,9	275,2	228,9	199,1	170,0	137,1	137,2	– 37,5	– 37,5
Deutschland	—	605,0	464,3	396,9	352,9	304,1	246,4	239,9	– 43,7	– 35,7
Deutschland = 100										
Hessen	—	51,1	59,3	57,7	56,4	55,9	55,6	57,2		
CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>2)</sup> je Einheit Primärenergieverbrauch in t CO <sub>2</sub> je 1000 TJ									Veränderungen in %	
Hessen	45,9	48,3	47,6	43,1	40,8	38,4	41,5	42,0	– 8,5	– 11,8
Deutschland	66,4	65,4	61,8	58,3	55,8	55,2	56,6	55,9	– 15,8	– 9,5
Deutschland = 100										
Hessen	69,1	73,9	77,0	73,9	73,1	69,6	73,3	75,1		
CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>2)</sup> je Einheit Primärenergieverbrauch <sup>2)</sup> in t CO <sub>2</sub> je 1000 TJ									Veränderungen in %	
Hessen	51,9	54,4	54,7	51,0	48,6	45,8	52,5	52,9	2,1	– 3,2
Deutschland	67,1	66,1	62,7	59,4	57,0	56,5	58,0	57,4	– 14,5	– 8,4
Deutschland = 100										
Hessen	77,2	82,2	87,3	85,8	85,3	81,0	90,5	92,2		
<i>Nachrichtlich: Anteil des internationalen Luftverkehrs am Primärenergieverbrauch in %</i>										
Hessen	11,6	11,0	13,1	15,4	16,2	16,0	21,0	20,7	Mittelwert 1990-2016	15,6
Deutschland	1,1	1,1	1,4	1,8	2,1	2,3	2,5	2,6		1,9
1) Für Hessen vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr. – 3) Bruttoinlandsprodukt in jeweiligen Preisen. – 4) Veränderungsraten des Bruttoinlandsproduktes preisbereinigt und verkettet.										

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Statistisches Bundesamt, Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: August 2017); Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; DIW; AG Energiebilanzen; Umweltbundesamt, NIR 2018; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Die auf den Primärenergieverbrauch bezogene CO<sub>2</sub>-Intensität berücksichtigt die Struktur der eingesetzten Energieträger und zeigt damit an, welche Emissionsmenge

je Einheit Primärenergieverbrauch verursacht wird. Sie lag in Hessen im Jahr 2016 bei 42,0 t CO<sub>2</sub> je 1000 Terajoule (TJ) bzw. bei 52,9 t je 1000 TJ, wenn der Primärenergieverbrauch um die für den internationalen Luftverkehr eingesetzten Flugsurbinenkraftstoffe bereinigt wird. Bei der Betrachtung der Zeitreihe ist zu berücksichtigen, dass 2007 und 2009 fast das gesamte Jahr lang vorübergehend keine Kernenergie eingesetzt und ihre Nutzung Anfang 2011 vollständig aufgegeben wurde, während sie in den Jahren 1997 bis 2006 mit durchschnittlich 17 % einen erheblichen Anteil am Primärenergieverbrauch in Hessen hatte. Zwar wird bei der Nutzung von Kernenergie kein CO<sub>2</sub> ausgestoßen, aber die hier eingesetzte Energieträgermenge geht in den Primärenergieverbrauch ein und wirkt sich dadurch auf die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Intensität aus.<sup>4</sup>

Im Jahr 2016 wurden im Bund 55,9 bzw. 57,4 t CO<sub>2</sub> (letzte Angabe ohne Einbeziehung des internationalen Luftverkehrs in den Primärenergieverbrauch) je 1000 TJ ausgestoßen. Da der Anteil des internationalen Luftverkehrs am Primärenergieverbrauch auf Bundesebene niedriger ist als in Hessen, beeinflusst der internationale Luftverkehr die deutsche CO<sub>2</sub>-Intensität weniger stark als die hessische. In Deutschland machte der internationale Luftverkehr im Basisjahr 1990 nur 1,1 % des Primärenergieverbrauchs aus, in Hessen lag der Wert bei 11,6 %. Bis zum Jahr 2007 bzw. 2009 stiegen diese Anteile aufgrund der dynamischen Entwicklung des Luftverkehrs für Hessen bzw. Deutschland. Die starken Schwankungen der Anteilswerte für Hessen seit 2007 wurden neben dem Geschehen im internationalen Luftverkehr auch von der wirtschaftlichen Entwicklung der hessischen Industrie sowie der wechselnden Nutzung von Kernenergie beeinflusst, da sich beides auf die sektoralen Anteile des Primärenergieverbrauchs auswirkt. Der Anteil des internationalen Luftverkehrs am Primärenergieverbrauch lag für Deutschland im Jahr 2016 bei 2,6 % und für Hessen bei 20,7 %.

Die unterschiedlich große Bedeutung des internationalen Luftverkehrs für die Energiebilanz der Wirtschaftsräume Deutschland und Hessen zeigt sich vor allem darin, dass in Hessen die absoluten Werte – je nachdem, ob man den internationalen Luftverkehr in den Primärenergieverbrauch einbezieht oder nicht – deutlich voneinander abweichen. In Deutschland ist die Differenz zwischen den beiden Varianten dagegen weitaus geringer. Wird der Primärenergieverbrauch nicht um den internationalen Luftverkehr vermindert, fällt der spezifische CO<sub>2</sub>-Ausstoß je Einheit Primärenergieverbrauch in Hessen im Jahr 2016 um 13,9 t je 1000 TJ niedriger aus als im Bund. Rechnet man den internationalen Luftverkehr aus dem Primärenergieverbrauch heraus, reduziert sich der Abstand Hessens zu Deutschland auf 4,5 t je Einheit Primärenergieverbrauch.

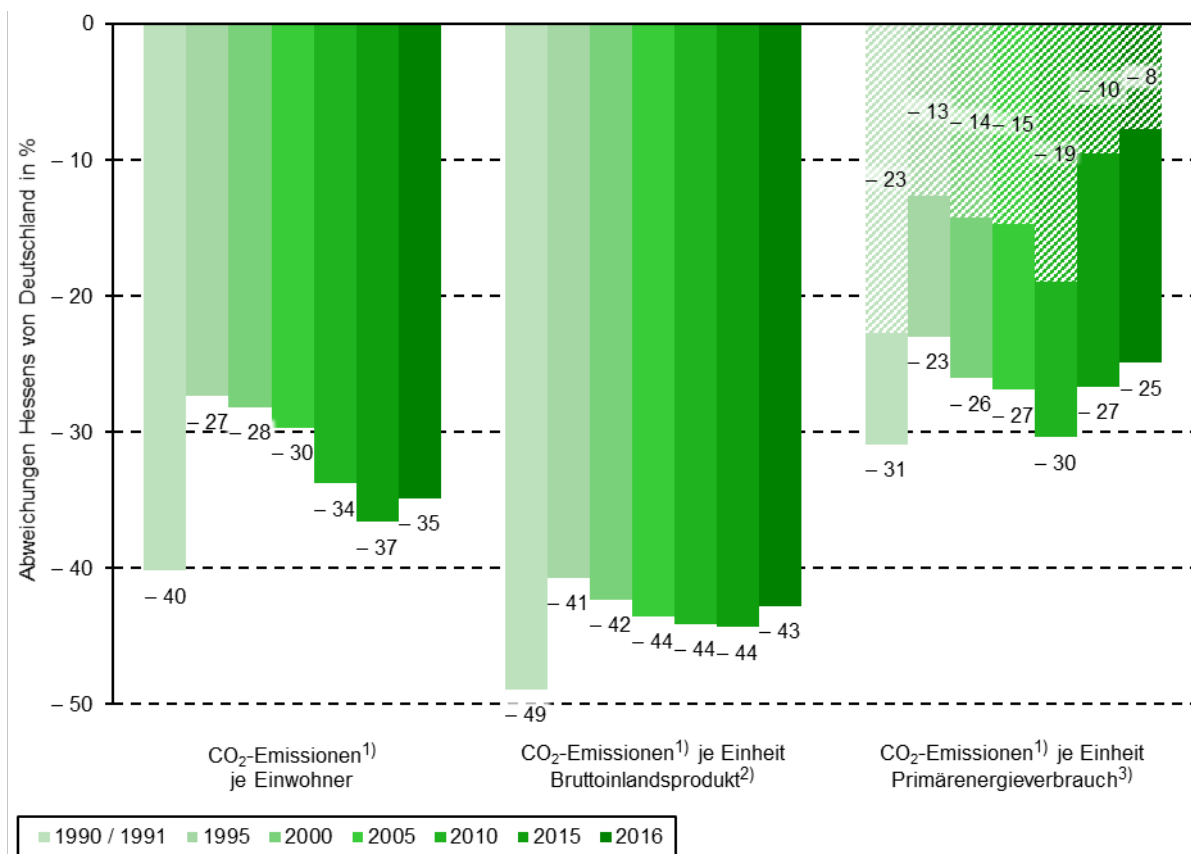
Im gesamten Betrachtungszeitraum ist die CO<sub>2</sub>-Intensität des (unbereinigten) Primärenergieverbrauchs in Hessen um 8,5 % zurückgegangen. Bereinigt man den Primärenergieverbrauch um die für den internationalen Luftverkehr verbrauchten

---

<sup>4</sup> Der Primärenergieverbrauch bei der Kernenergienutzung ging 2007, 2009 und 2011 gegenüber dem jeweiligen Vorjahr um 167 000 TJ, 188 000 TJ bzw. 124 000 TJ zurück. Vor diesem Hintergrund fiel der Rückgang um 43 000 TJ von 2011 zu 2012 aufgrund der Einstellung der Kernenergienutzung relativ gering aus. Der Quotient aus CO<sub>2</sub>-Emissionen und Primärenergieverbrauch lag für die Jahre 2007, 2009, 2011 und auch 2012 aufgrund des niedrigeren Primärenergieverbrauchs im Nenner deutlich über den jeweiligen Vorjahreswerten. Dies galt für beide Betrachtungsweisen, d. h. mit bzw. ohne Einbeziehung des internationalen Luftverkehrs in den Primärenergieverbrauch.

Flugkraftstoffe, ergibt sich für das Jahr 2016 jedoch ein Anstieg der CO<sub>2</sub>-Intensität gegenüber dem Basisjahr 1990 um 2,1 %. Der Ausbau des hessischen Energiesektors hatte bis Mitte der neunziger Jahre dazu geführt, dass sich der spezifische CO<sub>2</sub>-Ausstoß deutlich erhöhte. Seitdem ist trotz der oben genannten Schwankungen ein insgesamt rückläufiger Trend zu beobachten – 2016 verringerte sich die CO<sub>2</sub>-Intensität in Hessen um 11,8 % bzw. bereinigt um 3,2 % gegenüber 1995. Ab diesem Zeitpunkt begann auch in Hessen ein nachhaltiger Wandel zu CO<sub>2</sub>-ärmeren Technologien. Außerdem wurden verstärkt alternative Energieträger zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. So wurden immer größere Mengen an Siedlungsabfällen (bei denen 50 % des Energiegehaltes aus biogenen Fraktionen stammen) in Müllheizkraftwerken eingesetzt. Zusätzlich nahm der Anteil der festen Biomasse am Primärenergieverbrauch zu.

**Abbildung 4 Abweichungen der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bezogen auf Einwohner, Bruttoinlandsprodukt und Primärenergieverbrauch in Hessen von den Werten in Deutschland von 1990 bzw. 1991 bis 2016**



1) Ohne internationalen Luftverkehr. — 2) Basisjahr für das Bruttoinlandsprodukt ist 1991. — 3) Ganzer Balken: Bezogen auf den gesamten Primärenergieverbrauch. Schraffierter Teil: Bezogen auf den Primärenergieverbrauch ohne internationalen Luftverkehr.

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; DIW; Umweltbundesamt, NIR 2018; Statistisches Bundesamt, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder (Berechnungsstand: August 2017); AG Energiebilanzen; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; hessische Werte für 2016 vorläufig.

Für Deutschland verminderte sich die CO<sub>2</sub>-Intensität vor allem in der ersten Hälfte der neunziger Jahre. Sie lag im Jahr 2016 um 15,8 % (bereinigt um 14,5 %) unter den Werten von 1990. Über 40 % dieser Verminderung entfiel allerdings auf die Jahre 1990 bis 1995, bedingt durch den Strukturwandel in den neuen Bundesländern. Beim Vergleich der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen fällt auf, dass diese im Zeitraum 1990/91 bis 2016 in Deutschland stärker als in Hessen sanken. Das Niveau der deutschen Indikatorenwerte liegt allerdings wesentlich höher als das der hessischen. Im Verlauf der Zeitreihe näherten sich die spezifischen Emissionen in Hessen und im Bundesgebiet bis zum Jahr 2000 zunächst an. Im Anschluss verbesserte sich Hessen im Vergleich zu Deutschland bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einwohner bzw. bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen je Einheit Bruttoinlandsprodukt, auch wenn der Abstand 2016 wieder etwas abnahm. Dagegen ist der Abstand bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen je Primärenergieverbrauch weitestgehend konstant geblieben (Abbildung 4).

Zusammenfassend lässt sich in Bezug auf die verschiedenen Indikatoren festhalten:

- Die Emissionen je Einwohner waren in Hessen im Jahr 2016 um 34,9 % niedriger als in Deutschland. Im Jahr 2000 waren sie um 28,2 % niedriger.
- Das hessische Bruttoinlandsprodukt wurde im Jahr 2016 im Durchschnitt unter Freisetzung von 137,2 t CO<sub>2</sub> je 1 Mill. Euro gegenüber 239,9 t CO<sub>2</sub> je 1 Mill. Euro in Deutschland erwirtschaftet. Eine vergleichbare Wirtschaftsleistung wurde in Hessen also mit um 42,8 % niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen geschaffen.
- Die durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Intensität des Primärenergieverbrauchs ist in Hessen stärker als in Deutschland davon abhängig, ob der internationale Flugverkehr bei der Berechnung des Primärenergieverbrauchs berücksichtigt wird. Im Jahr 2016 lag der hessische Wert bei vollständiger Einbeziehung aller Mineralölprodukte in den Primärenergieverbrauch 24,9 % unter dem deutschen. Ohne Berücksichtigung der Flugkraftstoffe für den internationalen Luftverkehr fiel der Abstand mit 7,8 % deutlich geringer aus.

## 1.5 Verursacherbezogene Kohlendioxidemissionen

In der Verursacherbilanz werden die Emissionen ausschließlich auf den Endenergieverbrauch bezogen. Die Emissionen des Umwandlungsbereichs werden hier also nach dem Verursacherprinzip zugeordnet. Bezieht man die effektiven CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>5</sup> vollständig auf die Verbrauchssektoren, zeigen sich für Hessen erhebliche Abweichungen zur Quellenbilanz und zwar sowohl in der sektoralen Struktur (Abbildung 5), als auch in der absoluten Höhe (Tabelle 5). Die verursacherbezogene Emissionsberechnung erfolgt nach der abgestimmten Methodik des Länderarbeitskreises Energiebilanzen, im Nationalen Inventarbericht wird auf Bundesebene keine Verursacherbilanz ausgewiesen.

Die hessischen verursacherbezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen lagen im Jahr 2016 mit 49,8 Mill. t deutlich über den energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen laut Quellenbilanz (37,0 Mill. t). Im Vergleich zu 2015 stiegen sie um 0,5 % an. Prozentual am stärksten legten die durch die Verwendung von Braunkohle in der Industrie verursachten Emissionen zu – um 22,4 %, jedoch von vergleichsweise geringem Niveau.

<sup>5</sup> Ohne Temperaturbereinigung.

**Tabelle 5 Effektive CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz) in Hessen im Jahr 2015 und 2016**

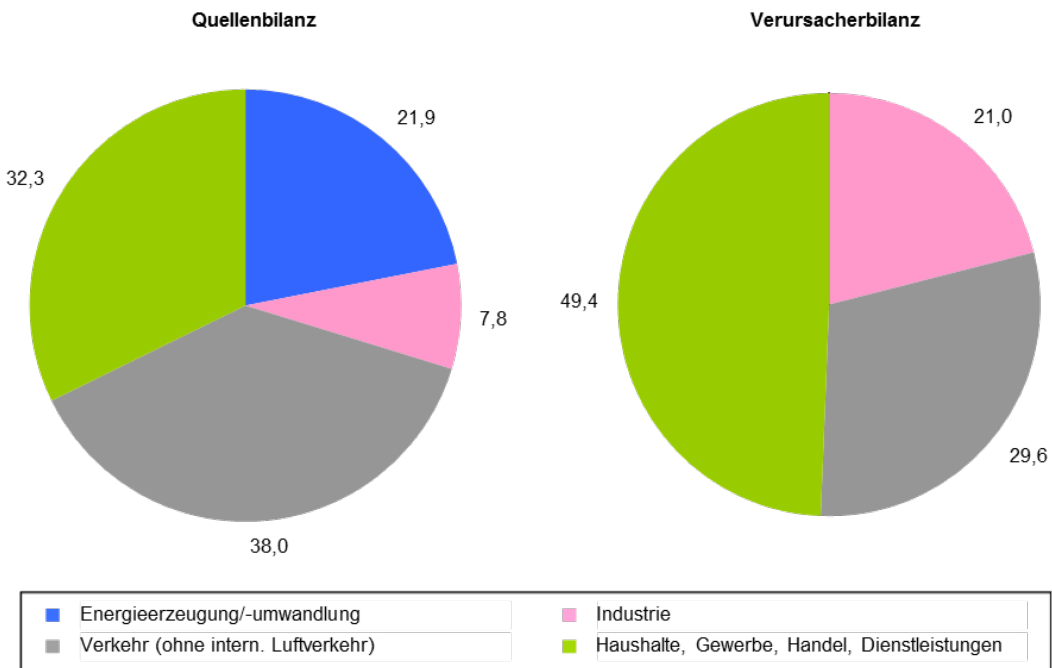
Emittentensektor	Energieträger					
	Insgesamt	davon				
		Steinkohlen	Braunkohlen	Mineralöle und Mineralölprodukte	Gase	Strom und Fernwärme <sup>1)</sup>
	1000 t					
2016 <sup>2)</sup>						
Industrie	10 476	309	245	251	2 136	7 535
Verkehr <sup>3)</sup>	14 754	—	—	14 022	22	710
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	24 600	3	58	4 980	6 878	12 681
<b>Endenergieverbrauchsbereich zusammen</b>	<b>49 831</b>	<b>312</b>	<b>303</b>	<b>19 253</b>	<b>9 036</b>	<b>20 926</b>
2015						
Industrie	10 524	346	200	265	2 068	7 644
Verkehr <sup>3)</sup>	14 453	—	—	13 756	25	672
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	24 629	4	57	4 955	6 606	13 007
<b>Endenergieverbrauchsbereich zusammen</b>	<b>49 606</b>	<b>351</b>	<b>257</b>	<b>18 976</b>	<b>8 698</b>	<b>21 324</b>
Zu- bzw. Abnahme (–) in %						
Industrie	– 0,5	– 10,7	22,4	– 5,4	3,3	– 1,4
Verkehr <sup>3)</sup>	2,1	—	—	1,9	– 10,1	5,6
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher	– 0,1	– 29,7	1,3	0,5	4,1	– 2,5
<b>Endenergieverbrauchsbereich zusammen</b>	<b>0,5</b>	<b>– 10,9</b>	<b>17,7</b>	<b>1,5</b>	<b>3,9</b>	<b>– 1,9</b>
1) Bewertung des Stromverbrauchs mit einem einheitlichen (General-)Faktor für Deutschland auf Basis der Emissionen aller Kraftwerke der allgemeinen Versorgung sowie der Industriekraftwerke; einschließl. Abfall. – 2) Vorläufige Werte. – 3) Ohne internationalen Luftverkehr.						

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt.

Die stärkste verursacherbezogene Emissionszunahme in absoluten Mengen gab es 2016 im Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ für den Energieträger Gas mit 273 000 t CO<sub>2</sub>. Außerdem erhöhte sich erneut der Verbrauch von Mineralöl und Mineralölprodukten im Verkehrssektor, der CO<sub>2</sub>-Ausstoß stieg dadurch um 266 000 t gegenüber 2015.

Insgesamt sind im Verkehrssektor jedoch die geringsten Unterschiede zur quellenbezogenen Betrachtung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes zu verzeichnen (14,0 Mill. t gegenüber 14,8 Mill. t nach dem Verursacherprinzip). In diesem Sektor geht der überwiegende Energieverbrauch (96,0 %) auf Mineralöl und Mineralölprodukte zurück. In den beiden anderen Sektoren kommt die Neubewertung des Strom- und Fernwärmeverbrauchs (vgl. Abschnitt 1.1) voll zum Tragen, da der hessische Stromverbrauch über der in den hessischen Kraftwerken erzeugten Menge liegt.

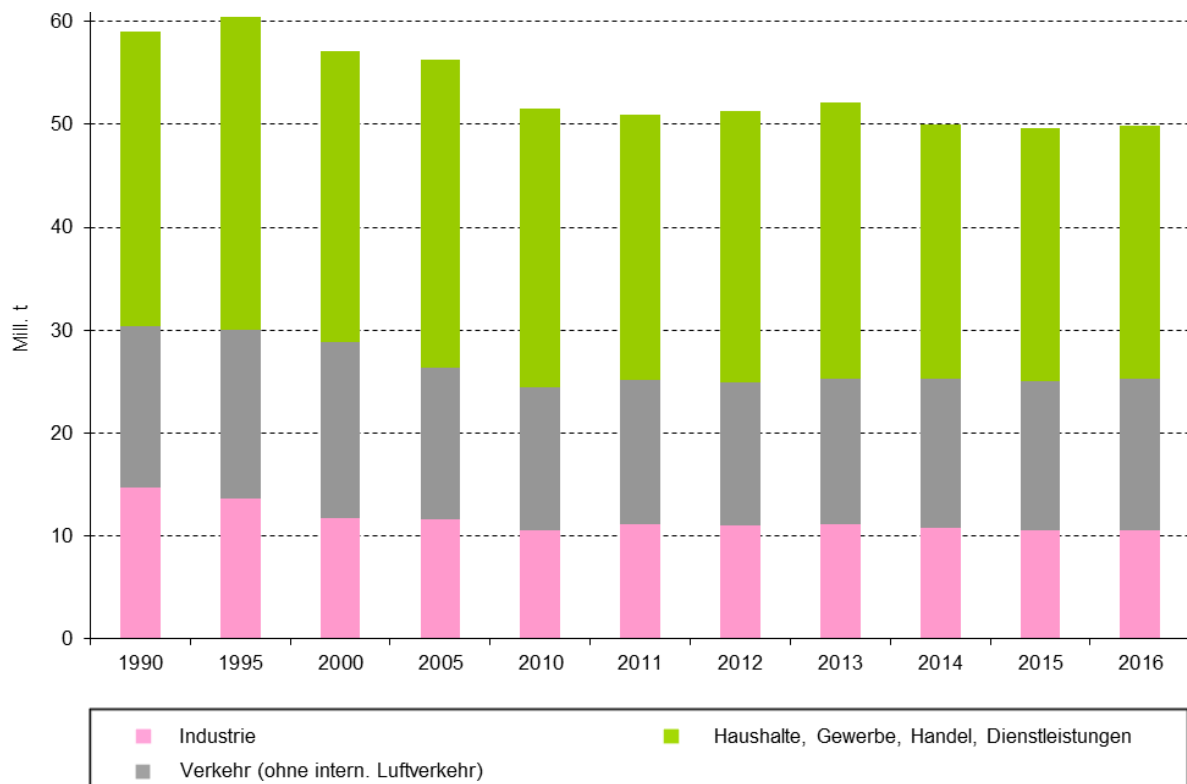
**Abbildung 5 Quellen- und verursacherbezogene CO<sub>2</sub>-Emissionen der Hauptemissionssektoren in Hessen im Jahr 2016**



Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; vorläufige Werte.

Insgesamt lagen die verursacherbezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen 9,2 Mill. t bzw. 15,5 % unter den Emissionen des Basisjahres 1990 (Abbildung 6).

**Abbildung 6 CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz) in Hessen von 1990 bis 2016**



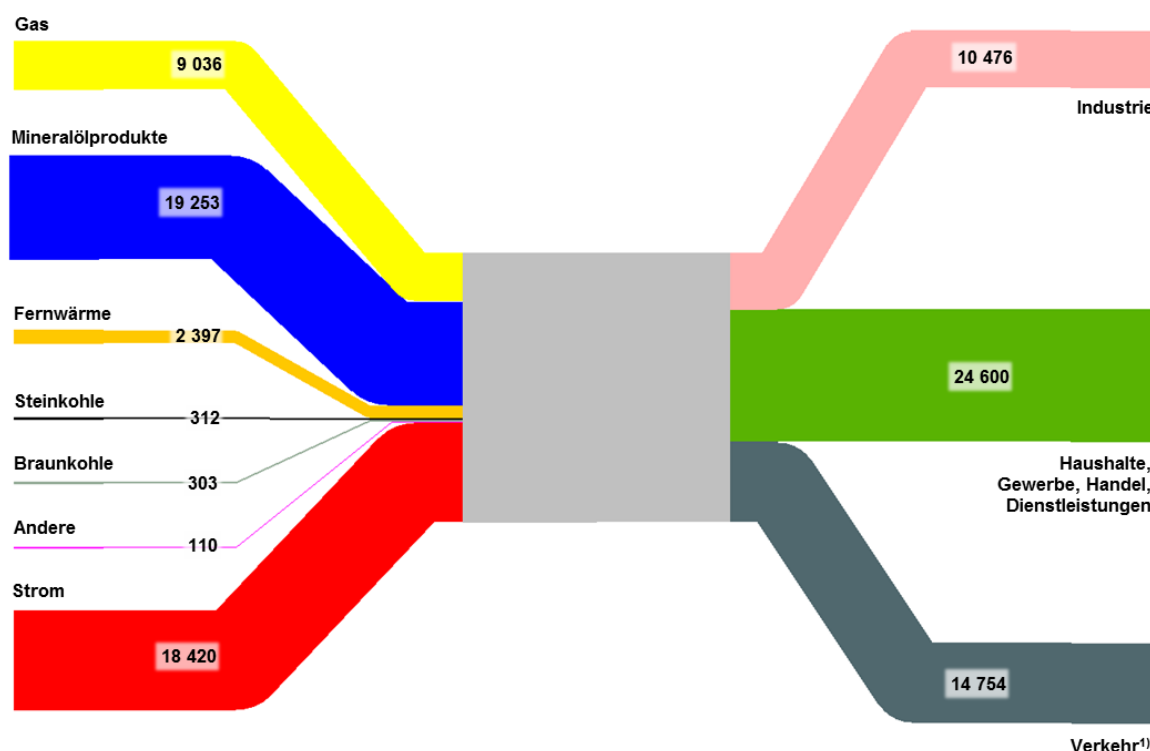
Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; Werte für 2016 vorläufig.

Unterstellt man für den (im Saldo) über die Landesgrenze aus dem Netz bezogenen – und in der Verursacherbilanz berücksichtigten – Strom den allgemeinen Energieträgermix, erhält man hier für Hessen im Vergleich zur quellenbezogenen Betrachtungsweise eine wesentlich höhere Emissionsmenge. Im Jahr 2016 waren 42,0 % der verursacherbezogenen Emissionen des Endenergieverbrauchs der Verwendung von Elektrizität und Fernwärme zuzurechnen.

Die Anteile der einzelnen Verbrauchssektoren an den verursacherbezogenen Gesamtemissionen in Hessen unterscheiden sich. Obwohl die hessische Industrie im betrachteten Zeitraum nur maximal ein Viertel dieser Emissionen verursacht hat, leistete sie den größten absoluten Beitrag zur Reduzierung. Gegenüber 1990 wurden hier 4,3 Mill. t CO<sub>2</sub> eingespart. Auch im Verkehrssektor wurde mit 0,9 Mill. t langfristig eine erkennbare Verminderung erzielt.

Im Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ muss bei Betrachtung der Zeitreihe beachtet werden, dass hier die witterungsbedingten Einflüsse am größten sind. Dennoch ist eine deutliche Entwicklung zur Emissionsreduzierung erkennbar. Denn obwohl laut hessischer Energiebilanz Stromverbrauch und Fernwärmenutzung in diesem Sektor kontinuierlich gestiegen sind, wurden 2016 dort 4,0 Mill. t CO<sub>2</sub> weniger verursacht als im Basisjahr 1990. Das ist vor allem auf den höheren Anteil erneuerbarer Energien im Energieträgermix der Strom- und Fernwärmeerzeugung zurückzuführen. Trotz dieser Entwicklungen ist das Emissionsniveau insgesamt jedoch seit 2014 nahezu konstant geblieben.

**Abbildung 7 Verursacherbezogene CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen im Jahr 2016 (Sankey-Diagramm)**



Angaben in 1000 t CO<sub>2</sub>.

1) Ohne internationalen Luftverkehr.

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; vorläufige Werte.

In Abbildung 7 wird der CO<sub>2</sub>-Ausstoß nach Energieträgern den Emissionen der Energieverbraucher (Verursacher der Emissionen) gegenübergestellt. Danach werden 49,4 % der Emissionen durch den Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“ verursacht, 29,6 % entfallen auf den Verkehrssektor. Die hessische Industrie verursacht 21,0 % der Emissionen. Die Mehrheit der Emissionen lässt sich auf Energieträgerseite Mineralölprodukten und Strom zuordnen.

## **2 Kohlendioxidemissionen aus Industrieprozessen**

### **2.1 Ermittlung prozessbedingter Kohlendioxidemissionen**

Zur Darstellung der Gesamtemissionen von CO<sub>2</sub> ist es notwendig, neben den energiebedingten auch die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu ermitteln. Prozessbedingte klimawirksame CO<sub>2</sub>-Emissionen werden bei chemischen Reaktionen bestimmter Produktionsprozesse direkt freigesetzt.

Relevante Industrieprozesse für die Ermittlung prozessbedingter Emissionen innerhalb des Sektors Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe sind die Herstellung von:

- Hüttenaluminium,
- Zementklinker,
- Kalk,
- Glas,
- Calciumkarbid,
- Ammoniak,
- Soda,
- Mauer- und Dachziegeln,
- Ruß.

Die Vorgehensweise des Länderarbeitskreises Energiebilanzen lehnt sich eng an die Berechnungsmethoden des Umweltbundesamts im Rahmen der nationalen Inventarberichterstattung an. Die Emissionsfaktoren werden ebenfalls der nationalen Inventarberichterstattung entnommen.

Berechnungsgrundlage sind Daten aus der „Vierteljährlichen Produktionserhebung“ sowie Einsatzmengen bestimmter Rohstoffe, die separat erhoben wurden. Diese Mengen der jeweiligen Industrieprozesse werden mit ihren spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert. Das Ergebnis stellt die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen je Industrieprozess dar. Ausgewiesen wird das Resultat in Tonnen CO<sub>2</sub>. Eine Aussage über die gesamten CO<sub>2</sub>-Prozessemissionen des Industriesektors ergibt sich aus der Addition des Emissionspotentials der einzelnen Prozesse.

Um ein Gesamtbild mit dem einheitlichen Basisjahr 1990 – analog zur Indikatorenbeurteilung im Rahmen der Hessischen Nachhaltigkeitsstrategie – zu ermöglichen, wurden bereits in der letzten Treibhausgasbilanz die bisher nicht vorliegenden Werte der Jahre 1990 bis 1994 extrapoliert. Es wurde mit Hilfe einer Regressionsanalyse aus den vorliegenden Angaben eine Regressionsgerade ermittelt und anhand dieser die fehlenden Werte errechnet (Rück(be)rechnung). Bis zum Bilanzjahr 2013 hatte sich die Bilanzierung auf das Basisjahr 1995 bezogen. Hauptgrund dafür war, dass weiter zurückliegende statistische Daten nicht zu ermitteln waren bzw. nicht in der erforderlichen Abgrenzung zur Verfügung standen.

In Hessen wurden im Betrachtungszeitraum neben Kalk und Zementklinker auch Glaswaren, Ammoniak und Ziegel sowie Industrieruß hergestellt. Die Darstellung der Emissionen erfolgt jeweils nach einer Beschreibung der abgebildeten Prozesse.

**Tabelle 6 Entwicklung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016**

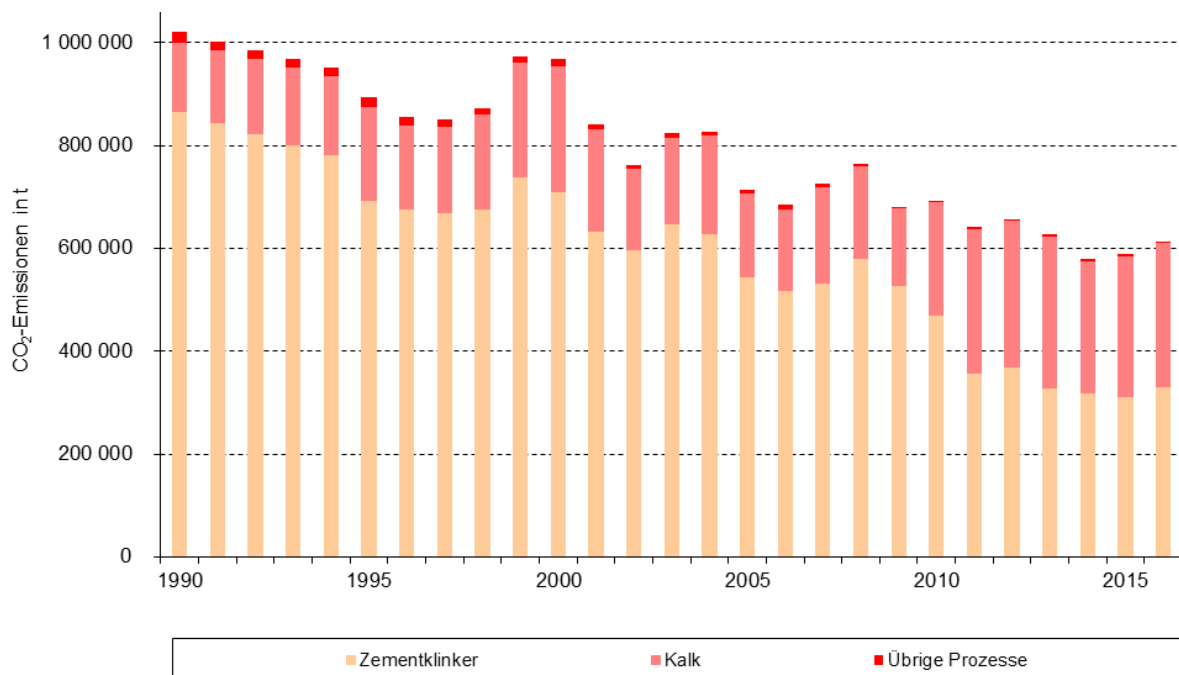
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>
	CO <sub>2</sub> -Emissionen in 1000 t						
Prozessbedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen	1 020	895	968	715	693	590	614
darunter Herstellung von							
Zementklinker	864	691	709	543	469	310	330
Kalk	136	184	245	163	221	274	280
	Anteile der Industrieprozesse in %						
Prozessbedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen	100	100	100	100	100	100	100
darunter Herstellung von							
Zementklinker	84,7	77,3	73,2	75,9	67,7	52,5	53,8
Kalk	13,4	20,5	25,3	22,8	31,9	46,5	45,5
	Entwicklung des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes (1990 = 100)						
Prozessbedingte CO <sub>2</sub> -Emissionen	100	88	95	70	68	58	60
darunter Herstellung von							
Zementklinker	100	80	82	63	54	36	38
Kalk	100	135	180	120	162	201	205

1) Vorläufige Werte.

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt.

Einen Überblick über die prozessbedingten Emissionen in Hessen gibt Tabelle 6. Im Jahr 2016 wurden insgesamt 614 000 t CO<sub>2</sub> ausgestoßen.

**Abbildung 8 Entwicklung der prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016**



Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; Werte für 2016 vorläufig.

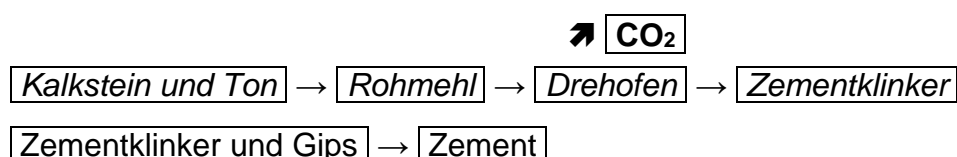
Zu Beginn der Berichterstattung wurden bei Herstellungsprozessen insgesamt 1,0 Mill. t CO<sub>2</sub> freigesetzt. Bis 1997 verminderten sich die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen kontinuierlich, um dann in den folgenden drei Jahren zwischenzeitlich wieder bis in die Nähe des Ausgangsniveaus anzusteigen. Seit 2001 gehen die Emissionsmengen aus Produktionsprozessen langfristig gesehen deutlich zurück, was insbesondere auf eine gesunkene Produktion in der Zementklinkerherstellung zurückzuführen ist (Abbildung 8). Gegenüber dem Basisjahr 1990 sanken die prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen 2016 um insgesamt 39,8 %. Im Vergleich zu 2015 stiegen sie allerdings um 4,0 %.

## 2.2 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Zementklinker

Bei der Herstellung von Zementklinker wird aus den Rohstoffen Kalkstein und Ton Rohmehl gemahlen, welches anschließend im Drehofen gebrannt wird. Durch chemische Umwandlung, sogenannte Sinterung, entstehen die Zementklinker. Die CO<sub>2</sub>-Freisetzung findet bei der Entsäuerung des Kalksteins statt (Abbildung 9).

Zementklinker und Rohgips sind die Ausgangsstoffe zur Herstellung von Zement, bei der selbst kein CO<sub>2</sub> emittiert wird. Zurzeit besteht die produzierte Zementmenge jedoch zum Großteil aus Zementklinker, dessen Herstellung emissionsrelevant ist, wobei dieser Anteil langfristig gesehen leicht zurückgehen wird. Für die Bewertung der Emissionen dieses Herstellungsprozesses wurde der einheitliche Emissionsfaktor für die deutschen Emissionen aus dem Nationalen Inventarbericht angesetzt.

**Abbildung 9 Schematische Darstellung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Zementklinkerherstellung**



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Die Herstellung von Zement ist der bedeutendste Industrieprozess für die prozessbedingte Emissionsbetrachtung in Hessen. Bis einschließlich 2009 waren durchschnittlich 78,2 % der rohstoffverursachten CO<sub>2</sub>-Freisetzung diesem Industrieprozess zuzuordnen. 2011 fiel dieser Anteil auf 55,6 % und verbleibt seitdem auf diesem Niveau (53,8 % im Jahr 2016).

In Hessen belief sich der absolute CO<sub>2</sub>-Ausstoß aus der Zementklinkerproduktion im Jahr 2016 auf 330 000 t. Das waren 20 600 t mehr als 2015. Gegenüber dem Basisjahr 1990 reduzierte sich die emittierte CO<sub>2</sub>-Menge um 61,8 %.

Der hessische Anteil an den gesamten rohstoffbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Zementindustrie in Deutschland ist seit einigen Jahren rückläufig. Im Jahr 2009 lag er noch bei 4,2 %, 2016 nur noch bei 2,6 %.

## 2.3 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Kalk

Ein weiterer gewichtiger Industrieprozess bei der Entstehung prozessbedingter Emissionen in Hessen ist die Herstellung von Kalk. Hierzu wird Kalkstein zerkleinert und im Drehofen gebrannt. Bei diesem Prozess wird CO<sub>2</sub> freigesetzt. Beim anschließenden Löschen mit Wasser zerfällt der Kalkstein zu Kalkpulver (Abbildung 10).

**Abbildung 10 Schematische Darstellung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Kalkherstellung**



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Bis einschließlich 2009 entstanden durchschnittlich 20,4 % der rohstoffverursachten CO<sub>2</sub>-Freisetzung in Hessen bei der Kalkherstellung. Bis zum Jahr 2016 erhöhte sich der Anteil auf 45,5 %.

In den 1990er-Jahren nahmen die Emissionen zunächst zu und erreichten mit 245 000 t im Jahr 2000 ihren zwischenzeitlichen Höchstwert. Im folgenden Jahrzehnt schwankte die ausgestoßene CO<sub>2</sub>-Menge in Abhängigkeit von den Produktionsmengen. Im Jahr 2016 lag der CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Hessen bei 280 000 t und damit etwa 5 200 t höher als 2015, jedoch 17 100 t unter dem Höchstwert aus dem Jahr 2013 (296 700 t). Gegenüber dem Basisjahr 1990 stieg die Emissionsmenge um 105,0 %.

Der hessische Anteil an den gesamten rohstoffbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der deutschen Kalkindustrie unterlag bis zum Jahr 2009 nur geringfügigen Schwankungen. Seit 2010 liegt er kontinuierlich über 4,5 % und erreichte im Jahr 2013 sogar 6,2 %. 2016 lag er bei 5,7 %.

## 2.4 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Glas

Zur Herstellung von Glas werden die Rohstoffe Kalk, Sand, Soda und weitere Zusatzstoffe sowie Glasscherben gemischt und in einer Schmelzwanne geschmolzen. Das flüssige Glas wird entsprechend des jeweiligen Produktionsprofils zu weiteren Produkten verarbeitet. Die CO<sub>2</sub>-Freisetzung findet während des Schmelzprozesses statt (Abbildung 11).

**Abbildung 11 Schematische Darstellung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Glasherstellung**



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

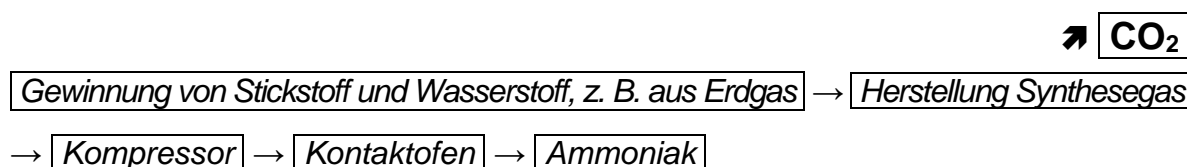
Glasbruch, der mit eingeschmolzen wird, erzeugt kein CO<sub>2</sub>. Für die Berechnungen des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes werden deshalb nur emissionsrelevante Rohstoffeinsatzmengen herangezogen. In Hessen spielen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Glasherstellungsprozessen nur eine untergeordnete Rolle. Hauptsächlich wird „fertiges“ Glas weiterverarbeitet bzw. Altglas recycelt.

Wegen der notwendigen statistischen Geheimhaltung im Falle von Einzelangaben können die ermittelten Werte nicht im Einzelnen ausgewiesen werden. Die bei der Glasherstellung emittierten CO<sub>2</sub>-Mengen wurden jedoch in der Summe der prozessbedingten Emissionen berücksichtigt. Die für das Berechnungsverfahren benötigten Rohstoffeinsatzmengen liegen erst ab dem Jahr 2003 vor, sodass für die Bezugsjahre 1995 und 2000 anhand der Produktionszahlen Annahmen bezüglich der Rohstoffeinsatzmengen getroffen werden mussten.

## 2.5 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Ammoniak

Ammoniak wird als chemisches Zwischenprodukt vorwiegend für die Herstellung von Düngemittel genutzt, Ammoniakwasser findet überwiegend als Reinigungsmittel Anwendung. Ammoniak ist eine chemische Verbindung aus Stickstoff und Wasserstoff. Die CO<sub>2</sub>-Freisetzung findet bei der Herstellung des Synthesegases für die Ammoniakproduktion statt (Abbildung 12).

**Abbildung 12 Schematische Darstellung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Ammoniakherstellung**



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind abhängig von Menge und Zusammensetzung der Einsatzstoffe. Man kann davon ausgehen, dass der gesamte Kohlenstoff in CO<sub>2</sub> umgewandelt und in die Luft emittiert wird.

Ebenso wie bei der Glasherstellung fallen in Hessen jedoch kaum CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Ammoniakproduktion an. Die Produktion setzte in Hessen erst im Jahr 2001 ein. Wegen der notwendigen statistischen Geheimhaltung im Falle von Einzelangaben können die ermittelten Werte nicht im Einzelnen ausgewiesen werden, sie wurden jedoch in der Summe der prozessbedingten Emissionen berücksichtigt.

## 2.6 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Mauer- und Dachziegeln

Prozessbedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen der keramischen Industrie wurden bisher nur bei Mauer- und Dachziegeln ermittelt.<sup>6</sup> Rohstoff für die Herstellung von Mauer- und Dachziegeln sind in der Regel lokal vorhandene Lehme und Tone, die unterschiedliche Anteile an Kalkstein enthalten. Zur Ziegelherstellung werden dem Rohmaterial organische Porosierungsmittel beigemischt, die beim Brennen der Ziegel verbrennen und so gezielt Hohlräume hinterlassen und CO<sub>2</sub> freisetzen (Abbildung 13). Als Porosierungsmittel kommen vorwiegend erneuerbare Ressourcen (z. B. Schlämme aus der Papierindustrie, Ablaugen aus der Zellstoffgewinnung), in geringen Mengen aber auch nicht erneuerbare Stoffe (vor allem Polystyrol) zum Einsatz.

**Abbildung 13 Schematische Darstellung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Ziegelherstellung**



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

In Hessen findet nach einer mehrjährigen Unterbrechung seit 2013 wieder eine Ziegelherstellung statt, die jedoch nur geringe Mengen CO<sub>2</sub> verursacht. Wegen der notwendigen statistischen Geheimhaltung im Falle von Einzelangaben können die ermittelten Werte nicht im Einzelnen ausgewiesen werden, sie wurden jedoch in der Summe der prozessbedingten Emissionen berücksichtigt.

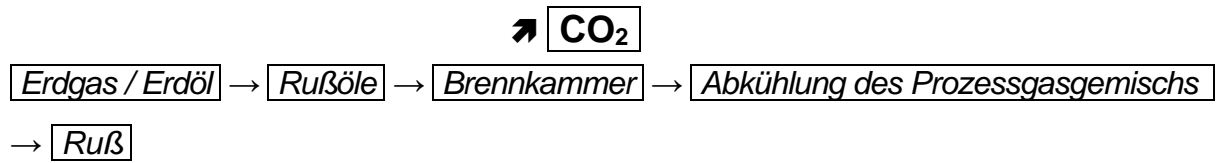
## 2.7 Prozessbedingte Kohlendioxidemissionen bei der Herstellung von Ruß (Industrieruß)

Ruß ist ein wichtiges technisches Produkt (Industrieruß), das durch unvollständige Verbrennung oder Pyrolyse von Kohlenwasserstoffen in großen Mengen hergestellt werden kann.

Bei dem mit Abstand wichtigsten Herstellungsverfahren für Industrieruß, das für 98 % der weltweiten Produktion eingesetzt wird, wird in einer Brennkammer ein Heißgas von 1200 bis 1800 °C durch Erdgas- oder Ölverbrennung erzeugt. In dieses Heißgas wird dann ein Rußrohstoff, meist aromatenreiche kohle- und erdölstämmige Ruß-Öle, eingedüst. Durch unvollkommene Verbrennung und thermische Spaltung (Pyrolyse) des Rußrohstoffs wird der Ruß gebildet. In diesem Verfahrensschritt werden CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht (Abbildung 14).

<sup>6</sup> Im NIR 2018 wurden erstmals nicht nur Produktionszahlen für Ziegel, sondern auch für andere keramische Produkte verwendet. Außerdem wurden die zugrundeliegenden Emissionsfaktoren überarbeitet. Das Hessische Statistische Landesamt arbeitet derzeit an einer Berechnungsvorschrift, um diese Methodik auf Länderebene umzusetzen. Aktuell erfolgt die Berechnung der prozessbedingten Kohlendioxidemissionen in diesem Segment auf der bisherigen Berechnungsvorlage gemäß NIR 2017. Die Emissionsfaktoren wurden daher analog zu diesem fortgeschrieben.

**Abbildung 14 Schematische Darstellung der CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Rußherstellung**



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Ausschlaggebend für die CO<sub>2</sub>-Emissionen sind die Produktionsmengen. Die in Hessen produzierten Industrierußmengen waren bis 2015 sehr gering, sodass dadurch kaum CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht wurden. Für das Jahr 2016 existieren keine prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Rußherstellung, da die Produktion des letzten hessischen Herstellers mittlerweile stillgelegt wurde.

Wegen der notwendigen statistischen Geheimhaltung im Falle von Einzelangaben können die bis dahin ermittelten Werte nicht im Einzelnen ausgewiesen werden, sie wurden jedoch in der Summe der prozessbedingten Emissionen berücksichtigt.

### **3 Methanemissionen**

#### **3.1 Methode zur Ermittlung der Methanemissionen und Berechnungsstand**

Methan ( $\text{CH}_4$ ) ist ein unmittelbar klimawirksames Spurengas, welches zur Erwärmung der Erdatmosphäre beiträgt. Es wirkt auch indirekt als Vorläufersubstanz auf den Ozonabbau in der Stratosphäre. Daneben trägt es unter bestimmten Voraussetzungen ebenfalls zum Anstieg der Ozonkonzentration in der Troposphäre bei.

Während der 2000er Jahre gingen zwischen 35 und 50 % der weltweiten Methanemissionen auf natürliche Quellen zurück. Die wichtigste natürliche Quelle bilden Feuchtgebiete, vor allem in den Tropen und den borealen Breiten, aus denen etwa 70 % aller natürlichen Methanemissionen stammten (IPCC 2013). Die übrigen Methanemissionen resultierten aus anthropogenen Quellen, v. a. aus der Viehzucht von Wiederkäuern und aus dem Nassreisanbau. Darüber hinaus spielten die Gewinnung und der Transport von Gas, der Kohlebergbau sowie die Abfalldeponierung eine wichtige Rolle.

Die Tierhaltung verursacht nach Schätzungen der Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen weltweit direkt oder indirekt etwa 40 % aller Methanemissionen. Für den Nassreisanbau wird ein Anteil von 10 bis 25 % an den weltweiten Methanemissionen angesetzt (IPCC 2007). In Deutschland trugen die Methanemissionen 2016 zu 6,0 % zu den Treibhausgasfreisetzungen bei (ausgedrückt in  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten und ohne Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft).

Für die Berechnungen der Methanemissionen in der hessischen Treibhausgasbilanz werden die genannten anthropogenen Quellen weitgehend berücksichtigt. Die Darstellung erfolgt für die Sektoren:

- Verkehr,
- Feuerungsanlagen,
- Energiegewinnung und -verteilung,
- Abwasserbeseitigung,
- Abfallentsorgung,
- Landwirtschaft,
- Produktionsprozesse und Produktanwendungen.

In der letzten Treibhausgasbilanz wurden für das Bilanzjahr 2015 Schätzungen der Methanemissionen durch das Hessische Statistische Landesamt durchgeführt, da zum damaligen Zeitpunkt keine aktuellen länderscharfen Daten verfügbar waren. Aufgrund einer Optimierung der Berechnungsprozesse konnten die Methanemissionen für das Bilanzjahr 2016 wieder im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder nach der dort festgelegten und für alle Bundesländer einheitlichen Methode berechnet werden. Der gegenwärtige Berechnungsstand basiert auf den methodischen Festlegungen des Nationalen Inventarberichts 2018.

Es ist zu beachten, dass einige Emissionssektoren laufend neu bewertet werden. Das gilt insbesondere für die Landwirtschaft, die Abfallentsorgung und die Abwasserbeseitigung. Dies wirkt sich nicht nur auf das aktuelle Bilanzjahr aus, auch die ge-

samte ausgewiesene Zeitreihe (bis zum Basisjahr 1990) kann deshalb Abweichungen im Vergleich zu vorangegangenen Berichten der hessischen Treibhausgasbilanz aufweisen.

Im Gegensatz zur Methodik bei den energiebedingten Kohlendioxidemissionen werden biogene Energieträger bei der Berechnung der Methanemissionen berücksichtigt. Das bedeutet, dass durch ihre Nutzung freigesetztes CH<sub>4</sub> in die Emissionsbilanzierung eingeht. Seit dem Bilanzjahr 2015 werden dazu für biogene Energieträger spezifische Emissionsfaktoren verwendet. Für die einzelnen Emissionssektoren gelten dabei die folgenden methodischen Festsetzungen<sup>7</sup>:

*Verkehr:* Im Verkehrssektor werden Straßenverkehr, Bahn- und Schiffsverkehr, Off-road-Verkehr sowie der nationale Flugverkehr berücksichtigt. Die Methanemissionen des Straßenverkehrs werden auf Grundlage von Kraftfahrzeugbeständen, Ergebnissen der Verkehrszählungen und den daraus berechneten Jahresfahrleistungen für einzelne Fahrzeugarten und Straßenkategorien ermittelt. Dabei wird auf Daten der Bundesanstalt für Straßenwesen und des Kraftfahrtbundesamts zurückgegriffen. Für die Bereiche des sonstigen Verkehrs werden die Kraftstoffverbrauchsmengen aus der Energiebilanz, beim Luftverkehr zusätzlich dazu die Flugbewegungen herangezogen. Bei letzterem geht (wie bei CO<sub>2</sub>) nur der nationale Anteil in die Berechnungen ein. Die Emissionsbewertung erfolgt anhand spezifischer Emissionsfaktoren aus der Datenbank des Umweltbundesamts.

*Feuerungsanlagen:* Hier werden Wärmekraftwerke und Fernheizwerke der allgemeinen Versorgung sowie der Industrie und des Weiteren Feuerungsanlagen von Haushalten und Kleinverbrauchern (Gewerbe, Handel und Dienstleistungen) einbezogen. Dazu werden die Energieeinsatzmengen dieser Sektoren mit spezifischen Emissionsfaktoren aus dem Nationalen Inventarbericht bewertet. Seit dem Bilanzjahr 2015 werden tiefer gegliederte Energiebilanzen (gilt sowohl für Wirtschaftszweige als auch Energieträger) verwendet, was die Genauigkeit der Ergebnisse erhöht. Die Datengrundlage hierfür bildet die vorläufige Energiebilanz des Landes Hessen für das Jahr 2016.

*Energiegewinnung und -verteilung:* Da in Hessen keine Gewinnung von Primärenergieträgern stattfindet, gehen bei dieser Position nur diffuse Emissionen aus dem Gasumschlag und der Aufbereitung des Gases für die Endverbraucher ein. Die bei der Gasverteilung entstehenden Emissionen werden aus Verbrauchskennzahlen sowie aus der Gasnetzlänge berechnet. Zur Anwendung kommen Emissionsfaktoren, die das Umweltbundesamt bereitstellt. Die Länge und Art des Gasnetzes sowie die Anzahl der angeschlossenen Haushalte basiert auf Verbandsdaten. Die aktuelle Berechnungsvorschrift wurde für Hessen mit Gasnetzinformationen aus dem Jahr 2015 durchgeführt, allerdings sollten im Vergleich zu 2016 keine großen Unterschiede existieren.

*Abwasserbeseitigung:* Die auf Bundesebene vollzogenen methodischen Weiterentwicklungen bezüglich der Methanemissionen aus der Abwasserbeseitigung wurden auch in den Berechnungen der UGRdL übernommen. Neben Emissionen aus ab-

<sup>7</sup> Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Rechenbereiche und verwendeten Datenquellen kann – auch für die Berechnung der Lachgasemissionen – in der Methodendokumentation des Arbeitskreises Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder unter [www.ugrdl.de](http://www.ugrdl.de) eingesehen werden.

flusslosen Gruben werden ebenso jene aus kommunalen Kläranlagen einbezogen. Auch die Berechnung der Methanemissionen aus der kommunalen und industriellen Abwasserbehandlung wurde durch die UGRdL an die Methodik des Nationalen Inventarberichts angepasst. Daraus resultierende Neuberechnungen wurden für alle Bilanzjahre durchgeführt.

*Abfallentsorgung:* Einbezogen werden Deponien, Kompostierungs- und mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlagen sowie Vergärungsanlagen. Die in der aktuellen Version des NIR ausgewiesenen Mengen werden hierbei anhand der Abfall- bzw. Inputmengen auf die Bundesländer verteilt. Die Vergärung dient der Biogasgewinnung, wodurch ein Großteil des Biogases energetisch verwertet und nur ein geringer Teil direkt an der Vergärungsanlage abgefackelt wird. Diese Gasmengen werden an der Anlage statistisch erfasst und mit dem Emissionsfaktor zur Ermittlung der Methanfreisetzung gewichtet. Trotz einer gemeinsamen Vergärung von Wirtschaftsdünger und Energiepflanzen erfolgt der Ausweis der Emissionen getrennt im Bereich Landwirtschaft für Wirtschaftsdünger und im Bereich Abfallentsorgung für Energiepflanzen (Haenel, Rösemann et al. 2016: 56f und 66f).

*Landwirtschaft:* Der Sektor bildet die direkten und indirekten Emissionen aus der Tierhaltung ab. Seit dem Bilanzjahr 2013 werden die Methanemissionen aus der Vergärung von Wirtschaftsdünger in die Berechnung einbezogen. Die UGRdL übernimmt für den gesamten Betrachtungszeitraum die Berechnungsergebnisse, die das Johann Heinrich von Thünen-Institut für den Nationalen Inventarbericht erstellt hat und ergänzt diese teilweise um weitere amtliche Daten. Die ausgewiesenen Deutschlandwerte stammen aus den Nationalen Trendtabellen des Umweltbundesamts (UBA 2018b).

*Prozesse und Produktanwendungen:* In diesem Sektor werden die Emissionen relevanter Produktionsmengen aus dem Nationalen Inventarbericht anhand der Produktions- bzw. Bevölkerungsstatistik auf die Bundesländer verteilt. Mit Umsetzung der IPCC Guidelines 2006 wurden im Bilanzjahr 2013 erstmals Emissionen durch petrochemische Prozesse und aus der Verwendung von Holzkohle berechnet.

### 3.2 Die Methanemissionen im Einzelnen

Im Jahr 2016 wurden in Hessen 85 400 t Methan emittiert. Seit 1990 haben sich die Methanemissionen kontinuierlich vermindert und sind damit im Vergleich zum Basisjahr um 61,7 % gesunken (Tabelle 7). Auf Bundesebene reduzierten sie sich etwas weniger stark: Hier lagen die Methanemissionen im Jahr 2016 um 54,7 % unter denen von 1990.

Bezogen auf die Bevölkerung resultieren daraus für 2016 pro Einwohner in Hessen 13,8 kg CH<sub>4</sub>-Emissionen. Hier ging die Menge im Untersuchungszeitraum um 64,6 % zurück. Jeder hessische Einwohner emittierte damit nur 52,2 % der durchschnittlichen CH<sub>4</sub>-Emissionen auf Bundesebene. Zudem hat sich hier die hessische Position seit 1990 wesentlich verbessert. 1990 lag der hessische Pro-Kopf-Ausstoß nur 35,7 % unter dem Deutschlandwert.

**Tabelle 7 Methanemissionen in Hessen und in Deutschland von 1990 bis 2016**

Gebiet	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>	1990/2016
CH <sub>4</sub> -Emissionen <sup>2)</sup> in t								Veränderungen in %
Hessen	222 906	198 316	150 522	116 053	97 442	87 861	85 405	– 61,7
Deutschland	4 809 068	4 197 234	3 507 135	2 734 265	2 325 754	2 224 088	2 176 104	– 54,7
Deutschland = 100								
Hessen	4,6	4,7	4,3	4,2	4,2	4,0	3,9	
CH <sub>4</sub> -Emissionen <sup>2)</sup> je Einwohner in kg								Veränderungen in %
Hessen	39,0	33,2	25,0	19,3	16,3	14,3	13,8	– 64,6
Deutschland	60,6	51,6	43,1	33,6	29,0	27,2	26,4	– 56,4
Deutschland = 100								
Hessen	64,3	64,3	58,1	57,3	56,3	52,6	52,2	
1) Für Hessen vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr; ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.								

Quellen: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Umweltbundesamt, NIR 2018; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Tabelle 8 zeigt neben den Mengen auch die sektorale Struktur der hessischen Methanemissionen. Im Jahr 2016 kamen 41 600 t bzw. 48,7 % der Methanemissionen aus der Landwirtschaft. Innerhalb dieses Sektors entfielen 83,2 % auf die Viehhaltung (Fermentation bei der Verdauung). Der Rest entstand bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger und bei Vergärungsprozessen. Zweitwichtigster Sektor war mit knapp 25,8 % die Abfallentsorgung. 14,5 % der CH<sub>4</sub>-Emissionen resultierten darüber hinaus aus der Gasverteilung über Rohrleitungsnetze. Feuerungsanlagen machten zusätzlich 8,0 % aus. Alle anderen Sektoren waren von untergeordneter Bedeutung.

Die Anteile der einzelnen Sektoren an den gesamten Methanemissionen haben sich im Betrachtungszeitraum deutlich verschoben. Im Jahr 1990 wurden 58,9 % des Methans von Hausmülldeponien und Kompostierungsanlagen emittiert, während die landwirtschaftliche Tierhaltung nur für 28,1 % der Methanemissionen verantwortlich war. Seitdem hat eine deutliche Schwerpunktverlagerung stattgefunden. Zwischen 1990 und 2016 verminderten sich die Emissionen der relevanten Abfallentsorgungsanlagen um 83,2 % von 131 200 t auf 22 000 t. Ursächlich hierfür waren die zunehmende Sammlung von Bioabfällen und Wertstoffen sowie die getrennte Sammlung von Verpackungen und deren Verwertung. Außerdem kam es zu einer verstärkten Verbrennung von Siedlungsabfällen, zur Ausweitung der mechanisch-biologischen Behandlung von Restabfällen sowie zu einer besseren Fassung und Verwertung von Deponiegas. All dies hat zur Folge, dass sich die Ausgasung der deponierten Abfallmengen und die daraus resultierenden Methanemissionen stark reduziert haben.

Auch die landwirtschaftlichen Methanemissionen haben sich gegenüber 1990 reduziert, mit 33,6 % allerdings in erheblich geringerem Umfang. Die Emissionsminderung ergibt sich hier hauptsächlich aus der Verringerung der Tierbestände. Insbesondere bei Rindern, deren Verdauungsprozesse für einen Großteil der landwirtschaftlichen Methanemissionen verantwortlich sind, ging der Bestand in Hessen

seit 1990 um mehr als ein Drittel zurück. Der Methanaustrag bei der Gewinnung und Verteilung von Brennstoffen lag 2016 um 5 600 t unter dem Wert des Basisjahres 1990. Aufgrund der strukturellen Veränderungen der Emissionssektoren hat sich der Anteil des Sektors an den Gesamtemissionen trotz dieser Reduzierung der absoluten Menge im Beobachtungszeitraum um 6,5 Prozentpunkte erhöht (Abbildung 15).

**Tabelle 8      Entwicklung der Methanemissionen in Hessen von 1990 bis 2016**

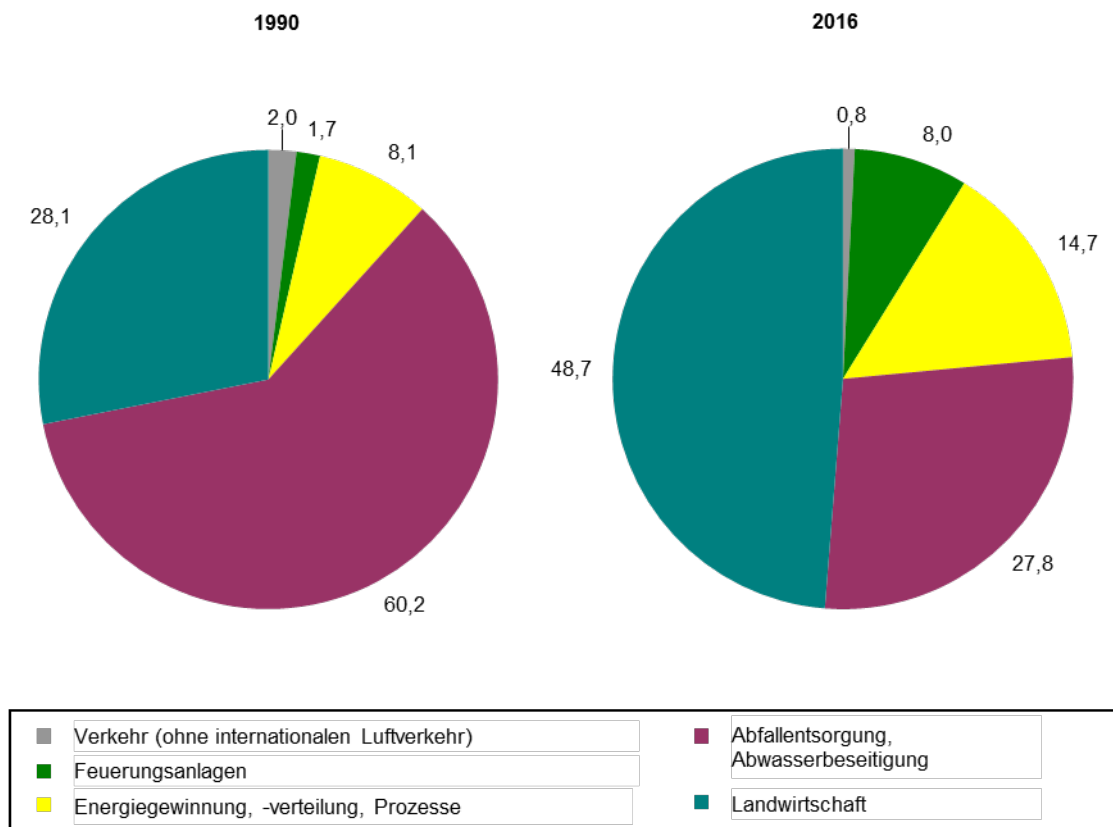
Emissionssektor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>
CH <sub>4</sub> -Emissionen in t							
Verkehr gesamt <sup>2)</sup>	4 386	2 639	1 605	1 000	788	841	698
Feuerungsanlagen	3 697	2 797	3 706	4 463	5 280	6 440	6 845
Energiegewinnung/-verteilung	17 975	17 421	14 380	13 790	13 577	11 911	12 422
Abwasserbeseitigung	2 955	1 619	2 176	2 160	1 920	1 741	1 716
Abfallentsorgung	131 192	119 476	79 008	49 139	31 487	24 334	21 997
Landwirtschaft	62 688	54 331	49 585	45 424	44 284	42 481	41 626
Prozesse, Produktanwendungen	13	34	62	78	106	114	101
<b>Methanemissionen insgesamt<sup>3)</sup></b>	<b>222 906</b>	<b>198 316</b>	<b>150 522</b>	<b>116 053</b>	<b>97 442</b>	<b>87 861</b>	<b>85 405</b>
Struktur der CH <sub>4</sub> -Emissionen in %							
Verkehr gesamt <sup>2)</sup>	2,0	1,3	1,1	0,9	0,8	1,0	0,8
Feuerungsanlagen	1,7	1,4	2,5	3,8	5,4	7,3	8,0
Energiegewinnung/-verteilung	8,1	8,8	9,6	11,9	13,9	13,6	14,5
Abwasserbeseitigung	1,3	0,8	1,4	1,9	2,0	2,0	2,0
Abfallentsorgung	58,9	60,2	52,5	42,3	32,3	27,7	25,8
Landwirtschaft	28,1	27,4	32,9	39,1	45,4	48,3	48,7
Prozesse, Produktanwendungen	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
<b>Methanemissionen insgesamt<sup>3)</sup></b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Entwicklung der CH <sub>4</sub> -Emissionen 1990 = 100							
Verkehr gesamt <sup>2)</sup>	100	60	37	23	18	19	16
Feuerungsanlagen	100	76	100	121	143	174	185
Energiegewinnung/-verteilung	100	97	80	77	76	66	69
Abwasserbeseitigung	100	55	74	73	65	59	58
Abfallentsorgung	100	91	60	37	24	19	17
Landwirtschaft	100	87	79	72	71	68	66
Prozesse, Produktanwendungen	100	259	471	592	810	871	767
<b>Methanemissionen insgesamt<sup>3)</sup></b>	<b>100</b>	<b>89</b>	<b>68</b>	<b>52</b>	<b>44</b>	<b>39</b>	<b>38</b>
1) Vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr. – 3) Ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.							

Quellen: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

In der sektoralen Verteilung der Methanemissionen zeigen sich zwischen Hessen und Deutschland 2016 insgesamt nur wenige Unterschiede. Beim wichtigsten Emissionssektor, der Landwirtschaft, liegt der hessische Wert unter dem deutschen (58,7 %). Die hessischen Anteilswerte der Sektoren Energiegewinnung, Feuerungsanlagen und Gasverteilung entsprechen nahezu denen auf Bundesebene (22,3 %). In Hessen werden allerdings keine Energieträger gefördert, hier schlagen nur die Gasverteilung und Emissionen aus Feuerungsanlagen zu Buche sowie in ge-

ringem Maße die Umwandlungsprozesse bei der Gasbereitstellung. Die hessischen Emissionen aus dem Entsorgungsbereich (Abfallwirtschaft, Abwasserbeseitigung) haben dagegen eine größere Bedeutung als im Bund (17,7 %). Insbesondere der Beitrag der Hausmülldeponien war im gesamten Betrachtungszeitraum für Hessen höher.

**Abbildung 15 Entwicklung der Struktur der Methanemissionen in Hessen in den Jahren 1990 und 2016**



Quellen: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; vorläufige Werte für 2016.

## 4 Lachgasemissionen

### 4.1 Methode zur Ermittlung der Lachgasemissionen und Berechnungsstand

Distickstoffoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) oder Lachgas zählt ebenfalls zu den klimarelevanten Gasen. Mit durchschnittlich 114 Jahren hat Lachgas eine relativ hohe atmosphärische Verweilzeit und ein hohes Treibhauspotenzial. Lachgas setzt sich in der Stratosphäre mit dem dort vorhandenen Ozon zu Stickstoffmonoxid um und trägt so zum Ozonabbau bei. Die Lachgasemissionen trugen 2016 in Deutschland zu 4,2 % zu den Treibhausgasfreisetzungen bei (ausgedrückt in  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten und ohne Berücksichtigung von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft).

Die wichtigsten anthropogenen Emissionen ergeben sich hauptsächlich aus der Landwirtschaft (Viehhaltung, Düngemittel, Anbau von Hülsenfrüchten, Biomasserückstände) und in zweiter Linie bei ausgewählten industriellen Produktionsprozessen (Adipin- und Salpetersäureherstellung, Nylonproduktion), wenngleich in wesentlich geringerem Umfang. Außerdem setzen Verbrennungsprozesse z. B. in Heizkraftwerken und Heizwerken sowie in Fahrzeugen Lachgas frei. Im Gegensatz zur Methodik bei energiebedingten Kohlendioxidemissionen werden biogene Energieträger bei der Berechnung der Lachgasemissionen berücksichtigt. Ihr Verbrauch ist demnach emissionswirksam und wird wie bei den Methanemissionen erfasst.

Auch die Berechnungen der Lachgasemissionen erfolgen im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder nach der dort festgelegten einheitlichen Methode, bei der weitgehend analog zum Nationalen Inventarbericht vorgegangen wird. Der gegenwärtige Berechnungsstand basiert auf den Festlegungen des Nationalen Inventarberichts 2018. Durch methodische Anpassungen, die im Rahmen der abgestimmten Berechnung in einzelnen Emissionssektoren vorgenommen wurden, können die Werte der Zeitreihe gegenüber der Berichterstattung des Vorjahres abweichen.

Für die Sektoren „Verkehr“, „Feuerungsanlagen“, „Abwasserbeseitigung“, „Abfallentsorgung“ (hier nur Kompostierung bzw. Vergärungsanlagen) sowie „Landwirtschaft“ werden überwiegend die gleichen Datenquellen wie für die Berechnung der Methanemissionen herangezogen (siehe Abschnitt 3.1). Hierbei werden die spezifischen Emissionsfaktoren für Lachgas verwendet, im Sektor „Landwirtschaft“ fließen außerdem teilweise andere Subsektoren in die Bilanzierung ein. Für den Sektor „Energiegewinnung und Verteilung“ werden keine Lachgasemissionen ausgewiesen, im Sektor „Prozesse und Produktanwendungen“ stehen Emissionen aus der Narkosemittelproduktion im Vordergrund.

Im Verkehrssektor wurden im Zuge der diesjährigen Berechnung für alle Bilanzjahre ab 2004 aktualisierte Emissionsfaktoren für Linienbusse berücksichtigt, wodurch sich Änderungen in der Zeitreihe der Verkehrsemissionen ergeben. Im Sektor Abwasserbeseitigung wird es voraussichtlich zu Anpassungen kommen, sobald die Werte der Wasserstatistik für 2016 verfügbar sind. Aktuell werden die Werte hierfür, analog zur Berechnungsmethodik des UBA, extrapoliert. Veränderungen der Emissionsmengen zu Beginn des Betrachtungszeitraums sind hauptsächlich auf Neuberechnungen der Emissionen aus Kläranlagen zurückzuführen.

## 4.2 Die Lachgasemissionen im Einzelnen

Im Jahr 2016 wurden in Hessen 5 300 t Lachgas freigesetzt, das waren 1,9 % weniger als 2015, jedoch 31,3 % mehr gegenüber dem niedrigsten Stand im Jahr 2010 (Tabelle 9). Im Vergleich zum Basisjahr 1990 reduzierte sich der Lachgasausstoß 2016 um 2,5 %. Der hessische Anteil an den Lachgasemissionen Deutschlands lag 2016 bei 4,2 % und damit 0,8 Prozentpunkte über dem durchschnittlichen Wert im Betrachtungszeitraum. Dieser Anteil hat sich seit 1990 um 1,7 Prozentpunkte erhöht. Die Hauptmenge der hessischen Lachgasemissionen entfällt auf den Sektor Landwirtschaft und darin zum Großteil auf die Bodennutzung. Die auf Ebene der Bundesländer ausgewiesenen Werte für die dort verbuchte Verwendung von Stickstoffdünger spiegeln jedoch nur bedingt die tatsächlichen regional entstehenden Emissionen von Lachgas wider, da die tatsächliche Ausbringung auf den Feldern nicht abgebildet werden kann.

**Tabelle 9 Lachgasemissionen in Hessen und in Deutschland von 1990 bis 2016**

Gebiet	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>	1990/2016
N <sub>2</sub> O-Emissionen <sup>2)</sup> in t								Veränderungen in %
Hessen	5 433	5 179	5 263	4 397	4 033	5 401	5 296	– 2,5
Deutschland	218 285	205 662	144 586	145 331	122 820	130 231	127 343	– 41,7
Deutschland = 100								
Hessen	2,5	2,5	3,6	3,0	3,3	4,1	4,2	
N <sub>2</sub> O-Emissionen <sup>2)</sup> je Einwohner in kg								Veränderungen in %
Hessen	1,0	0,9	0,9	0,7	0,7	0,9	0,9	– 10,0
Deutschland	2,8	2,5	1,8	1,8	1,5	1,6	1,5	– 43,8
Deutschland = 100								
Hessen	34,5	34,3	49,3	40,9	44,2	55,2	55,3	
1) Für Hessen vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr; ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.								

Quellen: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Umweltbundesamt, NIR 2018; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

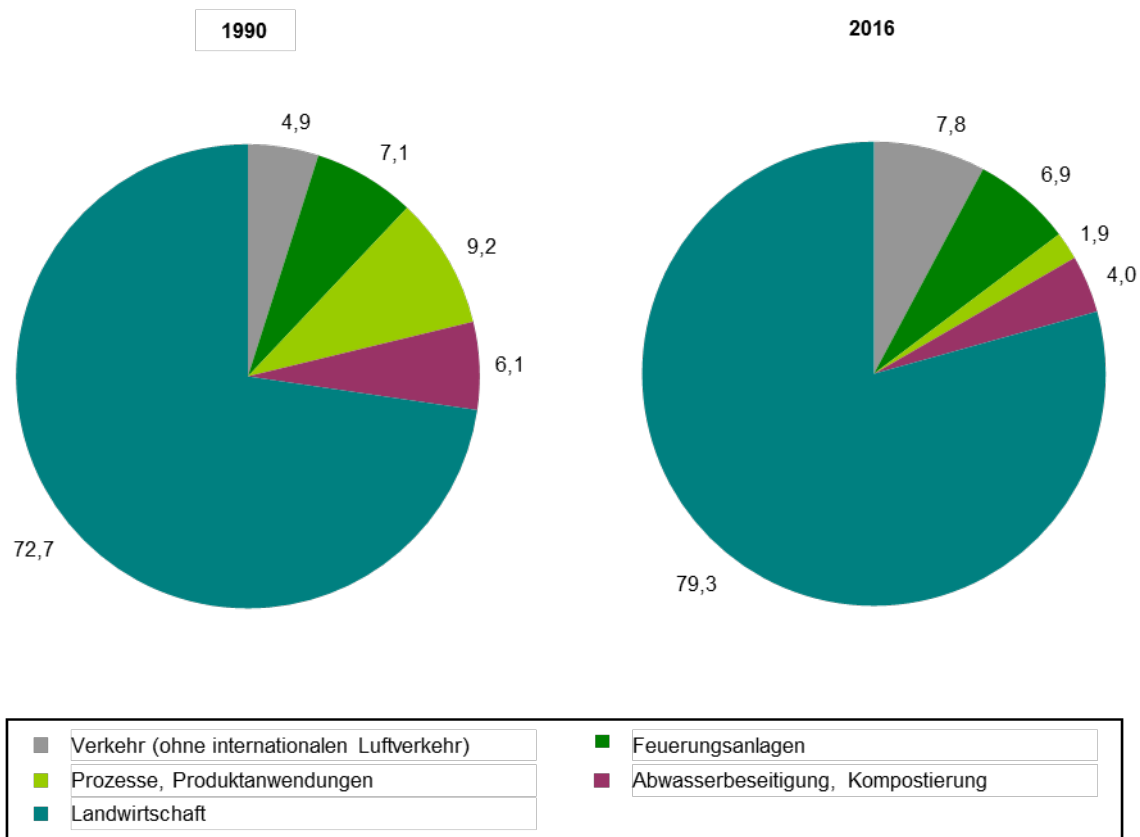
In Deutschland reduzierten sich die Lachgasemissionen im Jahr 2016 gegenüber 1990 um 41,7 %. Zwischen 2000 und 2009 pendelte der Ausstoß im Bundesgebiet zwischen 144 300 und 152 400 t, während er in den 1990er Jahren noch bei über 200 000 t gelegen hatte. Im Jahr 2010 war ein deutlicher Rückgang auf 122 800 t zu erkennen. Bestimmend für die Schwankungen war neben der Bodennutzung in der Landwirtschaft die konjunkturelle Entwicklung in der chemischen Industrie. Insgesamt ist die chemische Industrie auf Bundesebene am deutlichsten für die Emissionsminderung verantwortlich. Im Jahr 2016 lag der N<sub>2</sub>O-Ausstoß hier 96,9 % unter dem von 1990.

Jedem hessischen Einwohner waren 2016 Lachgasemissionen in Höhe von 0,9 kg zuzurechnen, dieser Wert lag 10,0 % unter dem des Basisjahres 1990. In Deutschland entfielen 2016 auf jeden Einwohner 1,5 kg N<sub>2</sub>O. Der Pro-Kopf-Lachgasausstoß

hat sich hier parallel zur Entwicklung der Gesamtmenge um 43,8 % vermindert. Dennoch war der Lachgasausstoß pro Kopf im Jahr 2016 auf Bundesebene 80,9 % höher als in Hessen.

Die sektorale Struktur blieb seit 1990 im Wesentlichen gleich, einzig im Bereich Prozesse und Produktanwendungen kam es sowohl relativ als auch absolut zu einem starken Rückgang (Abbildung 16).

**Abbildung 16 Entwicklung der Struktur der Lachgasemissionen in Hessen in den Jahren 1990 und 2016**



Quellen: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamtes; vorläufige Werte für 2016.

Im Jahr 1990 trug die Landwirtschaft 72,7 % zu den gesamten Lachgasemissionen bei. Industrielle Prozesse machten 9,2 % aus, dahinter folgten die Feuerungsanlagen mit 7,1 % und der Verkehrssektor mit 4,9 %. Abwasserbeseitigung und Kompostierung kamen zusammen auf 6,1 %. Im Zeitverlauf erlangten die landwirtschaftlichen Emissionen in Hessen wie im Bund anteilig immer größere Bedeutung. Im Jahr 2016 lag der Emissionsanteil der Landwirtschaft in Hessen bei 79,3 %.

Die hessischen Lachgasemissionen gingen nach 1990 zunächst zurück und erreichten im Jahr 2010 ihr bisheriges Minimum. Seit 2011 zeichnet sich wieder eine gegenläufige Entwicklung ab, die vor allem durch steigende Emissionen im Landwirtschaftssektor beeinflusst wird. Im Jahr 2016 verzeichnete Hessen insgesamt jedoch einen leichten Rückgang der Lachgasemissionen um 1,9 % gegenüber 2015 (Tabelle 10).

**Tabelle 10      Entwicklung der Lachgasemissionen in Hessen von 1990 bis 2016**

Emissionssektor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>
	N <sub>2</sub> O-Emissionen in t						
Verkehr gesamt <sup>2)</sup>	268	595	480	273	347	402	414
Feuerungsanlagen	387	393	351	368	384	350	367
Abwasserbeseitigung/Kompostierung	332	327	254	214	207	211	212
Landwirtschaft	3 948	3 457	3 870	3 396	2 978	4 338	4 202
<i>darunter</i>							
<i>Bodennutzung</i>	3 231	2 834	3 294	2 836	2 420	3 812	3 683
<i>Wirtschaftsdüngermanagement</i>	717	623	574	556	541	509	501
Prozesse, Produktanwendungen	498	408	309	147	117	99	102
<b>Lachgasemissionen insgesamt<sup>3)</sup></b>	<b>5 433</b>	<b>5 179</b>	<b>5 263</b>	<b>4 397</b>	<b>4 033</b>	<b>5 401</b>	<b>5 296</b>
	Struktur der N <sub>2</sub> O-Emissionen in %						
Verkehr gesamt <sup>2)</sup>	4,9	11,5	9,1	6,2	8,6	7,4	7,8
Feuerungsanlagen	7,1	7,6	6,7	8,4	9,5	6,5	6,9
Abwasserbeseitigung/Kompostierung	6,1	6,3	4,8	4,9	5,1	3,9	4,0
Landwirtschaft	72,7	66,8	73,5	77,2	73,8	80,3	79,3
<i>darunter</i>							
<i>Bodennutzung</i>	59,5	54,7	62,6	64,5	60,0	70,6	69,5
<i>Wirtschaftsdüngermanagement</i>	13,2	12,0	10,9	12,6	13,4	9,4	9,5
Prozesse, Produktanwendungen	9,2	7,9	5,9	3,3	2,9	1,8	1,9
<b>Lachgasemissionen insgesamt<sup>3)</sup></b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
	Entwicklung der N <sub>2</sub> O-Emissionen 1990 = 100						
Verkehr gesamt <sup>2)</sup>	100	222	179	102	130	150	155
Feuerungsanlagen	100	101	91	95	99	90	95
Abwasserbeseitigung/Kompostierung	100	99	77	65	62	64	64
Landwirtschaft	100	88	98	86	75	110	106
<i>darunter</i>							
<i>Bodennutzung</i>	100	88	102	88	75	118	114
<i>Wirtschaftsdüngermanagement</i>	100	87	80	78	75	71	70
Prozesse, Produktanwendungen	100	82	62	30	24	20	21
<b>Lachgasemissionen insgesamt<sup>3)</sup></b>	<b>100</b>	<b>95</b>	<b>97</b>	<b>81</b>	<b>74</b>	<b>99</b>	<b>97</b>
1) Vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr. – 3) Ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.							

Quellen: Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

## 5 Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)

In der letzten hessischen Treibhausgasbilanz wurde erstmalig auch der Sektor „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (LULUCF) berichtet. Da auf internationaler Ebene noch keine verbindliche Übereinkunft über die Verrechnung der Nettoemissionen des Berichtssektors LULUCF mit den Emissionen der anderen Sektoren besteht, erfolgte die Ausweisung nur nachrichtlich, d. h. die in diesem Sektor anfallenden Treibhausgasemissionen oder -senken gingen nicht in die hessische Gesamtbilanz ein.

Die Emissionen des LULUCF-Sektors in Hessen werden im Zuge der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder bereitgestellt, die wiederum die Daten des Johann Heinrich von Thünen-Instituts übernehmen. Durch methodische Anpassungen des Thünen-Instituts im Rahmen des NIR 2018 liegen zum jetzigen Zeitpunkt für 2016 die Emissionsdaten für Gesamtdeutschland, jedoch nicht für einzelne Bundesländer vor. Analog zur letzten hessischen Treibhausgasbilanz werden daher vorerst die Werte bis zum Jahr 2015 ausgewiesen, eine Aktualisierung mit den Zahlen für 2016 erfolgt, sobald diese verfügbar sind.

Tabelle 11 zeigt die Emissionsmengen des LULUCF-Sektors für Hessen zwischen 1990 und 2015, aufgeschlüsselt nach den drei berichteten Treibhausgasen und ausgewiesen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Die Summenpositionen setzen sich zusammen aus den Emissionen in den fünf Unterkategorien Wälder, Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen. Eine Ausweisung nach diesen Unterkategorien ist aufgrund statistischer Unsicherheiten in der aktuell verwendeten Methodik nicht möglich.

**Tabelle 11 Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft in Hessen von 1990 bis 2015**

Treibhausgas	1990	1995	2000	2005	2010	2014	2015 <sup>1)</sup>
Emissionen in 1000 t CO <sub>2</sub> -Äquivalenten							
Kohlendioxid	- 5 743	- 5 784	- 5 828	- 3 116	- 4 258	- 4 383	- 4 380
Methan	2	2	2	2	2	2	2
Lachgas	23	22	21	18	21	23	24
<b>Insgesamt</b>	<b>- 5 718</b>	<b>- 5 760</b>	<b>- 5 805</b>	<b>- 3 095</b>	<b>- 4 235</b>	<b>- 4 357</b>	<b>- 4 354</b>
1) Vorläufige Werte.							

Quelle: Thünen-Institut.

Im Jahr 2015 lagen die Emissionen aus dem LULUCF-Sektor bei – 4,35 Mill. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, d. h. der gesamte Sektor fungierte als Treibhausgassenke. Dies wurde hauptsächlich durch die negative Emissionsmenge von CO<sub>2</sub> in Höhe von 4,38 Mill. t bestimmt. Dagegen gingen die Methan- und Lachgasemissionen mit geringen positiven Emissionsmengen in das Inventar ein – sie lagen im Jahr 2015 bei 2 000 t bzw. 24 000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

In erster Linie verantwortlich für die gebundenen Mengen CO<sub>2</sub> waren die hessischen Waldflächen. Aber auch Grünland trug einen Teil als Treibhausgassenke bei. Dagegen fungierten die Unterkategorien Ackerland, Feuchtgebiete und Siedlungen als

Emissionsquellen. Für die Treibhausgase Methan und Lachgas kam es in allen Unterkategorien zu positiven Emissionen. Bei Methan resultierten diese aus Grünland. Lachgas wurde vor allem in Wäldern, Ackerland und Siedlungen emittiert.

Verglichen mit dem Basisjahr 1990 ging die Einbindung von Treibhausgasen 2015 um 23,8 % zurück. Hauptgrund hierfür ist eine geringere Senkenwirkung der hessischen Wälder aufgrund verstärkter wirtschaftlicher Nutzung. Im Jahr 1990 betrug die Einbindung von CO<sub>2</sub> in hessischen Wäldern noch 5,7 Mill. t CO<sub>2</sub>, für 2015 entspricht das einem Rückgang von 23,7 %. Die Methan- und Lachgasemissionen des LULUCF-Sektors blieben dagegen über den gesamten Betrachtungszeitraum fast unverändert (Methan: – 2,8 %; Lachgas: + 1,6 %).

## 6 Schlussbetrachtung

Die hessische Treibhausgasbilanz gibt einen Überblick über die Entwicklung und Struktur der Emissionen der mengenmäßig bedeutendsten Klimagase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) für das Bundesland Hessen. Dafür stehen seit 1990 Ergebnisse zur Verfügung. Für die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen – als Hauptquelle der klimawirksamen Emissionen – wurden die Energiebilanzen des Landes zugrunde gelegt. Die prozessbedingten Emissionen wurden anhand der Produktionszahlen ausgewählter Herstellungsprozesse berechnet. Bei den Treibhausgasen Methan und Lachgas wurden Emissionen der Landwirtschaft und der Abfallentsorgung sowie Emissionen aus Energieübertragungsprozessen, der Ausstoß des Verkehrs, der Abwasserbeseitigung und weiterer ausgewählter Quellen berücksichtigt.

Zwischen 1990 und 1996 stieg der energiebedingte CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Hessen zunächst merklich an, was unter anderem auf den wachsenden Energiesektor sowie steigende Verkehrszahlen zurückzuführen ist. Danach setzte eine rückläufige Emissionsentwicklung ein. Die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen lagen 2016 insgesamt 5,7 Mill. t unter denen des Basisjahres 1990, das entspricht einem Rückgang um 13,3 % (Tabelle 12).

**Tabelle 12      Entwicklung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2016 nach Sektoren (Auszug aus Tabelle 1)**

Emissionssektor	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>
	CO <sub>2</sub> -Emissionen in Mill. t						
Energieerzeugung/-umwandlung	6,9	9,5	9,8	9,5	9,6	7,4	8,1
Industrie	6,1	5,8	4,3	3,8	3,2	2,8	2,9
Verkehr <sup>2)</sup>	14,4	15,0	15,9	13,9	13,1	13,8	14,0
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen <sup>3)</sup>	15,3	16,7	14,6	15,1	12,7	11,6	11,9
<b>Energiebedingte Emissionen im Inland<sup>4)</sup></b>	<b>42,6</b>	<b>47,0</b>	<b>44,5</b>	<b>42,3</b>	<b>38,6</b>	<b>35,7</b>	<b>37,0</b>
<i>Nachrichtl.: Internationaler Luftverkehr<sup>5)</sup></i>	<i>7,9</i>	<i>9,5</i>	<i>11,6</i>	<i>12,3</i>	<i>11,8</i>	<i>13,2</i>	<i>13,4</i>
1) Vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr. – 3) Einschließlich militärischer Dienststellen. – 4) Ohne nichtenergetischen Verbrauch und ohne internationalen Luftverkehr. – 5) Internationaler Anteil am gesamten zivilen Luftverkehr.							

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Der Rückgang der absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionsmenge im Zeitraum 1990 bis 2016 führte in Hessen in Verbindung mit dem Anstieg der Zahl der Einwohner und des Bruttoinlandsprodukts zu einem deutlichen Rückgang der spezifischen Emissionen. Sie unterscheiden sich in ihrer Höhe zudem im Vergleich zu Deutschland sowohl pro Einwohner als auch bezogen auf das Bruttoinlandsprodukt oder den Primärenergieverbrauch:

- Die hessischen energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen waren im Jahr 2016 pro Einwohner 34,9 % niedriger als auf Bundesebene.
- Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) wurde in Hessen im Vergleich zu Deutschland im Jahr 2016 mit einem um 42,8 % niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß erwirtschaftet.
- Bei der CO<sub>2</sub>-Intensität des Primärenergieverbrauchs ist das Niveau abhängig davon, auf welche Weise der internationale Flugverkehr beim Primärenergie-

verbrauch zum Ansatz kommt. Im Jahr 2016 lag der hessische Wert bei vollständiger Einbeziehung aller Mineralölprodukte in den Primärenergieverbrauch 24,9 % unter dem von Deutschland. Ohne die Fluggastkraftstoffe für den internationalen Luftverkehr im Primärenergieverbrauch betrug die Differenz 7,8 %.

Um das Gesamtpotential der Emissionen für Hessen zu bewerten, werden die Emissionsdaten summarisch auf der Basis von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten dargestellt. Dabei werden die Methan- und Lachgasmengen mit dem „Global Warming Potential“ (GWP) entsprechend der Höhe ihres klimawirksamen Potentials gewichtet. Diese Größe bildet die mittlere Erwärmungswirkung des entsprechenden Stoffes in der Atmosphäre über einen bestimmten Zeitraum (meist mit einem Zeithorizont von 100 Jahren) ab. Bezogen wird der Wert auf die Klimawirksamkeit von CO<sub>2</sub>, welches als Referenzsubstanz gilt.

Die Gewichtungsfaktoren werden jeweils in den IPCC-Guidelines veröffentlicht. Es wurden die Faktoren der revidierten Version von 2006 (IPCC 2006) verwendet, die auch dem Berechnungsstand im Rahmen der Nationalen Inventarberichterstattung und der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen entsprechen. Die nachstehende Tabelle 13 zeigt neben den jeweiligen GWP-Werten die Emissionsmengen für Hessen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

**Tabelle 13      Entwicklung der Emissionen in Hessen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten von 1990 bis 2016**

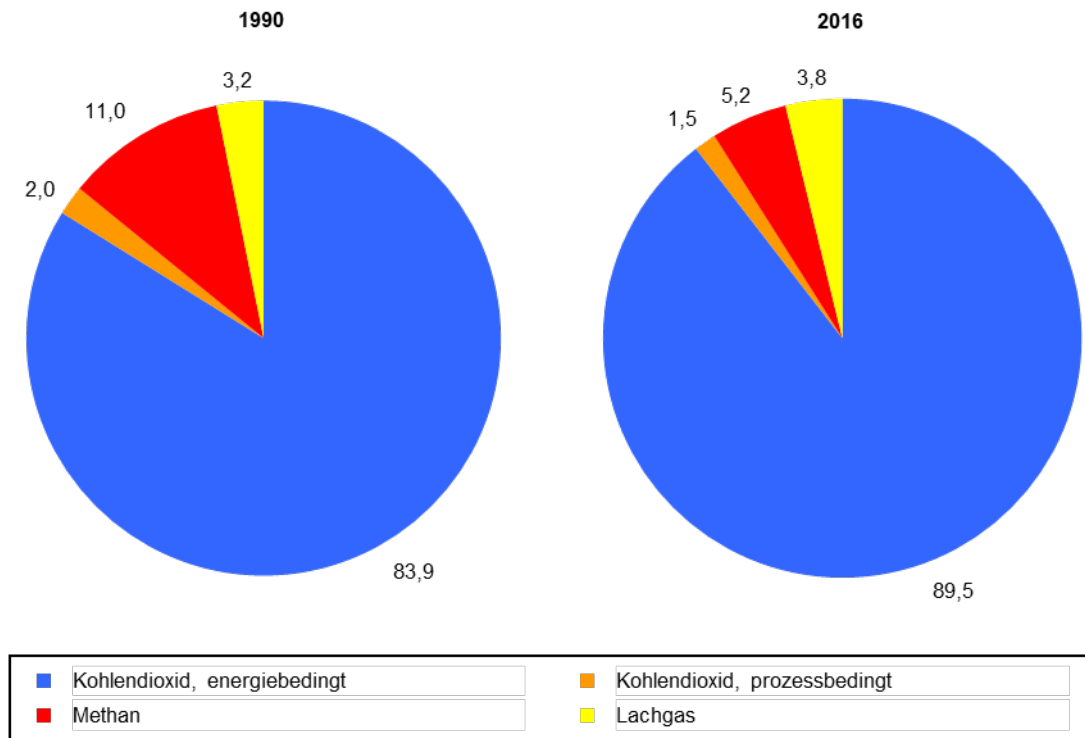
Treibhausgas	Chemische Formel	GWP	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016 <sup>1)</sup>	1990/2016
			Menge in 1000 t CO <sub>2</sub> -Äquivalenten							Veränderung in %
Kohlendioxid <sup>2)</sup>	CO <sub>2</sub>	1	43 658	47 914	45 490	42 980	39 318	36 279	37 568	– 13,9
Energiebedingt <sup>3) 4)</sup>	CO <sub>2</sub>	1	42 638	47 019	44 522	42 265	38 625	35 688	36 954	– 13,3
Prozessbedingt	CO <sub>2</sub>	1	1 020	895	968	715	693	590	614	– 39,8
Methan <sup>2) 4)</sup>	CH <sub>4</sub>	25	5 573	4 958	3 763	2 901	2 436	2 197	2 135	– 61,7
Lachgas <sup>2) 4)</sup>	N <sub>2</sub> O	298	1 619	1 543	1 568	1 310	1 202	1 609	1 578	– 2,5
<b>Insgesamt</b>			<b>50 850</b>	<b>54 415</b>	<b>50 822</b>	<b>47 191</b>	<b>42 955</b>	<b>40 085</b>	<b>41 281</b>	<b>– 18,8</b>

1) Vorläufige Werte. – 2) Ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft. – 3) Ohne nichtenergetischen Verbrauch. – 4) Ohne internationalen Luftverkehr.

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Im Jahr 2016 besaßen die energie- und prozessbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen mit 37,6 Mill. t einen Anteil von 91,0 % am hessischen Emissionsgeschehen, das sich insgesamt auf 41,3 Mill. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente belief. 5,2 % bzw. 3,8 % der Emissionen entfielen auf Methan respektive Lachgas. Im Vergleich zum Basisjahr 1990 verringerte sich der Anteil von Methan an den Gesamtemissionen in Hessen 2016 um 5,8 Prozentpunkte. Der Emissionsanteil von Lachgas stieg in diesem Zeitraum um 0,6 Prozentpunkte (Abbildung 17).

**Abbildung 17 Entwicklung der Struktur der Gesamtemissionen in Hessen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten in den Jahren 1990 und 2016**



Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; vorläufige Werte für 2016.

Den größten Anteil an den hessischen Treibhausgasemissionen im Jahr 2016 besaßen der Verkehrssektor (34,4 %), gefolgt von den Sektoren „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ (28,9 %) sowie „Energieumwandlung und -erzeugung“ (20,3 %). Diese drei Sektoren waren 2016 auch für 92,2 % des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes aus stationären und mobilen Verbrennungsprozessen (energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen) verantwortlich. Der Industriesektor hatte einen Anteil von 7,0 % an den Treibhausgasemissionen in Hessen, die Anteile der Sektoren „Landwirtschaft“ und „Abfallentsorgung“, als Hauptverursacher der Methan- und Lachgasemissionen, beliefen sich auf 5,6 % bzw. 1,4 %. Prozesse und Produktanwendungen machten 1,6 % aus, alle weiteren Quellen spielten eine eher untergeordnete Rolle.

Es muss jedoch beachtet werden, dass bei dieser Betrachtungsweise energiebedingte Emissionen, die in der Landwirtschaft und Abfallentsorgung anfallen, nicht dort, sondern in den jeweiligen Sektoren der CO<sub>2</sub>-Quellenbilanz verbucht werden und dass die prozessbedingten Emissionen sich ausschließlich auf die CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei chemischen Reaktionen in bestimmten Herstellungsprozessen beziehen.

Die Summe der Treibhausgasemissionen (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) war 2016 in Hessen 18,8 % niedriger als im Basisjahr 1990. In diesem Zeitraum haben sich die Emissionen der einzelnen Treibhausgase (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) unterschiedlich entwickelt:

Kohlendioxid	– 13,9 %,
Methan	– 61,7 %,
Lachgas	– 2,5 %.

Die Höhe des Beitrags der einzelnen Bilanzierungsbereiche an der Verminderung der gesamten Treibhausgasemissionen in Hessen unterscheidet sich. Prozentual am deutlichsten sanken die Emissionen der Abfallentsorgung und Abwasserbeseitigung, im Jahr 2016 lagen sie 81,0 % niedriger als 1990. Diese Abnahme resultiert überwiegend aus dem Rückgang der deponierten Abfallmengen und aus den Entwicklungen im Bereich Deponietechnik (Stilllegung, Abdeckung sowie Deponiegasfassung und -verwertung). Die Emissionsmenge aus Industrieprozessen und Produktanwendungen lag 2016 um 44,7 % unter der von 1990.

Die energiebedingten Emissionen aus Sektoren mit stationären und mobilen Verbrennungsprozessen lagen 13,3 % unter dem Niveau des Basisjahres, die Emissionsmenge der Landwirtschaft lag 16,4 % darunter. Während 2016 die Methanemissionen in der Landwirtschaft 33,6 % niedriger waren als 1990, stiegen die Lachgasemissionen des Sektors in diesem Zeitraum um 6,4 %. Der Anstieg geht dabei überwiegend auf die verstärkte landwirtschaftliche Bodennutzung zurück.

Bei der Betrachtung der prozentualen Veränderungen muss jedoch beachtet werden, dass sich die absoluten Emissionsmengen der einzelnen Quellen deutlich unterscheiden. Während im Jahr 2016 in Hessen energiebedingt eine Emissionsmenge von 37,7 Mill. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (als Summe aller CO<sub>2</sub>-, CH<sub>4</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen aus stationären und mobilen Verbrennungsprozessen) anfiel und dem Landwirtschaftssektor 2,3 Mill. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente zuzurechnen waren, beliefen sich die absoluten Emissionen der Abfallentsorgung und Abwasserbeseitigung sowie aus Industrieprozessen und Produktanwendungen auf 656 000 t bzw. 647 000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Entsprechend fallen hier bereits geringere Veränderungen prozentual stärker ins Gewicht.

## Verwendete Abkürzungen

CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FKW	(Vollständig halogenierte) Fluorkohlenwasserstoffe
GWP	Global Warming Potential (engl.) = Globales Treibhauspotential
HFKW	Wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoffe
IPCC	Intergovernmental Panel On Climate Change (engl.) = Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen
Mill.	Million(en)
N <sub>2</sub> O	Distickstoffoxid = Lachgas
NF <sub>3</sub>	Stickstofftrifluorid
NACE	Nomenclature générale des activités économiques dans les Communautés Européennes (franz.) = Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft
NE-Metalle	Nichteisenmetalle
NIR	National Inventory Report (engl.) = Nationaler Inventarbericht
PFC	Perfluorcarbone
Rev.	Revision (franz.) = Überarbeitungsstand
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
t	Tonne(n)
TJ	Terajoule
UBA	Umweltbundesamt
UGRdL	Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen
vTI	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
WZ	Wirtschaftszweig(e)

## Quellenverweis

- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de).
- Arbeitskreis Erwerbstätigenrechnung des Bundes und der Länder, [www.statistik-hessen.de/erwerbstaetigenrechnung](http://www.statistik-hessen.de/erwerbstaetigenrechnung).
- Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder, [www.ugrdl.de](http://www.ugrdl.de).
- Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder, [www.vgrdl.de](http://www.vgrdl.de).
- Arikan, S. (2015), „Regionale Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen: Neue Methoden und neue Ergebnisse“, in: Staat und Wirtschaft in Hessen 6/2015.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016), „Klimaschutzplan 2050. Klimapolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung“, Berlin.
- Emmel, W. (2015), „Das Europäische System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen 2010: Einführung in die Regionalrechnungen“, in: Staat und Wirtschaft in Hessen 2/2015.
- Haenel, Rösemann et al. (2016), „Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2014: Report on methods and data (RMD) Submission 2016“, Thünen Report 39, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) (2017), „Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025“, Wiesbaden.
- Hessisches Statistisches Landesamt (HSL) (2016), „Nachhaltigkeitsstrategie Hessen. Ziele und Indikatoren – Fortschrittsbericht 2016“, Wiesbaden.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2006), “2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”, IGES, Japan.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007), “Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Cambridge/New York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013), “Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Cambridge/New York.
- Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008).
- Länderarbeitskreis Energiebilanzen, [www.lak-energiebilanzen.de](http://www.lak-energiebilanzen.de).
- Rösemann, Haenel et al. (2017), „Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2015: Report on methods and data (RMD) Submission 2017“, Thünen Report 46, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- Statistisches Bundesamt, [www.destatis.de](http://www.destatis.de).

- Statistisches Bundesamt (2017), „Luftverkehr auf Hauptverkehrsflughäfen 2016“, Fachserie 8 Reihe 6.1.
- Umweltbundesamt (2017a), „Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2015“, Dessau.
- Umweltbundesamt (2017b), „Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 – 2015“, Dessau.
- Umweltbundesamt (2018a), „Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2016“, Dessau.
- Umweltbundesamt (2018b), „Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 – 2016“, Dessau.

## **Anhang**

## Anhang 1: Demographische und gesamtwirtschaftliche Entwicklung

Die Entwicklung der Emissionen einer Region oder eines Staates hängt stark von strukturellen und konjunkturellen Gegebenheiten ab. Der Überblick über die demographischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in Hessen und in Deutschland kann die Interpretation und Bewertung der vorgelegten Emissionsdaten erleichtern. Für die Darstellung der demographischen Entwicklung lagen zum Redaktionsschluss die Fortschreibungsergebnisse auf Basis des Zensus 2011 vor (Tabelle 14).

**Tabelle 14 Entwicklung der Bevölkerung in Hessen, in Deutschland sowie in den alten und neuen Bundesländern von 1990 bis 2016**

Jahr	Hessen	Deutschland			Hessen im Vergleich zu		
		Alte <sup>1)</sup>	Neue <sup>2)</sup>	Insgesamt	den alten Bundesländern <sup>1)</sup>	Deutschland insgesamt	
		Bundesländer					
	Einwohner in 1000 im Jahresdurchschnitt				%		
1990	5 717	61 107	18 257	79 363	9,4	7,2	
1991	5 798	61 913	18 061	79 973	9,4	7,2	
1992	5 872	62 622	17 878	80 500	9,4	7,3	
1993	5 932	63 178	17 768	80 946	9,4	7,3	
1994	5 955	63 476	17 671	81 147	9,4	7,3	
1995	5 972	63 722	17 586	81 308	9,4	7,3	
1996	5 990	63 958	17 509	81 466	9,4	7,4	
1997	5 996	64 091	17 419	81 510	9,4	7,4	
1998	5 996	64 137	17 309	81 446	9,3	7,4	
1999	6 001	64 223	17 200	81 422	9,3	7,4	
2000	6 013	64 370	17 087	81 457	9,3	7,4	
2001	6 021	64 561	16 957	81 517	9,3	7,4	
2002	6 028	64 754	16 824	81 578	9,3	7,4	
2003	6 029	64 848	16 701	81 549	9,3	7,4	
2004	6 027	64 870	16 586	81 456	9,3	7,4	
2005	6 023	64 857	16 480	81 337	9,3	7,4	
2006	6 008	64 799	16 374	81 173	9,3	7,4	
2007	5 993	64 732	16 261	80 992	9,3	7,4	
2008	5 983	64 617	16 146	80 764	9,3	7,4	
2009	5 973	64 443	16 039	80 483	9,3	7,4	
2010	5 969	64 333	15 951	80 284	9,3	7,4	
2011	5 982	64 369	15 906	80 275	9,3	7,5	
2012	6 005	64 524	15 902	80 426	9,3	7,5	
2013	6 031	64 733	15 912	80 646	9,3	7,5	
2014	6 070	65 036	15 947	80 983	9,3	7,5	
2015	6 135	65 640	16 046	81 687	9,3	7,5	
2016	6 195	66 211	16 137	82 349	9,4	7,5	

1) Ohne Berlin. – 2) Einschl. Berlin.  
2016 Fortschreibungsergebnisse auf Basis des Zensus 2011.

Quellen: Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungsstand August 2017.

Demnach lebten in Hessen im Jahr 2016 mit 6,2 Millionen Menschen 7,5 % der Bevölkerung Deutschlands. Zwischen 1990 und 2003 wuchs die hessische Bevölkerung kontinuierlich an. In diesem Zeitraum kamen pro Jahr durchschnittlich 24 000 Ein-

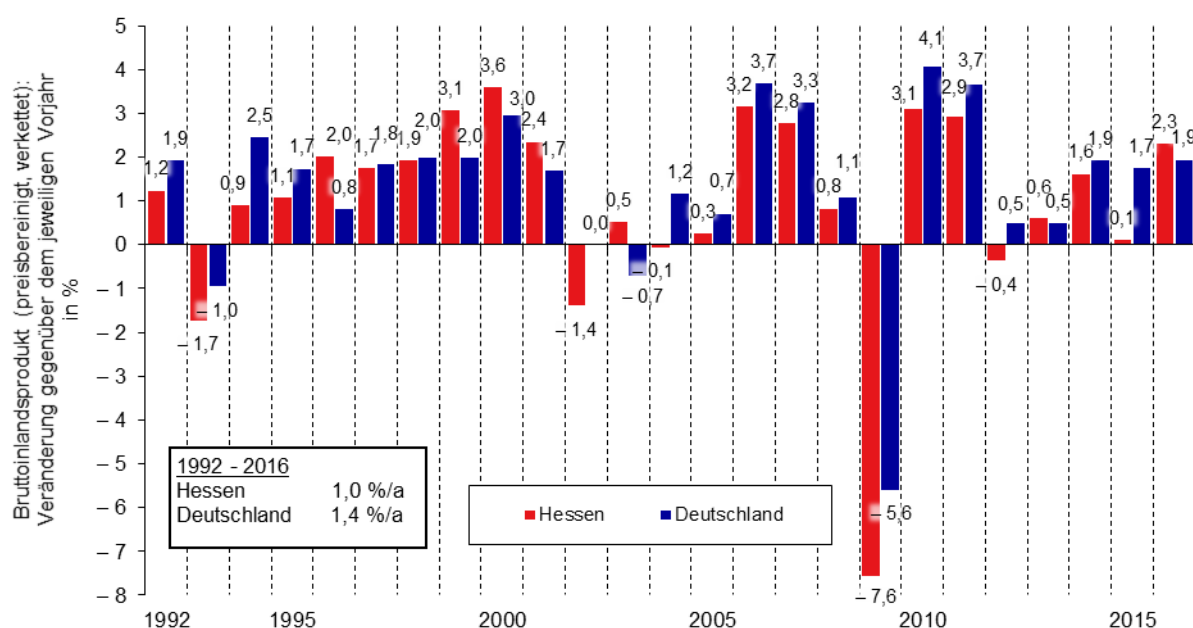
wohner hinzu. Nach dieser lang anhaltenden Wachstumsphase verminderte sich die Zahl der Einwohner 2004 erstmals leicht um 2000 Personen.

Bis 2010 ging die Bevölkerungszahl durchgehend um insgesamt 59 800 Personen zurück. Von 2011 bis 2014 war wieder ein jährlicher Zuwachs von durchschnittlich 25 100 Personen zu verzeichnen. 2015 und 2016 wuchs die hessische Bevölkerung mit 65 400 bzw. 59 600 neuen Einwohnern deutlich stärker als in den vorherigen Jahren. Die Einwohnerzahl in Hessen lag 2016 um 478 000 Personen oder 8,4 % über der des Jahres 1990.

In Deutschland lag der Bevölkerungszuwachs 2016 gegenüber dem Basisjahr bei 3,8 %, wobei die Einwohnerzahl zwischen 2002 und 2011 um insgesamt 1,3 Mill. Personen zurückging. Die hessische Bevölkerungsentwicklung verlief also dynamischer als auf Bundesebene. Das prozentuale Bevölkerungswachstum Hessens seit 1990 entsprach 2016 dem Durchschnitt der alten Bundesländer (8,4 %). Die Einwohnerzahl der neuen Bundesländer lag demgegenüber 2016 um 11,6 % unter der des Basisjahres.

Die Wirtschaftskraft einer Region kann am besten aus den Angaben der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen abgelesen werden. Dabei entsteht ein möglichst vollständiges und zugleich übersichtliches, quantitatives Gesamtbild des statistisch erfassten Wirtschaftsgeschehens einer Volkswirtschaft oder eines Wirtschaftsraums. Die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen geben Auskunft über das Wirtschaftswachstum, die Einkommenssituation, den Konsum oder auch die Investitionstätigkeit. Die wirtschaftsfachliche Darstellung folgt dabei den offiziellen Zusammenfassungen der Wirtschaftszweigsystematik 2008 (WZ 2008).

**Abbildung 18 Veränderung des Bruttoinlandsproduktes (preisbereinigt, verkettet) in Hessen und in Deutschland von 1992 bis 2016**



Quellen: Statistisches Bundesamt; Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungsstand August 2017; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; Fortschreibungsergebnisse für 2016.

Seit der grundlegenden Revision des Systems der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen im Jahr 2005 ist die einheitliche Preisbasis, durch die in einem Aggregat Struktur und Entwicklung zusammen dargestellt werden konnten, entfallen. Nunmehr muss zwischen zwei Darstellungsweisen unterschieden werden: Bei Zeitreihen, für die die Preise nun jeweils für das Vorjahr bereinigt werden, stehen nur noch Kettenindizes bzw. Veränderungsraten zur Verfügung. Für Strukturvergleiche, z. B. zwischen Hessen und Deutschland, werden jeweilige Preise (nominales Bruttoinlandsprodukt) verwendet.

Basisjahr der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen ist 1991. Im Rahmen der Revision 2014 stand die europaweite Einführung des neuen Europäischen Systems der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (ESVG) 2010 im Vordergrund.<sup>8</sup> Deutschlandweit wurde das Bruttoinlandsprodukt in jeweiligen Preisen im Jahr 2010 durch die Revision um 3,3 % nach oben korrigiert. In Hessen lag die Niveauekorrektur im Jahr 2010 bei 4,0 % (Arikan 2015).

Zeitgleich und unabhängig davon wurden auch die revidierten Daten der Bundesagentur für Arbeit berücksichtigt, die wiederum den stärksten Einfluss auf die Niveauekorrektur in der regionalen Erwerbstätigenrechnung hatten (Emmel 2015).<sup>9</sup> Aus der Umsetzung der Revision 2014 in der Erwerbstätigenrechnung resultiert eine Niveaueanhebung im Durchschnitt aller Länder im Jahr 2010 von 433 000 Personen bzw. 1,1 %. In Hessen gab es im Durchschnitt der revidierten Jahre einen Anstieg von rund 32 100 Erwerbstätigen oder 1,0 %.

**Tabelle 15      Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes in Hessen, in Deutschland sowie in den alten und neuen Bundesländern von 1991 bis 2016**

Jahr	Hessen	Deutschland			Hessen im Vergleich zu			
		Alte <sup>1)</sup>	Neue <sup>2)</sup>	Insgesamt	den alten Bundesländern <sup>1)</sup>	Deutschland insgesamt		
		Bundesländer						
		Mill. Euro in jeweiligen Preisen			%			
1991	150 118	1 404 585	175 215	1 579 800	10,7	9,5		
1995	170 870	1 606 164	292 716	1 898 880	10,6	9,0		
2000	194 512	1 799 706	316 774	2 116 480	10,8	9,2		
2005	212 255	1 960 396	340 464	2 300 860	10,8	9,2		
2010	227 171	2 191 138	388 922	2 580 060	10,4	8,8		
2015	260 297	2 583 938	459 712	3 043 650	10,1	8,6		
2016	269 440	2 668 376	475 674	3 144 050	10,1	8,6		

1) Ohne Berlin. – 2) Einschließlich Berlin.  
2016 Fortschreibungsergebnisse auf Basis des Zensus 2011.

Quellen: Statistisches Bundesamt; Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungsstand August 2017.

<sup>8</sup> Die mit Abstand quantitativ bedeutendste Konzeptänderung, die sich auf das Bruttoinlandsprodukt auswirkt, ist die Behandlung von Aufwendungen für Forschung und Entwicklung als Anlageinvestitionen.

<sup>9</sup> In der Überarbeitung kam es zu einer erweiterten Abgrenzung der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten. Sie betrifft die Beschäftigten in anerkannten Werkstätten für Behinderte und die Einbeziehung von Personen, die einen Bundesfreiwilligendienst leisten.

Das Wirtschaftswachstum unterlag im Betrachtungszeitraum Schwankungen. 2011 war der Erholungsprozess beendet, der auf die Finanzkrise der Jahre 2008 und 2009 gefolgt war. Die preisbereinigten Wachstumsraten lagen danach (mit Ausnahme 2014) unter einem Prozent. Im Jahr 2016 wuchs das hessische Bruttoinlandsprodukt jedoch mit 2,3 % wieder deutlich stärker. Im Zeitraum von 1992 bis 2016 stieg es um durchschnittlich 1,0 % pro Jahr. In Deutschland stieg das Bruttoinlandsprodukt 2016 gegenüber 2015 um 1,9 %. Die Wachstumsrate im gesamten Beobachtungszeitraum fiel im Bundesdurchschnitt mit 1,4 % pro Jahr etwas höher aus als in Hessen (Abbildung 18).

Das hessische Bruttoinlandsprodukt betrug im Jahr 2016 nominal 269,4 Milliarden Euro (Tabelle 15). Damit erreichte Hessen einen Anteil von 8,6 % am bundesdeutschen Bruttoinlandsprodukt (3144,5 Milliarden Euro) – im Vergleich zu einem Bevölkerungsanteil von 7,5 %.

Im Durchschnitt trug jeder hessische Einwohner im Jahr 2016 mit 43 500 Euro zum Bruttoinlandsprodukt bei, das sind 7,9 % mehr als der Durchschnittswert in den alten Bundesländern (40 300 Euro). Im Vergleich zu den neuen Bundesländern, in denen das Bruttoinlandsprodukt je Einwohner bei durchschnittlich 29 500 Euro lag, waren es 47,6 % mehr. Der Bundesdurchschnitt von 38 200 Euro je Einwohner wurde um 13,9 % übertroffen (Tabelle 16). In den hohen Werten des Bruttoinlandsprodukts je Einwohner spiegelt sich die im bundesdeutschen Vergleich überdurchschnittliche Wirtschaftskraft Hessens wider.

**Tabelle 16      Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes je Einwohner in Hessen, in Deutschland sowie in den alten und neuen Bundesländern von 1991 bis 2016**

Jahr	Hessen	Deutschland			Hessen im Vergleich zu			
		Alte <sup>1)</sup>	Neue <sup>2)</sup>	Insgesamt	den alten Bundesländern <sup>1)</sup>	Deutschland insgesamt		
		Bundesländer						
		Euro in jeweiligen Preisen je Einwohner			%			
1991	25 892	22 687	9 701	19 754	114,1	131,1		
1995	28 613	25 206	16 645	23 354	113,5	122,5		
2000	32 349	27 959	18 539	25 983	115,7	124,5		
2005	35 238	30 226	20 660	28 288	116,6	124,6		
2010	38 057	34 059	24 382	32 137	111,7	118,4		
2015	42 428	39 365	28 649	37 260	107,8	113,9		
2016	43 496	40 301	29 477	38 180	107,9	113,9		

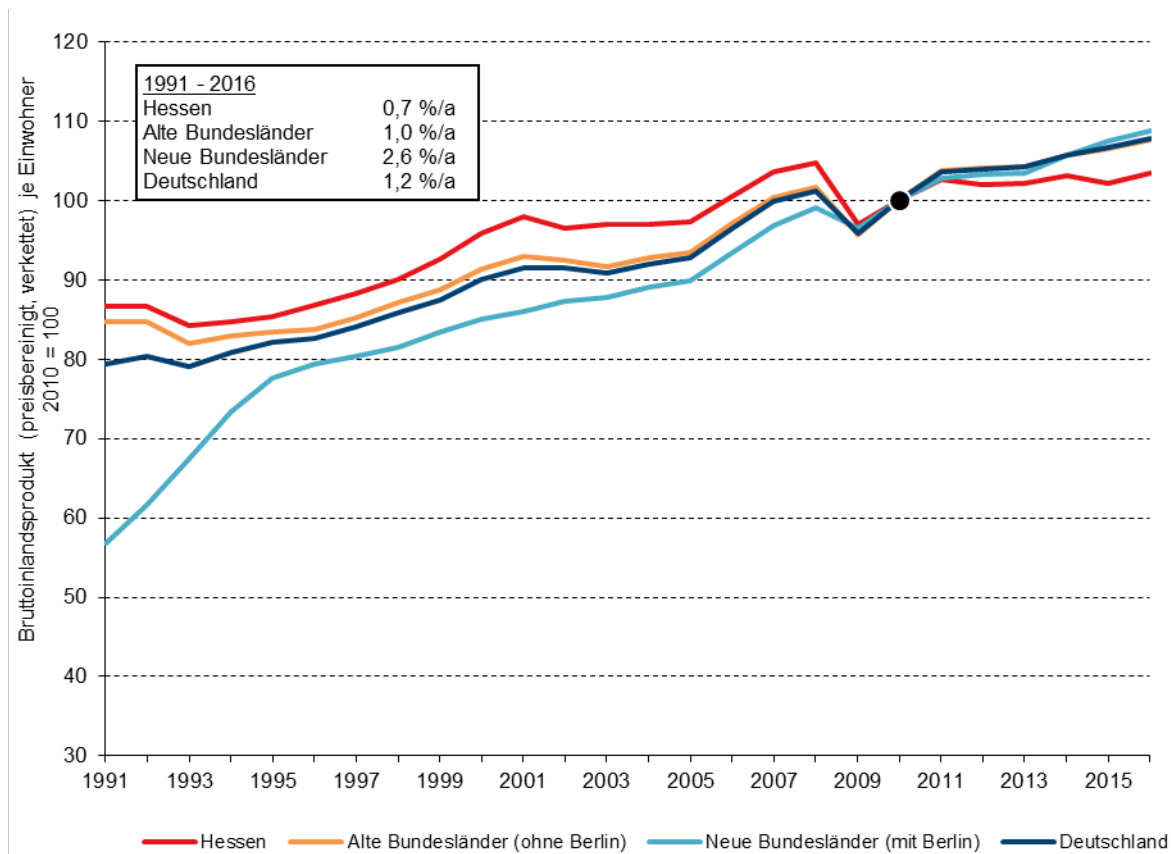
1) Ohne Berlin. – 2) Einschließlich Berlin.  
2016 Fortschreibungsergebnisse auf Basis des Zensus 2011.

Quellen: Statistisches Bundesamt; Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungsstand August 2017.

Das preisbereinigte Bruttoinlandsprodukt je Einwohner ist von 1991 bis 2016 in Hessen mit durchschnittlich 0,7 % pro Jahr langsamer als im Bund (1,2 %) gestiegen (Abbildung 19). Darin kommt neben dem zwischenzeitlichen Bevölkerungsrückgang auch das stärkere Wirtschaftswachstum der neuen Länder in der ersten Hälfte der neunziger Jahre zum Ausdruck, die sich von einem weit geringeren Niveau ausge-

hend entwickelten. Doch auch im Vergleich mit den übrigen Ländern des früheren Bundesgebietes (durchschnittlich 1,0 %; ohne Berlin) wuchs die wirtschaftliche Leistung in Hessen unterdurchschnittlich.<sup>10</sup>

**Abbildung 19 Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes (preisbereinigt, verkettet) je Einwohner in Hessen, in Deutschland sowie in den alten und neuen Bundesländern von 1991 bis 2016**



Quellen: Statistisches Bundesamt; Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder; Rechenstand August 2017; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamtes; Fortschreibungsergebnisse für 2016.

Bei der Struktur der Bruttowertschöpfung gibt es einige Unterschiede zwischen Hessen und Deutschland (Tabelle 17). In Hessen ist der tertiäre Sektor stärker ausgeprägt als in der Bundesrepublik. Im Jahr 2016 war etwa allein der Wirtschaftsbereich „Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- und Wohnungswesen“ mit 31,4 % an der Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftsbereiche beteiligt. In Deutschland besaß dieser Bereich einen Anteil von 25,9 % an der gesamten Bruttowertschöpfung.

Der Bereich „Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation“ spielte in Hessen trotz des internationalen Luftverkehrsdrehkreuzes in Frankfurt mit einem

<sup>10</sup> In den letzten Treibhausgasbilanzen wurden in Abbildung 19 nominale BIP-Werte (in jeweiligen Preisen) berichtet. Dadurch ergeben sich höhere Wachstumsraten, die allerdings nicht nur durch das reale Wirtschaftswachstum, sondern auch durch Preisveränderungen bedingt sein können. In diesem Bericht wurden für die Abbildung daher preisbereinigte BIP-Werte verwendet, um die reale Wachstumsrate im Zeitvergleich abbilden zu können (vgl. Fußnote 3, S. 24).

Anteil von 23,0 % nur eine geringfügig größere Rolle als auf Bundesebene (20,8 %). Dagegen fiel 2016 der Beitrag des Bereichs „Öffentliche und sonstige Dienstleister“ mit 19,7 % in Hessen niedriger aus als in Deutschland (22,2 %). Auch das Produzierende Gewerbe hatte in Hessen mit 21,5 % ein geringeres gesamtwirtschaftliches Gewicht als auf Bundesebene (25,7 %). Das Baugewerbe trug zu 4,1 % und die Landwirtschaft zu 0,3 % zur hessischen Bruttowertschöpfung bei (4,8 % bzw. 0,6 % in Deutschland).

Insgesamt hat sich im Betrachtungszeitraum sowohl in Hessen als auch in Deutschland ein deutlicher Strukturwandel vollzogen. Die Bedeutung des Produzierenden Gewerbes hat ab-, die des Dienstleistungssektors zugenommen. 1991 waren die Beiträge des Produzierenden Gewerbes und des Wirtschaftsbereichs „Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- und Wohnungswesen“ zur hessischen Bruttowertschöpfung mit 27,9 % bzw. 29,7 % fast gleich hoch. 2016 betrug der Unterschied zwischen diesen beiden Bereichen 9,9 Prozentpunkte.

**Tabelle 17      Struktur der Bruttowertschöpfung in Hessen und in Deutschland nach Wirtschaftsbereichen von 1991 bis 2016**

Jahr	Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftsbereiche	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe	Baugewerbe	Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation	Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- und Wohnungswesen	Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung, Gesundheit
Struktur der Bruttowertschöpfung in %							
Hessen insgesamt							
1991	100	0,7	27,9	4,7	20,8	29,7	16,1
1995	100	0,6	23,8	4,8	20,8	32,6	17,5
2000	100	0,5	22,5	4,0	21,5	33,7	17,7
2005	100	0,4	21,5	3,0	22,3	35,0	17,9
2010	100	0,3	21,3	3,5	22,3	33,8	18,8
2015	100	0,3	21,2	3,8	23,0	31,9	19,9
2016	100	0,3	21,5	4,1	23,0	31,4	19,7
Deutschland insgesamt							
1991	100	1,2	30,9	6,0	19,7	22,4	19,8
1995	100	1,0	26,1	6,8	19,7	25,2	21,1
2000	100	1,1	25,8	5,1	20,6	26,1	21,3
2005	100	0,8	25,5	3,9	21,1	27,2	21,6
2010	100	0,7	25,9	4,3	20,4	26,7	22,0
2015	100	0,6	26,0	4,6	20,8	26,0	22,1
2016	100	0,6	25,7	4,8	20,8	25,9	22,2
2016 Fortschreibungsergebnisse auf Basis des Zensus 2011.							

Quellen: Statistisches Bundesamt; Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder; Berechnungsstand August 2017.

In Deutschland war das Produzierende Gewerbe 1991 sogar der anteilstärkste Wirtschaftsbereich. Seither hat sich das Verhältnis zwischen Industrie und Unternehmensdienstleistern bundesweit ebenfalls zugunsten der Letztgenannten verschoben. Sowohl in Hessen als auch auf Bundesebene sind die Anteile der Landwirtschaft und des Baugewerbes an der Bruttowertschöpfung 2016 im Vergleich zum Basisjahr

leicht gesunken, während die Anteile der Bereiche „Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation“ sowie „Öffentliche und sonstige Dienstleister“ stiegen.

Die auf den tertiären Sektor ausgerichtete Wirtschaftsstruktur Hessens spiegelt sich auch in der Erwerbstätigkeit wider (Tabelle 18). So waren 2016 in Hessen in den Bereichen „Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation“ sowie bei „Finanz- und Unternehmensdienstleistern und im Grundstücks- sowie Wohnungswesen“ zusammen 48,2 % der insgesamt 3,4 Millionen Erwerbstätigen beschäftigt. Für Deutschland kamen diese beiden Wirtschaftsbereiche auf einen Anteil von 43,0 %.

**Tabelle 18      Zahl der Erwerbstätigen in Hessen und in Deutschland nach Wirtschaftsbereichen von 1991 bis 2016**

Jahr	Erwerbstätige insgesamt	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe	Baugewerbe	Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation	Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- und Wohnungswesen	Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung, Gesundheit
	in 1000	Sektorale Struktur der Erwerbstätigen in %					
	Hessen insgesamt						
1991	2 952	2,0	26,5	6,2	28,6	12,6	24,2
1995	2 946	1,6	23,1	6,4	28,1	14,4	26,4
2000	3 117	1,2	19,8	5,6	28,2	18,2	27,0
2005	3 077	1,0	17,9	4,9	28,2	19,7	28,3
2010	3 177	1,0	16,5	5,0	27,6	20,7	29,2
2015	3 335	0,9	16,3	5,1	27,4	20,8	29,5
2016	3 380	0,8	16,1	5,3	27,3	20,8	29,6
	Deutschland insgesamt						
1991	38 790	3,0	28,3	7,4	25,2	9,7	26,3
1995	37 958	2,3	23,2	8,7	25,6	11,3	28,8
2000	39 917	1,9	21,2	7,3	26,2	13,9	29,6
2005	39 326	1,7	19,9	5,8	26,3	15,4	30,9
2010	41 020	1,6	18,8	5,7	25,9	16,7	31,3
2015	43 069	1,5	18,8	5,6	25,7	17,2	31,2
2016	43 638	1,4	18,6	5,6	25,7	17,3	31,4

Quellen: Statistisches Bundesamt; Arbeitskreis Erwerbstätigenrechnung des Bundes und der Länder; Berechnungsstand Februar 2018.

Im Jahr 2016 waren außerdem 29,6 % der hessischen Erwerbstätigen im Bereich „Öffentliche oder sonstige Dienstleister“ beschäftigt, auf Bundesebene waren es hingegen 31,4 %. Das Produzierende Gewerbe machte in Hessen 16,1 % aus. Im Bundesgebiet lag sein Anteil 2,5 Prozentpunkte höher. Die Beschäftigtenanzahl in Landwirtschaft und Baugewerbe war in Hessen wie im gesamten Bundesgebiet im Vergleich dazu eher von geringer Bedeutung.

## **Anhang 2: Glossar**

### **Aggregat**

Aggregat (lateinisch aggregatum: das Angehäufte) bezeichnet allgemein eine Einheit, die durch Zusammensetzung einzelner, relativ selbständiger Teile zustande kommt. Die Selbständigkeit der Teile bleibt teilweise erhalten.

In der Ökonomie bezeichnet Aggregat eine allgemeine, makroökonomische Aussage oder Beziehung als Verdichtung mikroökonomischer Tatbestände.

### **Bruttoinlandsprodukt**

Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) ist ein Maß für die wirtschaftliche Leistung einer Volkswirtschaft in einem bestimmten Zeitraum. Es umfasst den Wert aller innerhalb eines Wirtschaftsgebietes während einer bestimmten Periode produzierten Waren und Dienstleistungen. Es entspricht der Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftsbereiche zuzüglich der Gütersteuern und abzüglich der Gütersubventionen.

Das Bruttoinlandsprodukt wird in jeweiligen Preisen oder preisbereinigt (Deflationierung mit jährlich wechselnden Vorjahrespreisen und Verkettung) errechnet. Auf Vorjahrespreisbasis wird die „reale“ Wirtschaftsentwicklung im Zeitablauf frei von Preiseinflüssen dargestellt. Die Veränderungsrate des preisbereinigten Bruttoinlandsproduktes dient als Messgröße für das Wirtschaftswachstum der Volkswirtschaften.

### **Bruttowertschöpfung**

Die Bruttowertschöpfung wird zu Herstellungspreisen bewertet und umfasst die innerhalb eines abgegrenzten Wirtschaftsgebietes erbrachte wirtschaftliche Leistung (Produktionswert zu Herstellungspreisen abzüglich Vorleistungen zu Anschaffungspreisen).

### **Deflationierung**

Mit Deflationierung bezeichnet man im Bereich der Wirtschaftsstatistik die Bereinigung von in Geldeinheiten ausgedrückten Größen (z. B. das Bruttoinlandsprodukt) um den Einfluss der Inflation. Dies geschieht, indem man die beobachtete Größe (nominale Größe) durch einen entsprechenden Preisindex dividiert. Als Ergebnis erhält man eine reale, preisbereinigte Größe.

Zur Ableitung der korrespondierenden realen, d. h. preisbereinigten, Größen aus den nominalen, in jeweiligen Preisen dargestellten, Ergebnissen bedarf es eines geeigneten Preiskonzeptes (Deflationierungsverfahren).

### **Einwohner**

Zu den Einwohnern Deutschlands gehören alle Personen (Deutsche und Ausländer), die im Bundesgebiet ihren ständigen Wohnsitz haben. Nicht zu den Einwohnern zählen jedoch die Angehörigen ausländischer Missionen und Streitkräfte. Die Einwohner werden in den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen als Jahresdurchschnittszahl ausgewiesen.

**Endenergieverbrauch**

Der Endenergieverbrauch ist die Summe der zur unmittelbaren Erzeugung der Nutzenergie verwendeten Primär- und Sekundärenergieträger. Die Endenergie wird in Form von Strom, Fernwärme, Erdgas, Kohle oder Erdöl (darunter Heizöl oder Kraftstoffe) nach Umwandlung in Kraftwerken oder Raffinerien bereitgestellt. Energetisch und energieökonomisch handelt es sich noch nicht um die letzte Stufe der Energieverwendung: Es folgen noch die Nutzenergiestufe (z. B. Nutzung als Licht, Wärme) und die Energiedienstleistungen.

**Erwerbstätige**

Als Erwerbstätige werden alle Personen angesehen, die innerhalb eines Wirtschaftsgebietes einer Erwerbstätigkeit oder mehreren Erwerbstätigkeiten nachgehen, unabhängig von der Dauer der tatsächlich geleisteten oder vertragsmäßig zu leistenden wöchentlichen Arbeitszeit. Bei den Erwerbstätigen wird die Erwerbstätigkeit nicht nach dem Arbeitsort, sondern nach dem Wohnort festgestellt.

**Kettenindex**

Ein Kettenindex ist ein spezieller Indextyp, der sich aus der zeitlichen Verknüpfung (Multiplikation) von Teilindizes ergibt. Diese beziehen sich jeweils auf das Vorjahr und haben damit ein jährlich wechselndes Wägungsschema.

Mit der Revision 2005 im System der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen ist der Kettenindex die zentrale Größe der Preisbereinigung. Bei allen preisbereinigten Aggregaten und Kennziffern ergeben sich die Veränderungsraten und Messzahlen der einzelnen Zeitreihen anhand des Kettenindex. Er ist auf ein Basisjahr normiert, wobei seit der Revision von 2014 europaweit 2010 = 100 gilt. Die Wahl des Basisjahres hat keinen Einfluss auf die Werte der Veränderungsraten.

**Preiskonzept**

Waren und Dienstleistungen können in jeweiligen Preisen, d. h. in Preisen des jeweiligen Berichtsjahres, oder preisbereinigt und somit frei von Preiseinflüssen dargestellt werden. Die Preisbereinigung erfolgt ab 2005 auf der Grundlage einer jährlich wechselnden Preisbasis (Vorjahrespreisbasis), die weitgehend die bisherige Berechnung in konstanten Preisen ersetzt.

**Primärenergieverbrauch**

Der Primärenergieverbrauch ist die in den eingesetzten Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden (z. B. Steinkohle, Braunkohle, Rohöl oder Erdgas), gebundene Energiemenge. Er umfasst somit die Energiedarbietung der ersten Stufe.

**Tertiärer Sektor**

Der Tertiäre Sektor umfasst alle Unternehmen einer Volkswirtschaft, die Dienstleistungen erbringen. Ihm gehören unter anderem folgende Wirtschaftszweige an:

- Handel;
- Verkehr, Logistik;
- Tourismus, Hotel- und Gaststättengewerbe;
- Nachrichtenübermittlung;
- Kreditinstitute;
- Versicherungen;
- Wohnungsvermietung;
- sonstige Unternehmen oder freie Berufe, die Dienstleistungen erbringen;
- Organisationen ohne Erwerbscharakter;
- Gebietskörperschaften;
- private Haushalte;
- öffentliche Haushalte, z. B. Staat, Gemeinden, Militär usw.

**Umwandlung**

Änderung der chemischen und/oder physikalischen Struktur von Energieträgern. Als Umwandlungsprodukte fallen Sekundärenergieträger (z.B. Stein- und Braunkohlenprodukte, Mineralölprodukte, Strom und Fernwärme) und nicht energetisch verwendbare Produkte (Nichtenergieträger) an.

**Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen**

Die Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) sind ein Teilgebiet der Makroökonomie innerhalb der Volkswirtschaftslehre und erfassen die gesamtwirtschaftlichen Einkommens- und Güterströme in einer Volkswirtschaft (Binnenwirtschaftsrechnung) oder mit dem Ausland (Außenwirtschaftsrechnung) in einer abgelaufenen Periode anhand von Einnahmen und Ausgaben. Sie liefern somit im Nachhinein (ex post) einen quantitativen Überblick über das wirtschaftliche Geschehen in einer Volkswirtschaft.

HESSEN



**Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,  
Landwirtschaft und Verbraucherschutz**

Mainzer Straße 80  
65189 Wiesbaden