



Treibhausgasbilanz für das Land Hessen

Bilanzjahr 2021



erstellt durch das Hessische Statistische Landesamt

Oktober 2023

Copyright

© Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden, 2023

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

Autorinnen

Binia Sonnen, 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	7
Auftrag und methodische Hinweise	9
Vorbemerkungen	11
1 Energiebedingte CO ₂ -Emissionen	13
1.1 Methode der Bilanzierung energiebedingter CO ₂ -Emissionen.....	13
1.2 Energiebedingte CO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz) im Überblick	15
1.3 Sektoraler Vergleich der energiebedingten CO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz) zwischen Hessen und Deutschland.....	21
1.4 Indikatoren zu den energiebedingten CO ₂ -Emissionen (Quellenbilanz)	23
1.5 Verursacherbezogene CO ₂ -Emissionen	28
2 CO ₂ -Emissionen aus Industrieprozessen	32
2.1 Ermittlung prozessbedingter CO ₂ -Emissionen.....	32
2.2 Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen bei der Herstellung von Zementklinker.....	34
2.3 Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen bei der Herstellung von Kalk.....	35
2.4 Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen bei der Herstellung von Glas	35
2.5 Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen bei der Herstellung von Ammoniak	36
2.6 Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen bei der Herstellung von Mauer- und Dachziegeln	37
2.7 Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen bei der Herstellung von Ruß (Industrieruß)	37
3 Methanemissionen	39
3.1 Methode zur Ermittlung der Methanemissionen und Berechnungsstand.....	39
3.2 Die Methanemissionen im Einzelnen.....	40
4 Lachgasemissionen.....	45
4.1 Methode zur Ermittlung der Lachgasemissionen und Berechnungsstand.....	45
4.2 Die Lachgasemissionen im Einzelnen	46
5 F-Gas-Emissionen.....	49
6 Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)	51
7 Fazit.....	53
Verwendete Abkürzungen	55
Quellenverweise	56
Anhang	58
Anhang 1: Demographische und gesamtwirtschaftliche Entwicklung	59
Anhang 2: Glossar	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen in Hessen von 1990 bis 2021 nach Sektoren.....	17
Tabelle 2	Struktur der energiebedingten CO ₂ -Emissionen der Industrie in Hessen im Jahr 2021	20
Tabelle 3	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021	22
Tabelle 4	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen bezogen auf Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt und Primärenergieverbrauch in Hessen und Deutschland von 1990 bzw. 1991 bis 2021.....	24
Tabelle 5	CO ₂ -Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz) in Hessen in den Jahren 2020 und 2021	29
Tabelle 6	Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen in Hessen von 1990 bis 2021	33
Tabelle 7	Methanemissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021	41
Tabelle 8	Methanemissionen in Hessen von 1990 bis 2021 nach Sektoren.....	42
Tabelle 9	Lachgasemissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021	46
Tabelle 10	Lachgasemissionen in Hessen von 1990 bis 2021 nach Sektoren.....	47
Tabelle 11	F-Gas-Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021	50
Tabelle 12	Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft in Hessen von 1990 bis 2021.....	52
Tabelle 13	Bevölkerung in Hessen, West- und Ostdeutschland sowie Deutschland insgesamt von 1990 bis 2021	59
Tabelle 14	Bruttoinlandsprodukt in Hessen, West- und Ostdeutschland sowie Deutschland insgesamt von 1991 bis 2021	61
Tabelle 15	Bruttoinlandsprodukt je Einwohnerin bzw. Einwohner in Hessen, West- und Ostdeutschland sowie Deutschland insgesamt von 1991 bis 2021	62
Tabelle 16	Struktur der Bruttowertschöpfung in Hessen und Deutschland von 1991 bis 2021 nach Wirtschaftsbereichen.....	64
Tabelle 17	Zahl der Erwerbstätigen in Hessen und Deutschland von 1991 bis 2021 nach Wirtschaftsbereichen	65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021	16
Abbildung 2	Energiebedingte CO ₂ -Emissionen in Hessen von 1990 bis 2021 nach Sektoren.....	18
Abbildung 3	Sektorale Struktur der energiebedingten CO ₂ -Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021	21
Abbildung 4	Abweichung der hessischen CO ₂ -Intensität (bezogen auf Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt, Primärenergieverbrauch) zur deutschen CO ₂ -Intensität von 1990/1991 bis 2021	27
Abbildung 5	Anteile der Emissionssektoren an den quellen- und verursacherbezogenen CO ₂ -Emissionen in Hessen im Jahr 2021	28
Abbildung 6	CO ₂ -Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz) in Hessen von 1990 bis 2021	30
Abbildung 7	Verursacherbezogene CO ₂ -Emissionen in Hessen im Jahr 2021 (Sankey Diagramm)	31
Abbildung 8	Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen in Hessen von 1990 bis 2021	34
Abbildung 9	Schematische Darstellung der CO ₂ -Freisetzung bei der Zementklinkerherstellung	34
Abbildung 10	Schematische Darstellung der CO ₂ -Freisetzung bei der Kalkherstellung	35
Abbildung 11	Schematische Darstellung der CO ₂ -Freisetzung bei der Glasherstellung	36
Abbildung 12	Schematische Darstellung der CO ₂ -Freisetzung bei der Ammoniakherstellung	36
Abbildung 13	Schematische Darstellung der CO ₂ -Freisetzung bei der Ziegelherstellung.....	37
Abbildung 14	Schematische Darstellung der CO ₂ -Freisetzung bei der Rußherstellung.....	38
Abbildung 15	Struktur der Methanemissionen in Hessen in den Jahren 1990 und 2021	43
Abbildung 16	Struktur der Lachgasemissionen in Hessen in den Jahren 1990 und 2021	48
Abbildung 17	Struktur der Gesamtemissionen in Hessen in CO ₂ -Äquivalenten in den Jahren 1990 und 2021	53
Abbildung 18	Veränderung des Bruttoinlandsproduktes (preisbereinigt, verkettet) in Hessen und Deutschland von 1991 bis 2021	60
Abbildung 19	Bruttoinlandsprodukt (preisbereinigt, verkettet) pro Kopf in Hessen, West- und Ostdeutschland sowie Deutschland insgesamt von 1991 bis 2021	63

Zusammenfassung

Die hessische Treibhausgasbilanz für das Bilanzjahr 2021 gibt einen Überblick über die Emissionen der mengenmäßig bedeutendsten Klimagase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (Distickstoffoxid, N₂O) und F-Gase (HFKW, FKW, SF₆ und NF₃) 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 vier Klimagase wird die Emissionsmenge auf Basis von CO₂-Äquivalenten dargestellt, indem die Methan-, Lachgas- und F-Gasmengen mit dem „Global Warming Potential“ (GWP) entsprechend der Höhe ihres klimawirksamen Potentials gewichtet werden. Da die Gruppe der F-Gase viele verschiedene Substanzen umfasst, wird kein Standard-GWP-Wert ausgewiesen. Mit dem 5. Sachstandsbericht hat das Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC) die Klimawirksamkeit einzelner Stoffe neu bewertet, sodass es zu Änderungen des GWP von Methan, Lachgas und F-Gasen kam (IPCC 2015). Die nachstehende Tabelle zeigt die Emissionsmengen für Hessen im Zeitraum 1990 bis 2021.

Treibhausgasemissionen in Hessen in CO₂-Äquivalenten von 1990 bis 2021

Treibhausgas	Chemische Formel	GWP	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ¹⁾	1990/2021
			Menge in 1000 t CO ₂ -Äquivalenten								Veränderung in %
Kohlendioxid ²⁾	CO ₂	1	43 494	45 444	42 944	39 051	36 118	34 951	32 231	32 989	– 24,2
Energiebedingt ^{3) 4)}	CO ₂	1	42 465	44 479	42 256	38 562	35 703	34 468	31 702	32 428	– 23,6
Prozessbedingt	CO ₂	1	1 029	965	688	488	416	482	529	561	– 45,5
Methan ^{2) 4)}	CH ₄	28	6 067	4 029	2 929	2 366	2 071	1 766	1 641	1 588	– 73,8
Lachgas ^{2) 4)}	N ₂ O	265	1 116	1 013	881	876	903	847	810	805	– 27,9
F-Gase			888	940	1 005	1 019	1 091	998	885	840	– 5,4
Insgesamt			51 565	51 426	47 760	43 312	40 183	38 562	35 566	36 221	– 29,8

1) Vorläufige Werte (außer F-Gase). – 2) Ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft. – 3) Ohne nichtenergetischen Verbrauch. – 4) Ohne internationalen Luftverkehr.

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Die wichtigsten Ergebnisse (jeweils bezogen auf das Jahr 2021) sind:

- In Hessen wurden insgesamt 36,2 Millionen Tonnen (Mill. t) CO₂-Äquivalente emittiert.
- Hierbei machte Kohlendioxid 91,1 % des erfassten Emissionsgeschehens aus, auf Methan entfielen 4,4 %, auf Lachgas 2,2 % und auf F-Gase 2,3 % der CO₂-Äquivalente.
- Die Treibhausgasemissionen gingen insgesamt im Vergleich zu 1990 um 29,8 % zurück. Der Rückgang betrug bei Kohlendioxid 24,2 %, bei Methan 73,8 %, bei Lachgas 27,9 % und bei den F-Gasen 5,4 %.

Die hessischen Treibhausgasemissionen – ohne Berücksichtigung von F-Gasen – lassen sich analog zur bundesdeutschen Berichterstattung vier Quellgruppen zuordnen (siehe folgende Tabelle).

- Die Quellgruppe Energie machte im Jahr 2021 mit 32,9 Mill. t CO₂-Äquivalenten bzw. 93,1 % den mit Abstand größten Anteil aus. Auf die drei größten Untergruppen entfielen: Verkehrssektor 37,4 %, gefolgt von den Sektoren „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ mit 33,7 % sowie „Energieumwandlung und -erzeugung“ mit 19,5 %.
- Die Landwirtschaft, als Hauptverursacher der CH₄- und N₂O-Emissionen, besaß 2021 mit 1,7 Mill. t CO₂-Äquivalenten bzw. 4,8 % den zweitgrößten Anteil.
- Die Emissionen aus Prozessen und Produktanwendungen sowie der Abfall- und Abwasserwirtschaft trugen mit 1,7 % bzw. 0,4 % einen vergleichsweise geringen Anteil bei. Im Vergleich zum Jahr 1990 haben sich diese Sektoren prozentual am stärksten reduziert.

Treibhausgasmissionen (ohne F-Gase) in Hessen in CO₂-Äquivalenten von 1990 bis 2021 nach Sektoren

Quellgruppe	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ¹⁾	1990/2021
	Emissionen ²⁾ in 1000 t CO ₂ -Äquivalenten								Veränderung in %
Energie	43 348	45 277	42 925	39 220	36 293	35 036	32 207	32 948	– 24,0
Prozesse und Produktanwendungen	1 167	1 053	727	520	442	507	554	586	– 49,8
Landwirtschaft	2 450	2 082	1 929	1 886	1 888	1 751	1 722	1 690	– 31,0
Abfall- und Abwasserwirtschaft	3 713	2 074	1 174	668	470	269	199	158	– 95,8
Insgesamt	50 678	50 486	46 754	42 293	39 092	37 564	34 682	35 381	– 30,2

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

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Bezieht man die energiebedingten CO₂-Emissionen – die für den Großteil des erfassten Emissionsgeschehens verantwortlich sind – auf die Bevölkerung bzw. das Bruttoinlandsprodukt (BIP) in Hessen, lässt sich Folgendes festhalten:

- Im Jahr 2021 waren die hessischen Pro-Kopf-Emissionen 30,6 % niedriger als 1990, die BIP-spezifischen Emissionen waren 46,1 % niedriger als 1991.
- Die hessischen Pro-Kopf-Emissionen waren im Jahr 2021 um 32,1 % niedriger als auf Bundesebene.
- Das Bruttoinlandsprodukt wurde 2021 in Hessen im Vergleich zu Deutschland mit einem um 39,0 % niedrigeren CO₂-Ausstoß erwirtschaftet.

Auftrag und methodische Hinweise

Die Treibhausgasbilanz für das Land Hessen (Bilanzjahr 2021) 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 (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (Distickstoffoxid, N₂O) in Hessen abbildet. Seit 2021 sind Emissionen von F-Gasen – teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), Schwefelhexafluorid (SF₆) sowie Stickstofftrifluorid (NF₃) – ebenfalls in der Treibhausgasbilanz enthalten.

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. Diese können mehr Nachkommastellen enthalten, sodass sich Differenzen zu einer Berechnung mit den in den Tabellen nachgewiesenen, gerundeten Werten ergeben können.

Die CO₂-Bilanzierung erfolgt für Emissionen, die bei der Erzeugung von Energie entstehen (energiebedingte Emissionen) und für Emissionen, die in Produktionsprozessen freigesetzt werden (prozessbedingte Emissionen). Grundlage für die energiebedingten CO₂-Emissionen ist die Energiebilanz des Landes, die vom Hessischen Statistischen Landesamt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen jährlich erstellt wird. Um prozessbedingte Emissionen abbilden zu können, werden zusätzlich die Emissionsmengen aus ausgewählten Produktionsprozessen berechnet. Für beide Berechnungsfelder werden die durch den Länderarbeitskreis Energiebilanzen (LAK) vorgegebenen Methoden angewandt.

Die Berechnung der CH₄- und N₂O-Emissionen erfolgt im Rahmen der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL) nach der dort festgelegten, für alle Bundesländer einheitlichen, Methode. Bei allen Berechnungsfeldern wird soweit möglich 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 Arbeitskreises Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL) jeweils zur Verfügung gestellt.

Für die Treibhausgasbilanzen und für die wirtschaftlichen Bezugsgrößen gilt das Inlandsprinzip. Das bedeutet, 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 Luftverkehrs dienen, wird in einem zweiten Schritt, analog zum Vorgehen auf Bundesebene, eine Aufteilung in national und international verursachte Emissionen vorgenommen. Die Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr werden im Zuge

einer Vergleichbarkeit mit dem (inter-)nationalen Bilanzierungsvorgehen nachrichtlich ausgewiesen.

Als Basisjahr für die Treibhausgasemissionen wurde entsprechend der internationalen Berichterstattung einheitlich 1990 gewählt. Dazu war es erforderlich, die für die Jahre 1990 bis 1994 nicht verfügbaren prozessbedingten CO₂-Emissionen anhand der Zeitreihe zu extrapolieren.

Um eine möglichst aktuelle Berichterstattung zu erreichen, wurden für das Bilanzjahr 2021 teilweise Schätzungen für CO₂, CH₄ und N₂O durchgeführt. Grundlage hierfür bilden Daten der amtlichen Statistik sowie eine Reihe externer Quellen. Die verwendete Methodik orientiert sich an der auf Bundesebene im NIR beschriebenen Vorgehensweise. Auch wenn die Daten bis einschließlich 2020 als endgültig bewertet werden, kann es durch die Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse (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 sieben Kapitel. Das erste Kapitel gibt neben methodischen Erläuterungen einen Überblick über die Entwicklung und die Struktur der energiebedingten CO₂-Emissionen in Hessen und in Deutschland. Ergänzt wird die Darstellung um Indikatoren zur Entwicklung dieses bedeutendsten Teils des Emissionsgeschehens sowie um eine verursacherbezogene Emissionsbetrachtung. Gegenstand des zweiten Kapitels sind die prozessbedingten CO₂-Emissionen. Hierbei wird auf die einzelnen für das Emissionsgeschehen in Hessen relevanten Industrieprozesse eingegangen. Die Kapitel drei bis fünf befassen sich mit CH₄-, N₂O-, und F-Gas-Emissionen. Der Methodenbeschreibung folgt jeweils eine Gegenüberstellung der hessischen und der gesamtdeutschen Emissionsentwicklung. Kapitel sechs gibt einen nachrichtlichen Überblick über die Emissionen bzw. Emissionssenken, die in Hessen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) entstehen. Das siebte Kapitel enthält ein Fazit mit einer Gesamtbetrachtung der Treibhausgasemissionen in Hessen. Im Anhang werden Faktoren wie Bevölkerungsentwicklung und gesamtwirtschaftliches Wachstum thematisiert, die die Beurteilung der Emissionsentwicklung, insbesondere bei den Indikatoren, erleichtern.

Vorbemerkungen

Seit Beginn der Industrialisierung hat sich der Stoffhaushalt der Erdatmosphäre deutlich verändert: Im Jahr 2021 ist die CO₂-Konzentration um 49 % gegenüber dem vorindustriellen Niveau (vor 1750) gestiegen. Die CH₄-Konzentration hat sich um 162 % erhöht und die Konzentration von N₂O hat um 24 % zugenommen (WMO 2022). Die Freisetzung von F-Gasen (voll- und teilfluorierte Kohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid) ist nahezu vollständig auf den Menschen zurückzuführen, da diese Stoffe in der Natur nur sehr bedingt vorkommen (UBA 2023a).

Es kann deshalb als gesicherte wissenschaftliche Erkenntnis gelten, dass der Treibhauseffekt und die daraus resultierende Klimaerwärmung überwiegend anthropogen, das heißt durch menschliches Handeln, verursacht werden. Das bestätigt der *Sechste Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen des IPCC* (IPCC 2023) zum wiederholten Mal. Um die negativen Konsequenzen, die mit dieser Entwicklung einhergehen, zumindest abzumildern, hat die internationale Staatengemeinschaft Ziele und Strategien zur Begrenzung der globalen Erwärmung formuliert, die eine Reduktion der Treibhausgasemissionen erfordern.

Internationale und nationale Bemühungen

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: In der zweiten Verpflichtungsperiode (2013-2020) gilt eine Minderung von 20 % gegenüber 1990. Im Rahmen einer Lastenteilung zwischen den Mitgliedstaaten verpflichtete sich Deutschland, seine nationalen Treibhausgasemissionen bereits bis 2012 um 21 % gegenüber dem Basisjahr 1990 zu reduzieren (UBA 2013). 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. Deutschland hat sich mit dem 2021 novellierten Klimaschutzgesetz verpflichtet, seine Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 65 % gegenüber dem Basisjahr 1990 zu reduzieren. Bis zum Jahr 2045 muss eine vollständige Treibhausgasneutralität erreicht werden (Änderung des Bundes-Klimaschutzgesetzes vom 31. August 2021). An diesen Zielen hält die Bundesregierung auch mit erneuter Überarbeitung des Klimaschutzgesetzes im Jahr 2023 fest.

Bemühungen des Landes Hessen

Die hessische Landesregierung verpflichtete sich im März 2017 im *Integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025* ihrerseits zur Senkung von Treibhausgasemissionen. Mit insgesamt 140 Maßnahmen, die verschiedene Handlungsfelder abdecken, sollten sowohl die hessischen Klimaschutzziele erreicht werden als auch Anpassungen an die Folgen des Klimawandels erfolgen (HMUKLV, 2017). Bis zum Jahr 2020 sollte in Hessen eine Treibhausgasreduzierung um 30 % im Vergleich zu 1990 erreicht werden,

bis 2025 soll die Reduktion 40 % betragen. Bis zum Jahr 2045 werden die hessischen Treibhausgasemissionen so weit gemindert, dass für Hessen Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird. Als Nachfolge zum Integrierten Klimaschutzplan Hessen verbindet der Klimaplan Hessen mit Laufzeit bis 2030 57 neue mit den noch laufenden 33 Maßnahmen zu einem Maßnahmenkatalog. Zudem wurde im Februar 2023 das Hessische Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Hessisches Klimagesetz, HKlimaG) verabschiedet, das die Netto-Treibhausgasneutralität bis 2045 fest schreibt und ab 2050 negative Treibhausgasemissionen vorsieht.

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. Die Ergebnisse fließen nicht nur in die Bewertung der im *Klimaplan Hessen* festgelegten Ziele ein, sondern sind darüber hinaus auch Bestandteil des im Hessischen Klimagesetz verankerten Monitorings zur Zielerreichung der gesetzlich festgeschriebenen Ziele.

1 Energiebedingte CO₂-Emissionen

1.1 Methode der Bilanzierung energiebedingter CO₂-Emissionen

Das farb- und geruchlose Gas Kohlendioxid (CO₂) 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 CO₂-Konzentration durch die vom Menschen verursachten (anthropogenen) CO₂-Emissionen verstärkt den natürlichen Treibhauseffekt, was zur globalen Erwärmung beiträgt.

Hauptquelle für die klimawirksamen Emissionen ist die Verbrennung von fossilen Energieträgern – das sind Kohle, Erdöl, Erdgas und deren kohlenstoffhaltige Umwandlungsprodukte – zur Erzeugung von Nutzenergie (energiebedingte Emissionen). Laut nationaler Emissionsberichterstattung des Umweltbundesamts (UBA) machten 2021 die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger 89,3 % der klimawirksamen Emissionen aus (bezogen auf die Gesamtemissionen in CO₂-Äquivalenten und ohne Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) (UBA 2023).

Grundlage für die Berechnungen der energiebedingten CO₂-Emissionen bildet die Energiebilanz des Landes, die vom Hessischen Statistischen Landesamt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen jährlich erstellt wird. Die Bilanzierung der energiebedingten CO₂-Emissionen der Länder erfolgt nach einer im Länderarbeitskreis Energiebilanzen zwischen den beteiligten Ländern abgestimmten Methodik.

Genutzt werden spezifische, auf den Heizwert eines Energieträgers bezogene CO₂-Emissionsfaktoren, die nach Energieträgern und Einsatzbereichen differenziert durch das UBA zur Verfügung gestellt werden. Es werden die gleichen Emissionsfaktoren verwendet, die auch zur Ermittlung der CO₂-Emissionen im Rahmen der nationalen Emissionsberichterstattung dienen. Zur Berechnung herangezogen werden die in den Energiebilanzen ausgewiesenen Verbrauchsmengen, die mit den energieträgerbezogenen, spezifischen CO₂-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 CO₂-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 CO₂-Ausstoß bei. Diese „Rohstoffmengen“ werden deshalb nicht mit Emissionsfaktoren bewertet. Gleichwohl sind sie für die Energiebilanz als Verbrauch an Brennstoffen von Interesse. Biogene Energieträger, die in der Energiebilanz erfasst werden – wie Brennholz, Klärgas oder Biotreibstoffe – gelten als CO₂-neutral, da man davon ausgeht, dass biologisch bereits

gebundenes CO₂ lediglich in den Naturkreislauf zurückgegeben wird. Dementsprechend gehen sie nicht emissionswirksam in die CO₂-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 stattfinden. 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, Revision 2, verwendet.

Die CO₂-Emissionen des Verkehrssektors werden nach der allgemeinen Methode der Energie- und CO₂-Bilanzierung des Länderarbeitskreises Energiebilanzen anhand der in den jeweiligen Regionen vertankten Kraftstoffmengen 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 aus der nationalen Inventarberichterstattung übernommenen Werte den internationalen Teil des Luftverkehrs ebenfalls nicht berücksichtigen. Die Emissionen des gesamten dem Land Hessen zugerechneten Luftverkehrs werden analog zu den vom UBA verwendeten Prozentanteilen in einen „nationalen“ und einen „internationalen“ Anteil aufgeteilt.

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 Anteile lagen bei Kerosin durchweg unter 20 %. Sie sanken von 15,0 % im Jahr 1990 auf 3,8 % im Jahr 2021 (UBA 2023a).

Im vorliegenden Bericht wurden landesspezifische Anteilswerte aus Berechnungen des Arbeitskreises Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL) verwendet, die die durch das UBA vorgenommene Neubewertung der Aufteilung des Luftverkehrs am aktuellen Rand berücksichtigen. Für 2021 wird für den Luftverkehr in Hessen ein nationaler Anteilswert von 1,9 % verwendet. Die Verwendung der revidierten Anteile für den nationalen Luftverkehr ist konsistent mit dem Vorgehen des Länderarbeitskreises Energiebilanzen. 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 Primärenergieverbrauch 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 ausgewiesen. Die tatsächlichen Emissionen können also in der Quellenbilanz nicht dargestellt werden: Die durch hessische Stromverbraucher verursachten CO₂-Emissionen werden 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 CO₂ ermöglicht, sind wegen des Stromaustauschs keine direkten Rückschlüsse auf das Verbrauchsverhalten der Endenergieverbraucher und den dadurch verursachten Beitrag zu den CO₂-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 Endverbrauchssektoren 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 erzeugt 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.

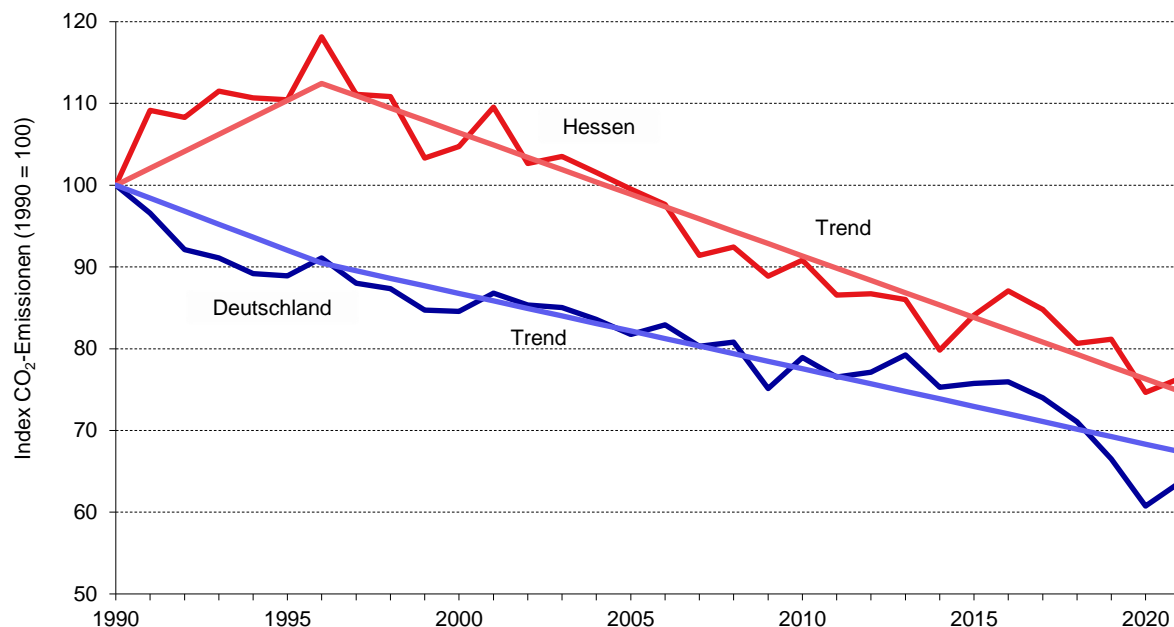
1.2 Energiebedingte CO₂-Emissionen (Quellenbilanz) im Überblick

Im Jahr 2021 wurden in Hessen energiebedingt – ohne Berücksichtigung des internationalen Luftverkehrs – insgesamt 32,4 Mill. t CO₂ emittiert. Dies entspricht einem Anstieg von 700 000 t CO₂ bzw. 2,3 % gegenüber dem Vorjahr. Im Vergleich zum Vorkrisenjahr 2019 ergibt sich ein Rückgang um 2,0 Mill. t CO₂ bzw. 5,9 %. Damit lagen die energiebedingten CO₂-Emissionen in Hessen wieder über dem bislang niedrigsten Stand im Jahr 2020 (31,7 Mill. t CO₂). Der CO₂-Ausstoß war 2021 um 10,0 Mill. t CO₂ bzw. 23,6 % niedriger als das Niveau des Basisjahres 1990.

Die Entwicklung der energiebedingten hessischen CO₂-Emissionen verlief seit 1990 in zwei Phasen (Abbildung 1). In den ersten sechs Jahren des Betrachtungszeitraums wuchsen sie beträchtlich an und erreichten im Jahr 1996 mit insgesamt 50,2 Mill. t CO₂ ihren absoluten Höchstwert. Sie lagen damit um 18,2 % über den Emissionen des Basisjahres. Seitdem kam es, mit einigen Schwankungen, zu einer erkennbaren

Reduktion des CO₂-Ausstoßes. Im Vergleich zum Jahr 1996 gingen die CO₂-Emissionen in Hessen 2021 um 17,7 Mill. t bzw. 35,4 % zurück.

Abbildung 1 Energiebedingte CO₂-Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021



Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Umweltbundesamt, NIR 2023; Berechnungen des Hessischen Statistisches Landesamts; hessischer Wert für 2021 vorläufig; jeweils linearer Trend vor bzw. nach 1996 abgebildet.

In Deutschland wurden im Jahr 2021 energiebedingt insgesamt 631,5 Mill. t CO₂ emittiert. Das waren 4,8 % mehr als im Vorjahr und 36,3 % weniger als im Basisjahr 1990. Im Gegensatz zu Hessen wurde auf Bundesebene bereits in der ersten Hälfte der neunziger Jahre eine deutliche Emissionsreduktion erreicht: Die energiebedingten CO₂-Emissionen waren 1995 um 11,1 % niedriger als 1990. Zurückzuführen ist dies zu großen Teilen auf die überdurchschnittliche Verminderung der Emissionen in Ostdeutschland, hervorgerufen durch den wirtschaftlichen Strukturwandel nach der Wiedervereinigung.

Die gesamten hessischen Emissionen stiegen 2021 im Vergleich zum Vorjahr leicht an. Hintergrund des erhöhten Emissionsniveaus sind zum einen die gelockerten Einschränkungen im Rahmen der Corona-Pandemie und die damit einhergehende etwas höhere Mobilität im Straßenverkehr im Vergleich zu 2020. Vor allem resultieren sie jedoch aus einer kühleren Witterung und daher höheren Emissionen im Sektor der Energieerzeugung und -umwandlung und einem konjunkturbedingten Anstieg in der Industrie. Tabelle 1 und Abbildung 2 zeigen die absolute Höhe und die Entwicklung des energiebedingten CO₂-Ausstoßes in den Emissionssektoren.

Der CO₂-Ausstoß des hessischen Energiesektors (Energieerzeugung/-umwandlung) lag 2021 bei 6,2 Mill. t und damit auf dem Vorkrisenniveau. Im Vergleich zum Vorjahr 2020 stiegen die Emissionen an: sie nahmen um 0,7 Mill. t bzw. 12,4 % zu. Die Emissionen des Sektors lagen weiterhin unter dem Emissionsniveau von 1990: Im Jahr 2021 war sein CO₂-Ausstoß 0,7 Mill. t bzw. 10,4 % niedriger als im Basisjahr.

Tabelle 1 Energiebedingte CO₂-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2021 nach Sektoren

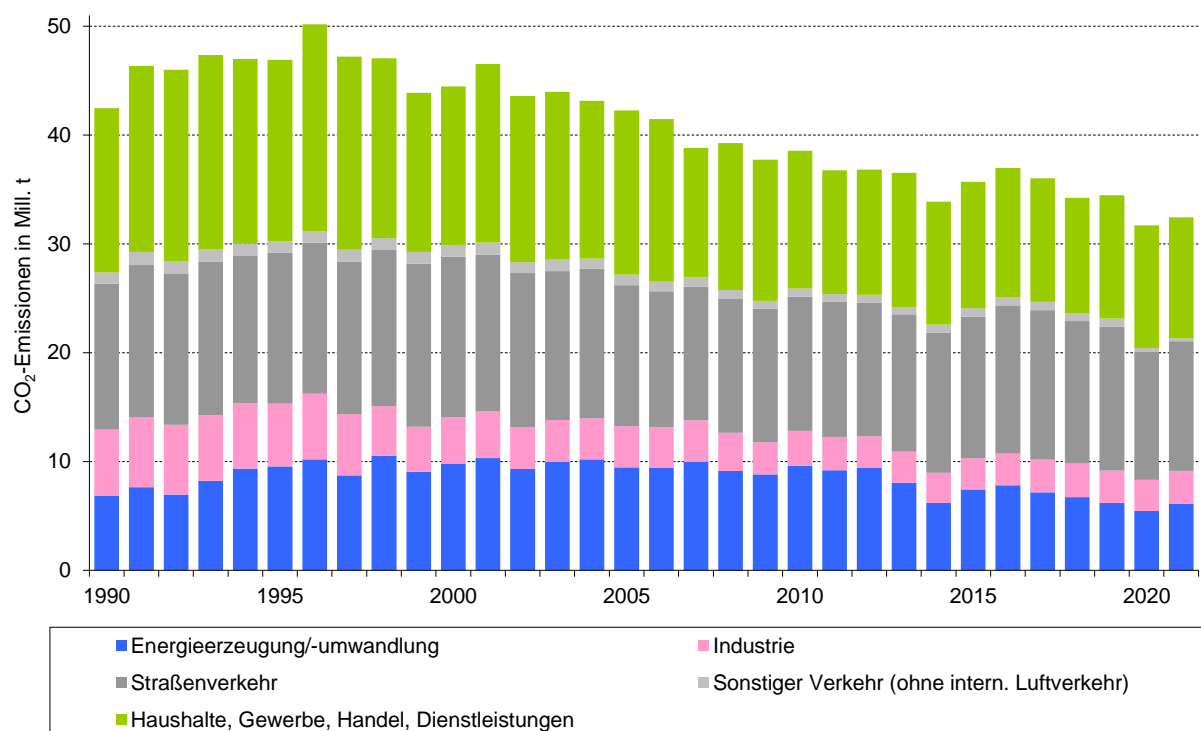
Emissionssektor	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ¹⁾
CO ₂ -Emissionen in Mill. t								
Energieerzeugung/-umwandlung	6,9	9,8	9,5	9,6	7,4	6,2	5,5	6,2
Industrie	6,1	4,3	3,8	3,2	2,8	3,0	2,8	3,0
Verkehr	14,4	15,8	13,9	13,1	13,8	14,0	12,1	12,2
Schienenverkehr	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Straßenverkehr	13,4	14,7	13,0	12,3	13,0	13,2	11,8	11,9
Luftverkehr (national) ²⁾	0,7	0,9	0,8	0,6	0,7	0,6	0,2	0,2
Binnenschifffahrt	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen ³⁾	15,1	14,6	15,1	12,7	11,6	11,3	11,3	11,1
Energiebedingte Emissionen im Inland⁴⁾	42,5	44,5	42,3	38,6	35,7	34,5	31,7	32,4
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr⁵⁾</i>	<i>7,9</i>	<i>11,7</i>	<i>12,3</i>	<i>11,9</i>	<i>13,4</i>	<i>14,0</i>	<i>6,7</i>	<i>8,0</i>
Struktur der CO ₂ -Emissionen in %								
Energieerzeugung/-umwandlung	16,2	22,0	22,4	24,9	20,8	18,0	17,3	19,0
Industrie	14,3	9,6	9,0	8,4	8,0	8,6	9,0	9,2
Verkehr	34,0	35,6	32,9	33,9	38,6	40,5	38,2	37,6
Schienenverkehr	0,3	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Straßenverkehr	31,6	33,1	30,7	32,0	36,5	38,3	37,2	36,8
Luftverkehr (national) ²⁾	1,7	2,1	1,9	1,6	1,8	1,9	0,7	0,5
Binnenschifffahrt	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen ³⁾	35,5	32,7	35,7	32,9	32,6	32,9	35,5	34,3
Energiebedingte Emissionen im Inland⁴⁾	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr⁵⁾</i>	<i>x</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 ₂ -Emissionen (1990 = 100)								
Energieerzeugung/-umwandlung	100	143	138	140	108	90	80	90
Industrie	100	71	63	53	47	49	47	49
Verkehr	100	110	96	91	96	97	84	84
Schienenverkehr	100	73	53	45	47	49	43	44
Straßenverkehr	100	110	96	92	97	98	88	89
Luftverkehr (national) ²⁾	100	131	112	87	93	90	31	22
Binnenschifffahrt	100	44	49	37	28	30	26	26
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen ³⁾	100	96	100	84	77	75	75	74
Energiebedingte Emissionen im Inland⁴⁾	100	105	100	91	84	81	75	76
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr⁵⁾</i>	<i>100</i>	<i>149</i>	<i>156</i>	<i>151</i>	<i>170</i>	<i>178</i>	<i>85</i>	<i>102</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; UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Der Emissionsrückgang im Energiesektor in den vergangenen Jahren ist einerseits auf eine Verschiebung des Umwandlungseinsatzes zu weniger emissionsintensiven bzw. emissionsneutralen Energieträgern zurückzuführen. Aufgrund der Kombination von niedrigen Gaspreisen und gestiegenen CO₂-Preisen wurde Gas im Vergleich zu Kohle attraktiver (UBA, 2021). Insbesondere der rückläufige Einsatz von Stein- und Braunkohle in den hessischen Kraftwerken ist hier bedeutsam. Beim Jahr 2020 handelt es sich aufgrund der globalen Corona-Pandemie um ein außergewöhnliches Jahr, in

dem aufgrund gesellschaftlicher Einschränkungen insgesamt weniger Emissionen ausgestoßen wurden. Eine vergleichsweise kühle Witterung sowie eine niedrigere Energiebereitstellung aus Windenergie führten im Jahr 2021 jedoch zu höheren Emissionen im Energiesektor. Diese Entwicklung zeigt sich auch auf Bundesebene: Durch den im Vergleich zum Vorjahr gestiegenen Gaspreis wurde auch wieder verstärkt Kohle zur Stromerzeugung genutzt (UBA, 2023c). Der zweite Faktor der außergewöhnlich starken Reduktion im Jahr 2020 war der allgemeine Rückgang des Energieverbrauchs, welcher vor allem den Pandemiemaßnahmen zuzuschreiben war. 2021 nahm der Einfluss dieses Faktors mit dem Auslaufen der Pandemiemaßnahmen ab. Der Anteil des Energiesektors an den gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen in Hessen ist 2021 im Vergleich zum Vorjahr um 1,7 Prozentpunkte auf 19,0 % gestiegen. 1990 lag der sektorale Anteil aufgrund höherer Gesamtemissionen bei 16,2 %.

Abbildung 2 Energiebedingte CO₂-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2021 nach Sektoren



Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; vorläufige Werte für 2021.

Der CO₂-Ausstoß des Verkehrssektors betrug 2021 in Hessen 12,2 Mill. t – damit blieben die Emissionen des Verkehrssektors nahezu auf gleichem Niveau wie im Vorjahr (12,1 Mill. t CO₂). Nach ihrem Höchststand von 16,1 Mill. t CO₂ im Jahr 1999 gingen die Verkehrsemissionen für zehn Jahre deutlich zurück. Von 2013 bis 2017 sind sie jedoch kontinuierlich gestiegen und erreichten wieder das Niveau des Basisjahres. 2021 lagen sie 2,3 Mill. t bzw. 15,7 % unter dem Emissionsniveau von 1990.

Maßgeblich im Verkehrssektor sind die Emissionen des Straßenverkehrs, der für 97,9 % der Emissionen des Sektors verantwortlich ist: Gegenüber 2020 stieg dessen CO₂-Ausstoß um 0,1 Mill. t bzw. 1,0 % an.

Die CO₂-Emissionen des internationalen Luftverkehrs, die per Konvention nur nachrichtlich ausgewiesen werden, stiegen von 6,7 Mill. t CO₂ im Jahr 2020 auf 8,0 Mill. t CO₂ im Jahr 2021 an. Damit lagen sie im Vergleich zum Vorjahr um 1,3 Mill. t CO₂ bzw. 20,0 % höher. Gegenüber 1990 stiegen sie um 0,1 Mill. t bzw. 1,9 % und lagen somit auf einem ähnlichen Niveau. Ursache für den eingebrochenen internationalen Flugverkehr im Jahr 2020 waren auch hier Reisebeschränkungen und Einreiseverbote im Rahmen der Corona-Pandemie, die im Jahr 2021 wieder schrittweise gelockert wurden. Der durch den internationalen Luftverkehr verursachte CO₂-Ausstoß lag im Jahr 2021 deutlich unter dem Niveau von vor der Corona-Pandemie im Jahr 2019 (14,0 Mill. t CO₂).

Im Vergleich zu den anderen Emissionssektoren verzeichnete der Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ 2021 als einziger Sektor einen Emissionsrückgang gegenüber dem Vorjahr. Mit insgesamt 11,1 Mill. t CO₂ wurden 160 000 t CO₂ bzw. 1,4 % weniger CO₂ ausgestoßen als 2020. Innerhalb dieses Sektors wirkten sich einzelne Effekte unterschiedlich aus. Im Jahr 2021 herrschte eine kühlere Witterung als im Vorjahr, weshalb der Energiebedarf und entsprechend die Emissionen zunahmen. Laut der Messstation des Deutschen Wetterdienstes am Frankfurter Flughafen gab es 2021 insgesamt 244 Heizztage, während es 2020 nur 228 gewesen waren (IWU 2022). Der energiebedingte CO₂-Ausstoß des Sektors wird hauptsächlich durch den Einsatz von Heizöl und Erdgas zu Heizzwecken verursacht und ist deshalb stärker witterungsabhängig als in anderen Sektoren. Ein Hinweis, weshalb die Emissionen trotz des höheren Energiebedarfes gesunkenen sind, lässt sich in den steigenden Absatzzahlen des Erdgases sowie den sinkenden bei Heizöl finden. Dies deutet auf den Einsatz emissionsärmerer Energieträger hin. Außerdem führte die Preisentwicklung bei Heizöl im Jahr 2021 dazu, dass die privaten Haushalte die Ölbestände des Vorjahres länger nutzten und geringere Mengen Heizöl bezogen. Die angestiegene Nutzung von Wärmepumpen, erneuerbaren Energien und Fernwärme trugen ebenfalls zu einem Rückgang der Emissionen in diesem Sektor bei. Gegenüber 1990 reduzierte sich der CO₂-Ausstoß des Sektors um 4,0 Mill. t bzw. 26,4 %. Effektivere Heizungssysteme kombiniert mit der verstärkten Nutzung CO₂-neutraler bzw. emissionsfreier erneuerbarer Energieträger, wie Holz, Solarthermie oder Erdwärme sowie die höhere Fernwärmeversorgung verringerten die Emissionen dauerhaft. Der sektorale Anteil an den gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen in Hessen lag 2021 bei 34,3 %.

Die hessische Industrie emittierte 2021 150 000 t CO₂ bzw. 5,1 % mehr als 2020. Tabelle 2 zeigt, dass sich die Emissionen auf eine geringe Anzahl von Wirtschaftszweigen konzentrierten: Spitzenreiter waren die Wirtschaftszweige „Chemische Industrie/Pharmazie“ mit 777 000 t CO₂ (26,0 % der energiebedingten CO₂-Emissionen der Industrie), „Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“ mit 446 000 t (Anteil: 14,9 %) und „Herstellung von Nichteisen-Metallen und Gießerei-Erzeugnissen“ mit 343 000 t (Anteil: 11,5 %). Das Papiergewerbe erreichte mit 309 000 t CO₂ einen Anteil von 10,4 %, weitere 294 000 t (9,9 %) trug das Ernährungs- und Tabakgewerbe bei.

Zusammen waren diese fünf Wirtschaftszweige für 72,6 % der energiebedingten CO₂-Emissionen der hessischen Industrie verantwortlich. Die Emissionsanteile der einzelnen Wirtschaftszweige veränderten sich 2021 im Vergleich zum Vorjahr nur geringfügig. Die Rangfolge der fünf aus Emissionssicht gewichtigsten Wirtschaftszweige blieb unverändert. Gegenüber 1990 reduzierte der gesamte Industriesektor seinen CO₂-Ausstoß um 3,1 Mill. t und halbierte ihn damit.

Tabelle 2 Struktur der energiebedingten CO₂-Emissionen der Industrie in Hessen im Jahr 2021

Industriezweige	CO ₂ -Emissionen	Sektorstruktur	
	1000 t	%	%-kumul.
Chemische Industrie, Pharmazie	777	26,0	26,0
Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden	446	14,9	40,9
NE-Metalle, Gießereiindustrie	343	11,5	52,4
Papiergewerbe	309	10,4	62,8
Ernährungs- und Tabakgewerbe	294	9,9	72,6
Fahrzeugbau	166	5,6	78,2
Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	156	5,2	83,4
Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen	140	4,7	88,1
Herstellung von Metallerzeugnissen	110	3,7	91,8
Maschinenbau	78	2,6	94,4
Herstellung von elektrischen Ausrüstungen	37	1,2	95,7
Sonstige Wirtschaftszweige	129	4,3	100
Industrie insgesamt	2 987	100	

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; vorläufige Werte.

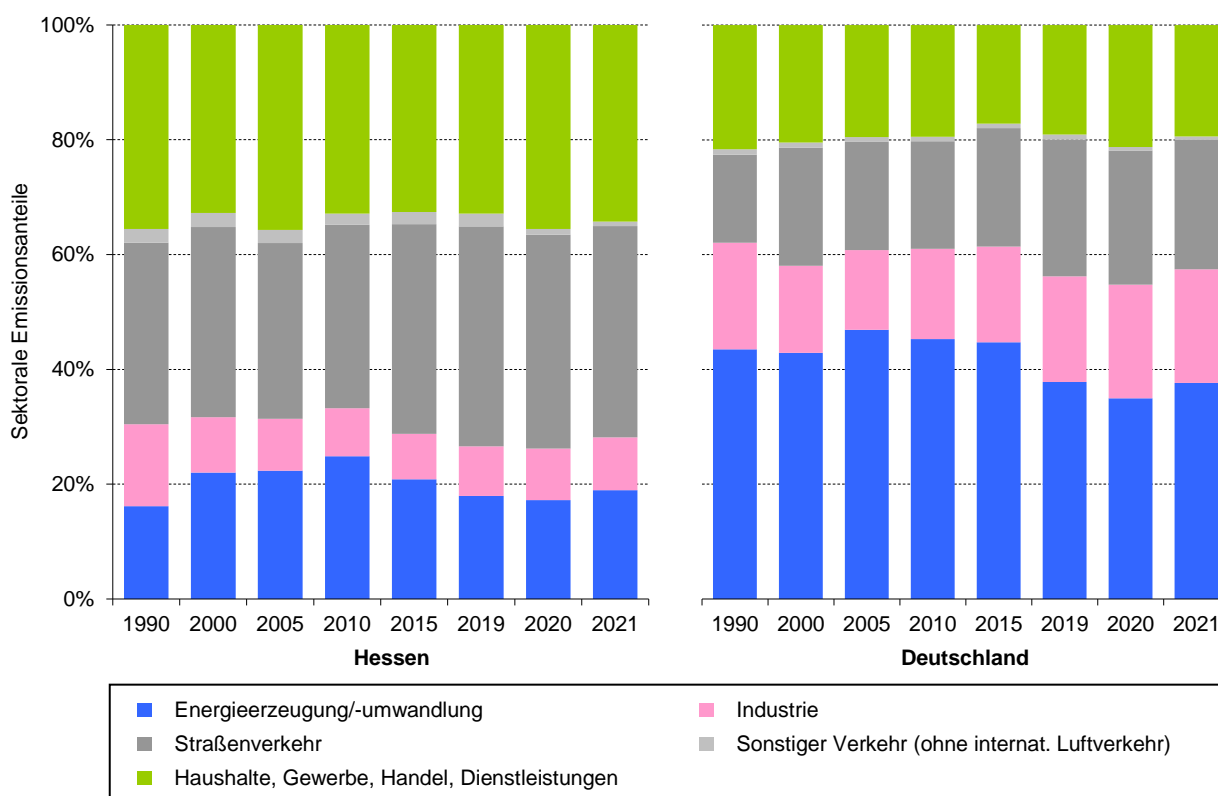
Zusammenfassend ergibt sich bei Betrachtung der verschiedenen Emissionssektoren ein heterogenes Bild. Der Verkehrssektor wurde von den Folgen der Corona-Pandemie am stärksten beeinflusst: Im Vergleich zum Vorkrisenjahr 2019 gingen seine CO₂-Emissionen 2021 am stärksten zurück. Gegenüber dem Basisjahr 1990 leistete dieser Sektor jedoch den prozentual geringsten Beitrag zur Emissionsminderung und lag in den letzten Jahren nur leicht unter dem Emissionsniveau des Basisjahres. Der Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ konnte den absoluten CO₂-Ausstoß mit 4,0 Mill. t langfristig am stärksten reduzieren. Die Emissionsentwicklung ist jedoch von witterungsbedingten Schwankungen beeinflusst. Der CO₂-Ausstoß des hessischen Energiesektors reduzierte sich in den letzten Jahren vor allem aufgrund eines geringeren Einsatzes von Steinkohle. Der Sektor lag seit 2018 konstant unter dem Emissionsniveau von 1990. Die hessische Industrie konnte ihren CO₂-Ausstoß gegenüber 1990 prozentual mit 50,8 % am deutlichsten reduzieren. Seit 2009 verharrt sie jedoch auf einem Emissionsniveau um die 3,0 Mill. t CO₂.

Die sektorale Struktur der CO₂-Emissionen in Hessen hat sich seit 1990 teilweise verändert. Dies ist unter anderem eine Folge der Entwicklungen in der Wirtschaftsstruktur (siehe Anhang). Nachfolgend wird auf die Unterschiede der Emissionsanteile einzelner Sektoren zwischen Hessen und Deutschland eingegangen.

1.3 Sektoraler Vergleich der energiebedingten CO₂-Emissionen (Quellenbilanz) zwischen Hessen und Deutschland

Vergleicht man die sektorale Struktur der energiebedingten CO₂-Emissionen in Hessen und Deutschland, werden deutliche Unterschiede sichtbar (Abbildung 3). In Deutschland dominiert der Energiesektor mit 37,7 %. Demgegenüber war die bedeutendste Quelle für die energiebedingten CO₂-Emissionen in Hessen im Jahr 2021 der Verkehrssektor mit einem Anteil von 37,6 %, gefolgt vom Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ mit 34,3 %. Die sektoralen Verschiebungen der Emissionsanteile seit 1990 entwickeln sich in Hessen und Gesamtdeutschland teilweise ähnlich: Zugenommen hat etwa übergreifend der Beitrag des Verkehrs, während der Anteil der CO₂-Emissionen durch den Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ langfristig leicht gesunken ist.

Abbildung 3 Sektorale Struktur der energiebedingten CO₂-Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021



Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Umweltbundesamt, NIR 2023; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; hessische Werte für 2021 vorläufig.

Tabelle 3 Energiebedingte CO₂-Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021

Emissionssektor	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ¹⁾
CO ₂ -Emissionen in Mill. t								
Hessen								
Energieerzeugung/-umwandlung	6,9	9,8	9,5	9,6	7,4	6,2	5,5	6,2
Industrie	6,1	4,3	3,8	3,2	2,8	3,0	2,8	3,0
Verkehr	14,4	15,8	13,9	13,1	13,8	14,0	12,1	12,2
Schienenverkehr	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Straßenverkehr	13,4	14,7	13,0	12,3	13,0	13,2	11,8	11,9
Luftverkehr (national) ²⁾	0,7	0,9	0,8	0,6	0,7	0,6	0,2	0,2
Binnenschifffahrt	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen ³⁾	15,1	14,6	15,1	12,7	11,6	11,3	11,3	11,1
Energiebedingte Emissionen im Inland⁴⁾	42,5	44,5	42,3	38,6	35,7	34,5	31,7	32,4
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr⁵⁾</i>	<i>7,9</i>	<i>11,7</i>	<i>12,3</i>	<i>11,9</i>	<i>13,4</i>	<i>14,0</i>	<i>6,7</i>	<i>8,0</i>
Deutschland								
Energieerzeugung/-umwandlung ⁶⁾	431,7	360,0	380,4	354,3	336,2	249,4	210,6	237,8
Industrie	184,2	127,2	112,5	123,3	125,2	121,4	119,5	125,0
Verkehr ⁷⁾	161,4	179,9	159,7	152,7	161,3	163,2	144,6	146,0
Schienenverkehr	3,1	1,9	1,4	1,1	1,0	0,8	0,8	0,9
Straßenverkehr	151,9	172,5	153,0	146,8	155,3	157,4	140,6	142,1
Luftverkehr (national) ²⁾	2,3	2,4	2,2	2,2	2,0	2,1	1,0	0,7
Binnenschifffahrt	3,0	1,6	1,6	1,4	1,7	1,6	1,4	1,4
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen ³⁾	214,7	171,7	158,3	152,4	128,9	125,9	127,9	122,7
Energiebedingte Emissionen im Inland^{4) 6)}	991,9	838,8	810,9	782,7	751,6	659,8	602,6	631,5
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr⁵⁾</i>	<i>19,0</i>	<i>25,7</i>	<i>30,3</i>	<i>32,6</i>	<i>31,4</i>	<i>33,3</i>	<i>17,2</i>	<i>21,9</i>
Hessen in % von Deutschland								
Energieerzeugung/-umwandlung ⁶⁾	1,6	2,7	2,5	2,7	2,2	2,5	2,6	2,6
Industrie	3,3	3,4	3,4	2,6	2,3	2,5	2,4	2,4
Verkehr ⁷⁾	8,9	8,8	8,7	8,6	8,6	8,6	8,4	8,3
Schienenverkehr	3,6	4,3	4,4	4,6	5,2	6,8	5,9	5,8
Straßenverkehr	8,8	8,5	8,5	8,4	8,4	8,4	8,4	8,4
Luftverkehr (national) ²⁾	31,4	38,6	35,8	28,0	32,3	30,5	23,0	21,1
Binnenschifffahrt	6,3	5,1	5,8	5,0	3,2	3,6	3,5	3,4
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen ³⁾	7,0	8,5	9,5	8,3	9,0	9,0	8,8	9,1
Energiebedingte Emissionen im Inland^{4) 6)}	4,3	5,3	5,2	4,9	4,8	5,2	5,3	5,1
<i>Nachrichtlich: Internationaler Luftverkehr⁵⁾</i>	<i>41,4</i>	<i>45,5</i>	<i>40,5</i>	<i>36,5</i>	<i>42,5</i>	<i>42,0</i>	<i>38,8</i>	<i>36,5</i>
1) Für Hessen 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. – 6) Für Deutschland einschließlich diffuser Emissionen aus Brennstoffen. – 7) Für Deutschland einschließlich anderer Verkehr lt. Nationalem Inventarbericht.								

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Umweltbundesamt, NIR 2023; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Besonders ausgeprägt sind die Differenzen im Energiesektor, der im Jahr 2021 in Deutschland mit 37,7 % einen fast doppelt so hohen Anteil an den energiebedingten CO₂-Emissionen besaß wie in Hessen (19,0 %). Im Vergleich zum Basisjahr 1990

sanken die Anteile des Sektors 2021 in Deutschland um 5,9 Prozentpunkte, während sie in Hessen um 2,8 Prozentpunkte zunahmen.

Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass große Mengen des in Hessen verbrauchten Stroms aus anderen Bundesländern bezogen werden (2021 insgesamt 56,2 % des hessischen Bruttostromverbrauchs). Die Emissionen aus der Erzeugung dieser Strommengen werden nach der hier verwendeten Quellenbilanzierung nicht in Hessen angerechnet. Der Fernwärmeverbrauch in den verschiedenen Sektoren und die dadurch anfallenden CO₂-Emissionen werden in der Quellenbilanz dem Energiesektor zugerechnet. In der Verursacherbilanz (Abschnitt 1.5) werden die Emissionen aus importiertem Strom sowie aus Fernwärme auf die Endverbraucher in Hessen bezogen.

Der Emissionsanteil des hessischen Verkehrssektors fällt dagegen wesentlich höher aus als im Bundesgebiet: In Hessen lag beispielsweise der Anteil der Emissionen aus dem Straßenverkehr im Jahr 2021 bei 36,8 % aller energiebedingten CO₂-Emissionen, in Deutschland waren es nur 22,5 %. Die Emissionsanteile des Straßenverkehrs sind sowohl in Hessen (5,2 Prozentpunkte) als auch in Deutschland (7,2 Prozentpunkte) seit 1990 gestiegen.

Zusätzlich spielen der nationale wie auch der internationale Luftverkehr für Hessen eine besondere Rolle: 36,0 % aller Luftverkehrsemissionen Deutschlands fielen 2021 in Hessen an (Tabelle 3). Der Anteil des nationalen Luftverkehrs an den energiebedingten CO₂-Emissionen war in Hessen 2021 mit 0,5 % fünfmal so hoch wie in Deutschland (0,1 %).¹

Der Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ besaß 2021 in Hessen mit 34,3 % den zweithöchsten Anteil der Emissionssektoren, während sein Anteil auf Bundesebene nur 19,4 % betrug. Diese Differenz ist vermutlich auf den in Hessen starken Dienstleistungssektor bzw. auf den Handel und sonstiges Kleingewerbe zurückzuführen (siehe Beschäftigungsstruktur und Bruttowertschöpfung der einzelnen Wirtschaftszweige im Anhang).

Der Emissionsanteil der Industrie lag 2021 in Hessen mit 9,2 % nur knapp halb so hoch wie in Deutschland (19,8 %). Im Vergleich zu 1990 reduzierte sich der Emissionsanteil des Sektors in Hessen um 5,1 Prozentpunkte, auf Bundesebene stieg der Anteil um 1,2 Prozentpunkte an. Diese Unterschiede sind auch auf verschiedene Wirtschaftsstrukturen in Hessen und Deutschland zurückzuführen. Dies sollte ebenso bei der Bewertung der nachfolgend berichteten Indikatoren berücksichtigt werden.

1.4 Indikatoren zu den energiebedingten CO₂-Emissionen (Quellenbilanz)

Indikatoren spielen in der Klimaschutzpolitischen Diskussion sowie im Rahmen des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung eine wichtige Rolle. So können durch die

¹ Der Anteil des internationalen Luftverkehrs an den Gesamtemissionen kann nicht angegeben werden, da er nicht in die Summe der CO₂-Gesamtemissionen eingeht. Die Gesamtemissionen werden gemäß internationaler Konvention sowohl für Deutschland als auch für Hessen stets um den Beitrag des internationalen Luftverkehrs bereinigt ausgewiesen.

Verknüpfung der CO₂-Emissionen mit geeigneten Bezugsgrößen energie- wirtschaftliche und klimapolitische Zusammenhänge besser beurteilt werden.

Tabelle 4 zeigt die Entwicklung dieser spezifischen CO₂-Emissionen in Hessen und Deutschland. Bezieht man die absoluten CO₂-Emissionen auf die Bevölkerungs- anzahl, werden Unterschiede zwischen Hessen und Deutschland deutlich – die Entwicklung verläuft nicht einheitlich und die hessischen Pro-Kopf-Emissionen liegen über den gesamten Betrachtungszeitraum deutlich unter denen auf Bundesebene.

Tabelle 4 Energiebedingte CO₂-Emissionen bezogen auf Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt und Primärenergieverbrauch in Hessen und Deutschland von 1990 bzw. 1991 bis 2021

Gebiet	1990	1991	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ¹⁾	1990 bzw. 1991/2021
CO ₂ -Emissionen ²⁾ je Einwohnerin bzw. Einwohner in t CO ₂										Veränderungen in %
Hessen	7,4	8,0	7,4	7,0	6,5	5,8	5,5	5,0	5,2	– 30,6
Deutschland	12,5	12,0	10,3	10,0	9,7	9,2	7,9	7,2	7,6	– 39,3
Deutschland = 100										
Hessen	59,4	66,7	71,8	70,4	66,3	63,3	69,2	69,5	67,9	
CO ₂ -Emissionen ²⁾ je Einheit Bruttoinlandsprodukt ³⁾ in t CO ₂ je Mill. Euro										Veränderungen ⁴⁾ in %
Hessen	—	308,4	229,8	200,0	170,1	137,2	116,5	110,0	106,9	– 46,1
Deutschland	—	604,2	397,7	354,4	305,2	248,4	190,0	176,9	175,3	– 54,4
Deutschland = 100										
Hessen	—	51,0	57,8	56,5	55,7	55,2	61,3	62,2	61,0	
CO ₂ -Emissionen ²⁾ je Einheit Primärenergieverbrauch in t CO ₂ je 1000 TJ										Veränderungen in %
Hessen	45,7	48,3	43,1	40,7	38,3	41,2	39,4	43,1	42,1	– 7,7
Deutschland	66,5	65,6	58,2	55,7	55,1	56,7	51,5	50,7	50,8	– 23,7
Deutschland = 100										
Hessen	68,6	73,7	74,0	73,0	69,5	72,7	76,5	85,0	83,0	
CO ₂ -Emissionen ²⁾ je Einheit bereinigtem Primärenergieverbrauch ²⁾ in t CO ₂ je 1000 TJ										Veränderungen in %
Hessen	51,6	54,3	50,9	48,5	45,6	52,2	50,5	49,1	49,1	– 4,8
Deutschland	67,3	66,3	59,3	56,9	56,4	58,1	53,2	51,5	51,8	– 23,0
Deutschland = 100										
Hessen	76,7	81,9	85,9	85,2	80,9	89,7	94,8	95,5	94,8	
Nachrichtlich: Anteil des internationalen Luftverkehrs am Primärenergieverbrauch in %										Mittelwert 1990-2021
Hessen	11,5	11,1	15,4	16,2	16,1	21,0	21,9	12,4	14,2	16,0
Deutschland	1,1	1,1	1,8	2,2	2,3	2,5	3,2	1,6	2,0	2,0

1) Für Hessen vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr. – 3) Bezugsgröße der Jahreswerte ist das Bruttoinlandsprodukt in jeweiligen Preisen. – 4) Veränderungsrate des preisbereinigten und verketteten Bruttoinlandsprodukts.

Quellen: Hessisches Statistisches Landesamt; Statistisches Bundesamt; AK VGRdL (Berechnungsstand: August 2022); UGRdL; Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Umweltbundesamt, NIR 2023; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

In Hessen erreichten sie im Jahr 1996 mit 8,4 t CO₂ pro Kopf ihren Höchststand. Seitdem nahmen sie kontinuierlich ab. 2021 lagen die hessischen CO₂-Emissionen bei 5,2 t je Einwohnerin bzw. Einwohner und damit 30,6 % unter dem Niveau des Basisjahres. Auf Bundesebene wiederum sanken die Pro-Kopf-Emissionen kontinuierlich mit leichten Schwankungen von 12,5 t CO₂ im Jahr 1990 auf 7,6 t CO₂ im Jahr 2021. Das entspricht einer Reduktion von 39,3 %, wobei der Rückgang in den ersten fünf Jahren aufgrund des wirtschaftlichen Strukturwandels bereits 13,2 % betrug. Der leichte Anstieg gegenüber dem Vorjahr ist sowohl in Hessen als auch in Deutschland auf das höhere Emissionsniveau aufgrund der Lockerungen in der Corona-Pandemie, der kälteren Witterung, konjunktureller Schwankungen und die Nutzung emissionsintensiverer Energieträger zurückzuführen.

Die Differenz der Pro-Kopf-Emissionen zwischen Hessen und Deutschland ist über die Zeitreihe geringer geworden. Während im Basisjahr die gesamtdeutschen Emissionen pro Einwohner noch 5,1 t über dem hessischen Wert lagen, waren sie im Jahr 2021 nur noch um 2,4 t höher. Der nach wie vor erkennbare Niveauunterschied ist unter anderem auf unterschiedliche Wirtschaftsstrukturen und hohe Stromimporte in Hessen zurückzuführen, die in der Quellenbilanz nicht emissionswirksam sind (siehe Abschnitt 1.3).

Die prozentuale Abnahme der Pro-Kopf-Emissionen fällt in Hessen und Deutschland höher aus als die prozentuale Abnahme der absoluten energiebedingten CO₂-Emissionen (gegenüber 1990 in Hessen – 23,6 % und in Deutschland – 36,3 %, siehe Abschnitt 1.2). Das ist darauf zurückzuführen, dass die Bevölkerung in Hessen und Deutschland im Betrachtungszeitraum gewachsen ist (siehe Tabelle 14 im Anhang).

Die auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) bezogene CO₂-Intensität zeigt die verursachten Emissionen je Einheit erbrachter Wirtschaftsleistung. Höhe und Entwicklung sind abhängig von der Wirtschaftsstruktur der betrachteten Region. Insbesondere vor dem Hintergrund eines wirtschaftlichen Strukturwandels (z. B. zunehmende Bedeutung des tertiären Sektors) sollte eine abnehmende CO₂-Intensität nicht automatisch mit einer Effizienzsteigerung bestehender Wirtschaftsstrukturen gleichgesetzt werden.

Im Vergleich zu 1991 war die CO₂-Intensität in Hessen 2021 um 46,1 % niedriger.² Das bedeutet, dass eine vergleichbare monetäre Wirtschaftsleistung mit deutlich geringeren Emissionen erwirtschaftet wurde. Für Deutschland reduzierte sich die CO₂-Intensität in diesem Zeitraum um 54,4 %. Die CO₂-Emissionen je Einheit BIP waren in Deutschland vor allem in der ersten Hälfte der neunziger Jahre aufgrund struktureller Veränderungen in der Wirtschaft und wegen stark verminderter CO₂-Emissionen des Energiesektors deutlich gesunken, preisbereinigt zwischen 1991 und 1995 im Durchschnitt um 3,2 % pro Jahr. Zwischen 1995 und 2021 schwächte sich die Entwicklung auf einen durchschnittlichen Rückgang von 2,5 % pro Jahr ab.

Der Vergleich zwischen Hessen und Deutschland zeigt, dass die CO₂-Intensität gegenüber 1991 in Hessen weniger stark abgenommen hat (analog der Entwicklung

² 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.

der absoluten CO₂-Emissionen). Hierbei ist die Differenz zwischen Hessen und Deutschland mit 8,3 Prozentpunkten im Jahr 2021 deutlich geringer als bei den absoluten Emissionsmengen.

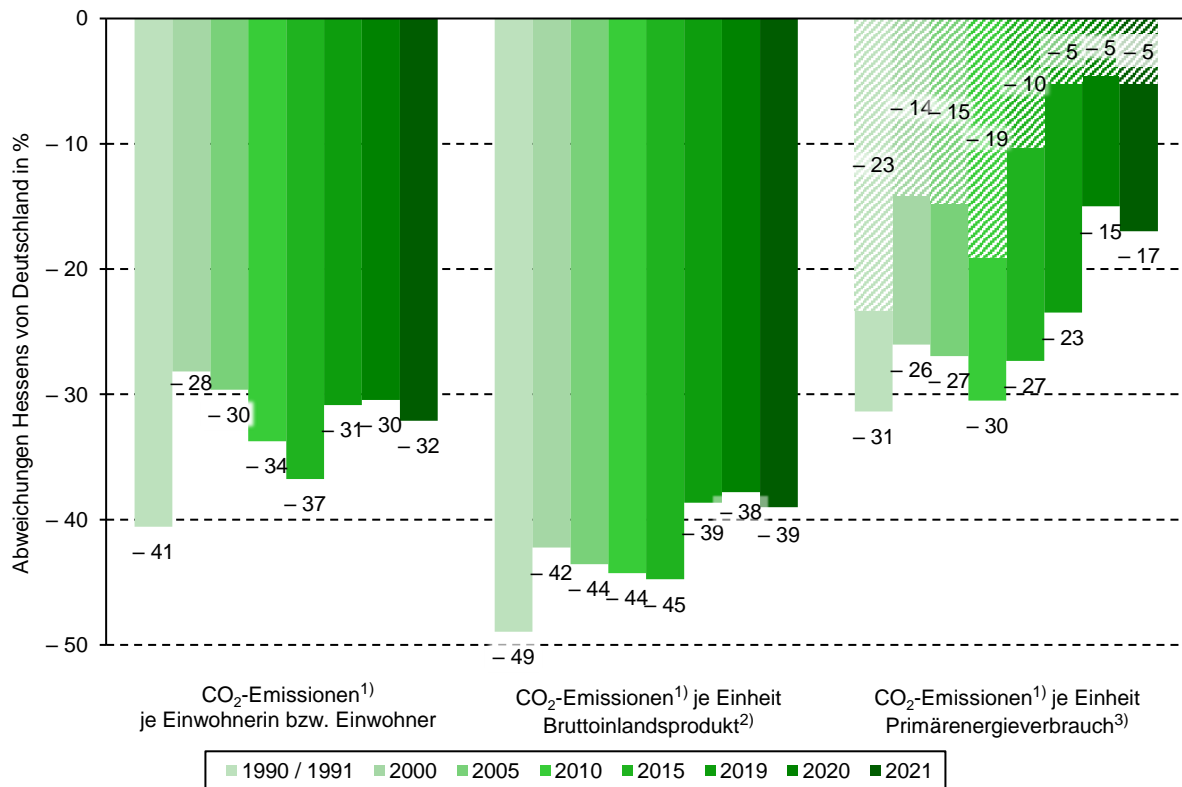
Die auf den Primärenergieverbrauch (PEV) bezogene CO₂-Intensität setzt die Emissionen ins Verhältnis zu den eingesetzten Energieträgern. Sie lag in Hessen im Jahr 2021 bei 42,1 t CO₂ je 1000 Terajoule (TJ) bzw. bei 49,1 t CO₂ je 1000 TJ, wenn der PEV um die für den internationalen Luftverkehr eingesetzten Flugturbinenkraftstoffe bereinigt wird.³ 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 zwischen 1990 und 2011 mit durchschnittlich 14,9 % einen erheblichen Anteil am hessischen Primärenergieverbrauch leistete. Bei der Nutzung von Kernenergie wird zwar kein CO₂ ausgestoßen, aber die eingesetzte Energieträgermenge geht in den Primärenergieverbrauch ein und wirkt sich dadurch auf die Berechnung der CO₂-Intensität aus. Im Jahr 2021 wurden auf Bundesebene 50,8 bzw. 51,8 t CO₂ je 1000 TJ – letztere Angabe bei einem um den internationalen Luftverkehr bereinigten PEV – ausgestoßen.

Da der Anteil des Kraftstoffverbrauchs des internationalen Luftverkehrs am PEV auf Bundesebene niedriger ist als in Hessen, beeinflusst er die deutsche CO₂-Intensität weniger stark als die hessische: In Deutschland machte der internationale Luftverkehr 2021 nur 2,0 % des PEV aus, in Hessen lag der Wert bei 14,2 %. Entsprechend unterschiedlich ist die CO₂-Intensität in Hessen je Berechnungsweg. Der Unterschied des PEV zum bereinigten PEV war in Hessen im Jahr 2021 mit 7,0 t CO₂ je 1000 TJ etwas höher als im Vorjahr (6,1 t CO₂ je 1000 TJ), jedoch deutlich niedriger als vor der Corona-Pandemie (2019, 11,0 t CO₂ je 1000 TJ). Auch die Differenz der auf den PEV bezogenen CO₂-Intensität zwischen Hessen und Deutschland variiert stark, je nachdem ob der PEV um den Kraftstoffverbrauch des internationalen Luftverkehrs bereinigt wird oder nicht. Im Jahr 2021 betrug die Differenz der CO₂-Intensität zwischen Hessen und Deutschland 8,6 bzw. bei bereinigtem PEV 2,7 t CO₂ je 1000 TJ. Gegenüber 1990 war die hessische CO₂-Intensität 2021 um 7,7 % niedriger, bei bereinigtem PEV verringerte sich die Reduktion auf 4,8 %. In Deutschland war die CO₂-Intensität 2021 um 23,7 % bzw. bei bereinigtem PEV 23,0 % niedriger als 1990.

Bei einem Vergleich der drei verschiedenen CO₂-Intensitäten fällt auf, dass die Abweichungen zwischen Hessen und Deutschland 2021 deutlich geringer ausfallen als noch 1990. Eine Art Ausreißer stellt das Jahr 1996 dar, in dem sich die CO₂-Intensitäten einander annäherten. Dies hängt mit dem wirtschaftlichen Strukturwandel Anfang der neunziger Jahre zusammen, der sich auf das bundesdeutsche Emissionsgeschehen stärker auswirkte als auf das hessische. Zusätzlich hatte der Ausbau des Energiesektors in Hessen bis Mitte der 1990er Jahre zu einem deutlichen Anstieg der CO₂-Emissionen geführt (siehe Abschnitt 1.2). Im Anschluss „verbesserte“ Hessen im Vergleich zu Deutschland seine CO₂-Intensitäten und der Abstand vergrößerte sich auf ein seit 2015 annähernd konstantes Niveau. Im Vergleich zum Vorjahr sind die bundesweiten CO₂-Intensitäten 2021 annähernd konstant geblieben und während sich Hessen verbesserte.

³ Diese Bereinigung erfolgt analog zum Vorgehen bei den Gesamtemissionen (siehe Abschnitt 1.1).

Abbildung 4 Abweichung der hessischen CO₂-Intensität (bezogen auf Bevölkerung, Bruttoinlandsprodukt, Primärenergieverbrauch) zur deutschen CO₂-Intensität von 1990/1991 bis 2021



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; Statistisches Bundesamt; AK VGRdL (Berechnungsstand: August 2022); UGRdL; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung; Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen; Umweltbundesamt, NIR 2023; hessische Werte für 2021 vorläufig.

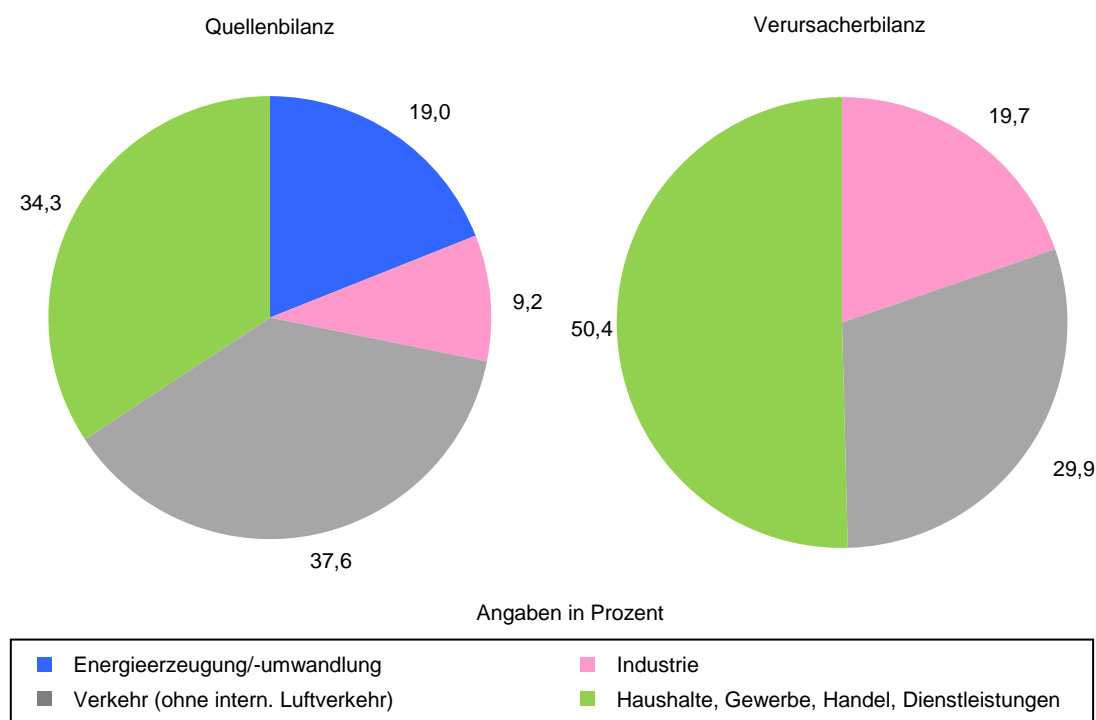
Zusammenfassend lässt sich in Bezug auf die verschiedenen Indikatoren festhalten:

- Die Pro-Kopf-Emissionen waren in Hessen im Jahr 2021 um 32,1 % niedriger als in Deutschland. Im Basisjahr 1990 waren sie um 40,6 % niedriger, im Jahr 1996 zum Zeitpunkt der stärksten Annäherung um 24,5 %.
- Das hessische Bruttoinlandsprodukt wurde im Jahr 2021 unter Freisetzung von durchschnittlich 106,9 t CO₂ je 1 Mill. Euro erwirtschaftet – in Deutschland waren es 175,3 t CO₂ je 1 Mill. Euro. Eine vergleichbare monetäre Wirtschaftsleistung wurde in Hessen also mit um 39,0 % niedrigeren CO₂-Emissionen geschaffen. Dies ist unter anderem auf die hessische Wirtschaftsstruktur zurückzuführen.
- Die durchschnittliche CO₂-Intensität des Primärenergieverbrauchs ist in Hessen stärker als in Deutschland davon abhängig, ob der internationale Luftverkehr bei der Berechnung des Primärenergieverbrauchs berücksichtigt wird. Im Jahr 2021 lag der hessische Wert bei vollständiger Einbeziehung aller Mineralölprodukte in den Primärenergieverbrauch 17,0 % unter dem deutschen. Ohne Berücksichtigung der Flugkraftstoffe für den internationalen Luftverkehr fiel diese Differenz mit 5,2 % deutlich geringer aus.

1.5 Verursacherbezogene CO₂-Emissionen

In der Verursacherbilanz werden die Emissionen ausschließlich auf den Endenergieverbrauch bezogen. Die Emissionen des Umwandlungsbereichs (Energieerzeugung) werden nach dem Verursacherprinzip zugeordnet. Bezieht man die CO₂-Emissionen vollständig auf die Verbrauchssektoren, zeigen sich für Hessen erhebliche Abweichungen zur Quellenbilanz, 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, auf Bundesebene wird im NIR keine Verursacherbilanz ausgewiesen.

Abbildung 5 Anteile der Emissionssektoren an den quellen- und verursacherbezogenen CO₂-Emissionen in Hessen im Jahr 2021



Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; vorläufige Werte.

Die hessischen verursacherbezogenen CO₂-Emissionen lagen im Jahr 2021 – ohne Berücksichtigung des internationalen Luftverkehrs – bei 42,3 Mill. t CO₂ und damit deutlich höher als die in der Quellenbilanz ausgewiesenen energiebedingten CO₂-Emissionen (32,4 Mill. t CO₂, siehe Abschnitt 1.2). Die verursacherbezogenen CO₂-Emissionen waren 2021 um 17,5 Mill. t bzw. 29,2 % niedriger als im Basisjahr 1990 (Abbildung 6). Im Vergleich zu 2020 nahmen sie um 2,1 Mill. t bzw. 5,1 % zu.

Der Emissionszuwachs gegenüber dem Vorjahr ist auf höhere Emissionen aus dem Strom- und Fernwärmeverbrauch zurückzuführen. Insgesamt wurden hier 2,1 Mill. t bzw. 14,6 % mehr CO₂ ausgestoßen. Dieser Zuwachs überlagert die Emissionsreduktion im Bereich der Mineralöle und Mineralölprodukte, in dem 2021 1,0 Mill. t bzw. 5,5 % weniger CO₂ emittiert wurden als im Vorjahr.

Tabelle 5 CO₂-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz) in Hessen in den Jahren 2020 und 2021

Emissionssektor	Energieträger					
	Insge- samt	davon				
		Stein- kohlen	Braun- kohlen	Mineralöle und Mineralöl- produkte	Gase	Strom und Fernwärme ¹⁾
	1000 t					
	2021 ²⁾					
Industrie	8 353	264	211	240	2 205	5 433
Verkehr ³⁾	12 649	—	—	12 137	42	471
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	21 346	—	53	3 978	7 082	10 234
Endenergieverbrauchsbereich zusammen	42 349	264	264	16 354	9 329	16 138
	2020					
Industrie	7 529	243	199	258	2 098	4 731
Verkehr ³⁾	12 513	—	—	12 090	35	388
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	20 234	—	46	4 963	6 259	8 967
Endenergieverbrauchsbereich zusammen	40 276	243	244	17 312	8 391	14 086
	Zu- bzw. Abnahme (–) in %					
Industrie	10,9	8,8	6,0	– 7,3	5,1	14,8
Verkehr ³⁾	1,1	—	—	0,4	21,1	21,4
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	5,5	—	16,2	– 19,9	13,1	14,1
Endenergieverbrauchsbereich zusammen	5,1	8,8	7,9	– 5,5	11,2	14,6
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; UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

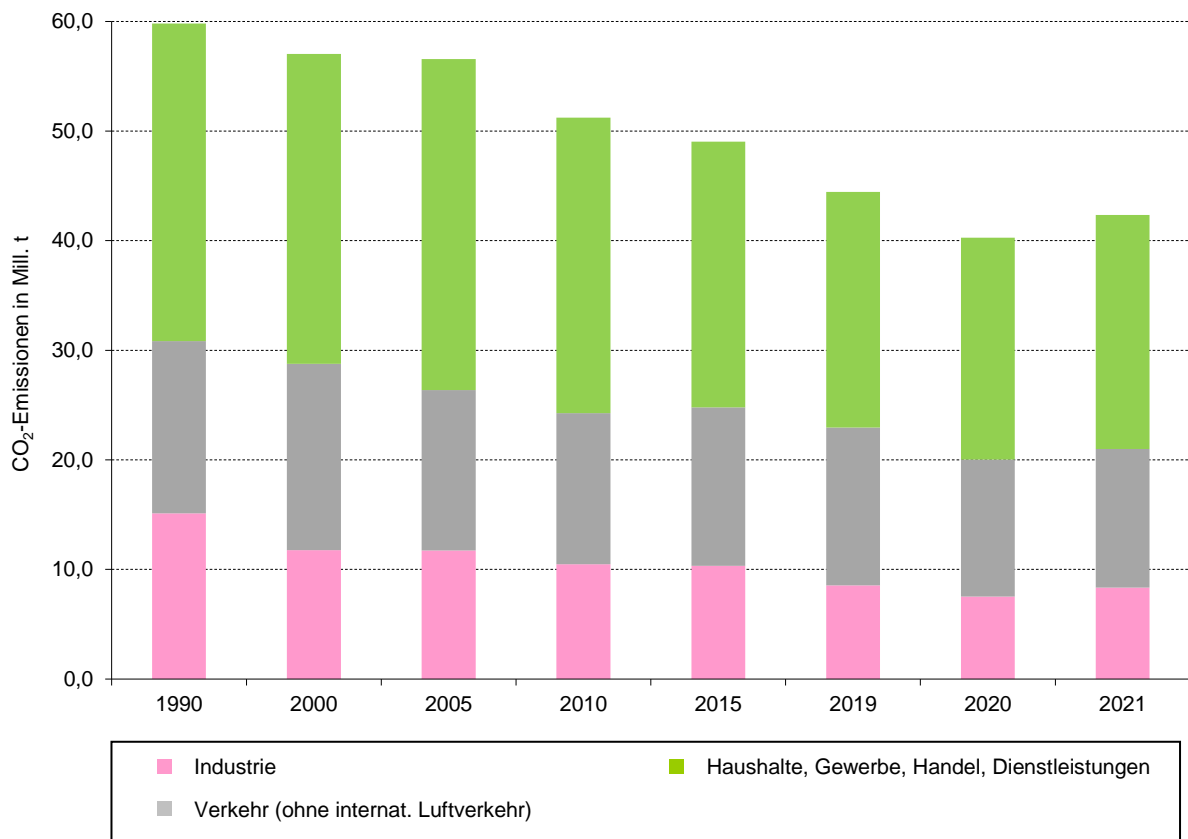
Sektorübergreifend waren die verursacherbezogenen CO₂-Emissionen 2021 zu 38,6 % auf den Endenergieverbrauch von Mineralölen und Mineralölprodukten zurückzuführen. Strom und Fernwärme machten 38,1 % aus, Gase kamen auf 22,0 % und Stein- und Braunkohle zusammen auf 1,2 %.

Insbesondere die CO₂-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch von Strom und Fernwärme stiegen gegenüber dem Vorjahr in allen Emissionssektoren deutlich: in der Industrie um 0,7 Mill. t bzw. 14,8 %, im Verkehrssektor um 83 000 t bzw. 21,4 % und im Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ um 1,3 Mill. t bzw. 14,1 %. Die im Verkehrssektor ausgewiesenen Emissionen resultieren ausschließlich aus dem Fahrstrom, Fernwärme wird hier nicht genutzt. Der überwiegende CO₂-Ausstoß aus dem Verbrauch von Fahrstrom geht auf den Schienenverkehr zurück.

Auch die CO₂-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch von Gas stiegen in allen Sektoren an: in der Industrie um 0,1 Mill. t bzw. 5,1 %, im Verkehrssektor um 7 000 t bzw. 21,1 % und im Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ um

0,8 Mill. t bzw. 13,1 %. Stein- und Braunkohle als Energieträger spielen mengenmäßig in den Endverbrauchsbereichen bei den hessischen Letztverbrauchern nahezu keine Rolle. Kohle wird in Hessen hauptsächlich in Großkraftwerken eingesetzt, deren Emissionen in der Verursacherbilanz über den Endenergieverbrauch von Strom und Fernwärme berücksichtigt werden.

Abbildung 6 CO₂-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch (Verursacherbilanz) in Hessen von 1990 bis 2021



Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; Werte für 2021 vorläufig.

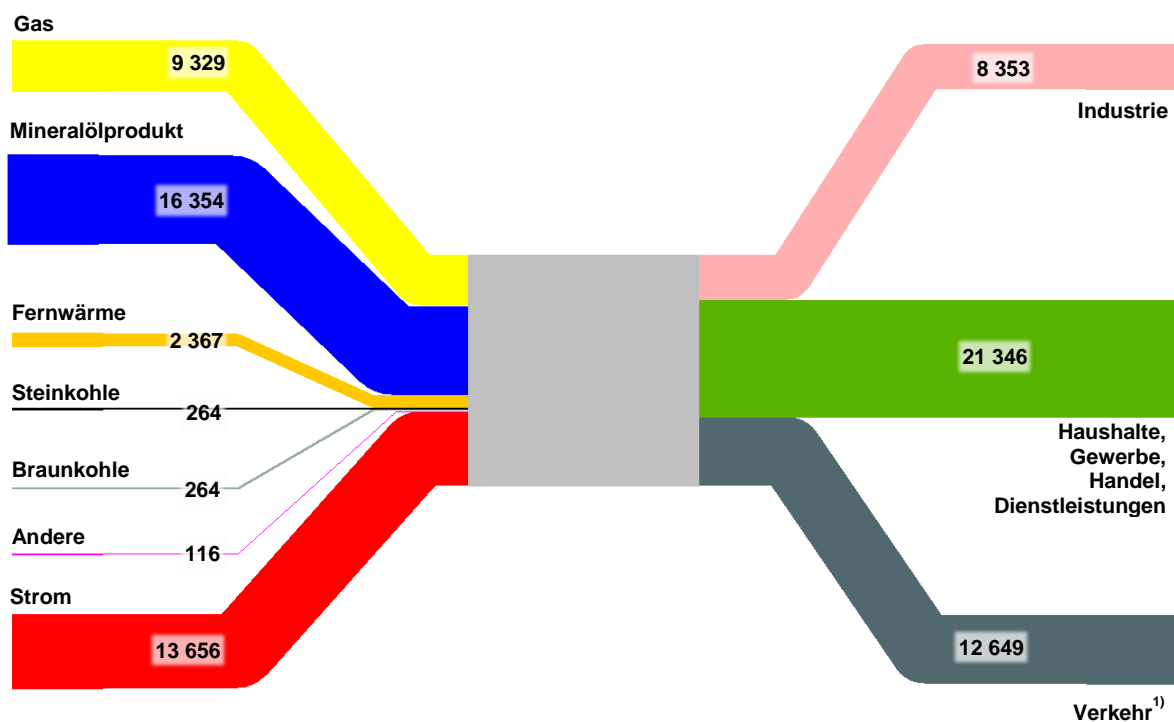
Die CO₂-Emissionen aus dem Endenergieverbrauch von Mineralölen zeichnen ein ambivalentes Bild. Der Rückgang der Emissionen ist überwiegend auf den Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ zurückzuführen, in dem die Emissionen um 1,0 Mill. t bzw. 19,9 % zurückgingen. Die Emissionen in der Industrie spielen mengenmäßig eine untergeordnete Rolle, gingen aber um 19 000 t bzw. 7,3 % zurück. Der Großteil der CO₂-Emissionen durch Mineralöle fällt im Verkehrssektor an. Im Vergleich zum Vorjahr zeichnete sich jedoch kaum eine Veränderung ab. Die Emissionen nahmen um 46 000 t bzw. 0,4 % zu.

Gegenüber dem Basisjahr 1990 erfolgte die stärkste absolute Reduzierung der verursacherbezogenen CO₂-Emissionen im Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“, 2021 wurden hier 7,6 Mill. t CO₂ bzw. 26,3 % weniger emittiert als im Basisjahr. Für die hessische Industrie lagen die Emissionsmengen 6,8 Mill. t bzw. 44,7 % unter dem Niveau von 1990, im Verkehrssektor waren die Emissionen 3,1 Mill. t bzw. 19,6 % niedriger.

Seit 2014 liegen die verursacherbezogenen CO₂-Emissionen unter 50,0 Mill. t. Der Rückgang ist überwiegend mit der Abnahme der Emissionsintensität des deutschen Strommix zu begründen, welche sich auf die verursacherbezogenen Emissionen aus dem Stromverbrauch auswirkt.

In Abbildung 7 werden die CO₂-Emissionen nach Energieträgern den CO₂-Emissionen der Endverbrauchssektoren gegenübergestellt. Den größten Emissionsanteil auf Verursacherseite trug mit 50,4 % der Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“, gefolgt vom Verkehrssektor (29,9 %) und der hessischen Industrie (19,7 %).

Abbildung 7 Verursacherbezogene CO₂-Emissionen in Hessen im Jahr 2021 (Sankey Diagramm)



Angaben in 1000 t CO₂.

1) Ohne internationalen Luftverkehr.

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; vorläufige Werte.

Die Emissionsanteile der einzelnen Sektoren unterscheiden sich zwischen Quellen- und Verursacherbilanz deutlich. Dies ist auf die verursacherbezogene Bewertung des Strom- und Fernwärmeverbrauchs (siehe Abschnitt 1.1) zurückzuführen. Das wirkt sich vor allem auf die absoluten Emissionsmengen des Sektors „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ und der Industrie aus, weil hier der überwiegende Verbrauch von Strom und Fernwärme erfolgt. Entsprechend werden die Emissionen aus der Strom- und Fernwärmeezeugung in Hessen und aus den importierten Strommengen hauptsächlich in diesen Sektoren verbucht. Da der Großteil der Emissionen des Verkehrssektors auf den Verbrauch von Mineralölen zurückzuführen ist, gibt es hier nur geringe absolute Unterschiede zwischen der Quellen- und Verursacherbilanz.

2 CO₂-Emissionen aus Industrieprozessen

2.1 Ermittlung prozessbedingter CO₂-Emissionen

Zur Darstellung der Gesamtemissionen von CO₂ ist es notwendig, neben den energiebedingten auch die prozessbedingten CO₂-Emissionen zu ermitteln. Prozessbedingte klimawirksame CO₂-Emissionen werden bei chemischen Reaktionen bestimmter Produktionsprozesse direkt freigesetzt.

Auf Ebene der Bundesländer betrachtete Industrieprozesse für die Ermittlung prozessbedingter CO₂-Emissionen innerhalb des Sektors Bergbau und Verarbeitendes Gewerbe sind die Herstellung von

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

Die Vorgehensweise des Länderarbeitskreises Energiebilanzen lehnt sich eng an die Berechnungsmethoden des UBA im Rahmen der nationalen Inventarberichterstattung an. Dort verwendete Emissionsfaktoren werden größtenteils übernommen. Nicht alle der im NIR genannten Industrieprozesse können jedoch auch auf Länderebene abgebildet werden. Berechnungsgrundlage sind Daten aus der „Vierteljährlichen Produktionserhebung“ sowie Einsatzmengen bestimmter Rohstoffe, die separat erhoben werden. Diese Mengen der jeweiligen Industrieprozesse werden mit spezifischen Emissionsfaktoren multipliziert. Das Ergebnis stellt die prozessbedingten CO₂-Emissionen je Industrieprozess dar. Ausgewiesen wird das Resultat in Tonnen CO₂. Eine Aussage über die gesamten CO₂-Prozessemissionen des Industriesektors ergibt sich aus der Addition des Emissionspotentials der einzelnen Prozesse.

Um ein Gesamtbild mit dem einheitlichen Basisjahr 1990 – analog zur Indikatorenberichterstattung im Rahmen der Hessischen Nachhaltigkeitsstrategie – zu ermöglichen, wurden mit dem Bilanzjahr 2020⁴ auch die extrapolierten Werte der Jahre 1990 bis 1994 aktualisiert. Mit Hilfe einer linearen Regression wurden aus den vorliegenden Angaben die fehlenden Werte extrapoliert (Rück(be)rechnung). Bis zum Bilanzjahr 2013 hatte sich die Bilanzierung auf das Basisjahr 1995 bezogen. Hauptgrund dafür ist, dass weiter zurückliegende statistische Daten nicht zu ermitteln sind bzw. nicht in der erforderlichen Abgrenzung zur Verfügung stehen.

Einen Überblick über die prozessbedingten CO₂-Emissionen in Hessen gibt Tabelle 6. Im Jahr 2021 wurden prozessbedingt insgesamt 561 000 t CO₂ emittiert. Dabei waren die Herstellung von Kalk und Zementklinkern für 98,7 % der prozessbedingten CO₂-Emissionen verantwortlich.

⁴ Im Jahr 2022 wurde die Methodik zur Berechnung länderspezifischer prozessbedingter CO₂-Emissionen überarbeitet, um sowohl bei den Emissionsfaktoren als auch bei den Aktivitätsdaten möglichst analog zu Umstellungen in der Methodik des aktuellen NIR vorzugehen. Entsprechend wurde auch die bisherige Extrapolation aus dem Bilanzjahr 2015 aktualisiert.

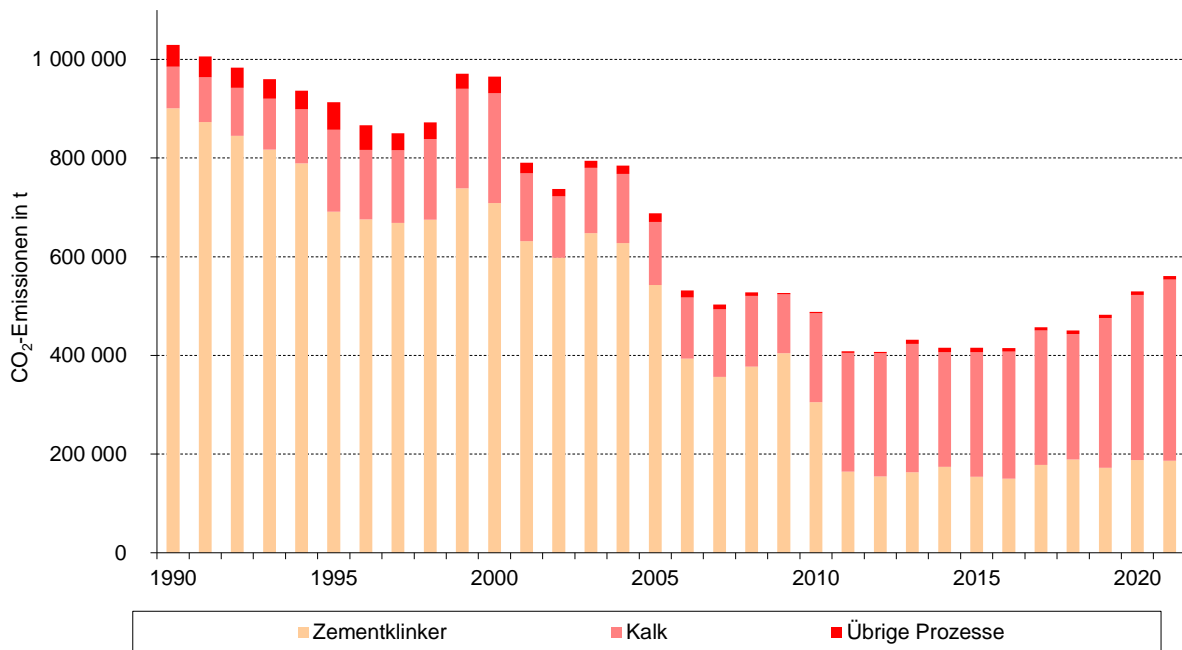
Tabelle 6 Prozessbedingte CO₂-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2021

	1990 ¹⁾	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ²⁾
	CO ₂ -Emissionen in 1000 t							
Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen	1 029	965	688	488	416	482	529	561
darunter Herstellung von								
Zementklinker	901	709	543	305	154	172	188	187
Kalk	85	223	128	180	252	304	334	367
	Anteile der Industrieprozesse in %							
Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen	100	100	100	100	100	100	100	100
darunter Herstellung von								
Zementklinker	87,5	73,4	78,9	62,5	37,1	35,7	35,5	33,3
Kalk	8,2	23,1	18,6	36,9	60,7	63,0	63,2	65,4
	Entwicklung des CO ₂ -Ausstoßes (1990 = 100)							
Prozessbedingte CO ₂ -Emissionen	100	94	67	47	40	47	51	54
darunter Herstellung von								
Zementklinker	100	79	60	34	17	19	21	21
Kalk	100	263	151	213	298	359	395	434
1) Werte rückwirkend geschätzt. – 2) Vorläufige Werte.								

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt.

Im Basisjahr 1990 wurden in Produktionsprozessen insgesamt 1,0 Mill. t CO₂ freigesetzt. Bis 1997 verringerten sich die prozessbedingten CO₂-Emissionen kontinuierlich, um in den darauffolgenden drei Jahren zwischenzeitlich wieder bis in die Nähe des Ausgangsniveaus anzusteigen. Zwischen 2001 und 2011 ging die Emissionsmenge aus Produktionsprozessen mit einigen Schwankungen deutlich zurück, was insbesondere auf eine langfristig gesunkene Produktion in der Zementklinkerherstellung zurückzuführen ist. Bis 2017 blieben die Emissionen auf einem annähernd gleichen Niveau und steigen seitdem wieder leicht an, liegen jedoch noch deutlich unter dem Niveau von 1990 (Abbildung 8). Gegenüber dem Basisjahr sanken die prozessbedingten CO₂-Emissionen in Hessen 2021 um 470 000 t bzw. 45,5 %. Im Vergleich zum Vorjahr nahmen sie um 31 000 t bzw. 5,9 % zu. Diese Zunahme ist auf gestiegene Produktionsmengen in der Kalkherstellung zurückzuführen.

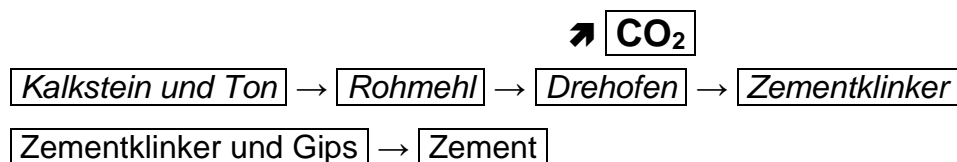
In Hessen wurden im Betrachtungszeitraum neben Zementklinker und Kalk auch Glaswaren, Ammoniak, Ziegel und Industrieruß hergestellt. Die Darstellung der Emissionen erfolgt jeweils nach einer kurzen Beschreibung der abgebildeten Prozesse.

Abbildung 8 Prozessbedingte CO₂-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2021

Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt.

2.2 Prozessbedingte CO₂-Emissionen 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 CO₂-Freisetzung findet bei der Entsäuerung des Kalksteins statt (Abbildung 9). Zementmühlen mahlen den Klinker unter Zusatz von Gips zu Zement. Dieser letzte Schritt zur Herstellung von Zement ist allerdings nicht emissionswirksam.

Abbildung 9 Schematische Darstellung der CO₂-Freisetzung bei der Zementklinkerherstellung

Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Die Herstellung von Zement war lange der bedeutendste Industrieprozess für die prozessbedingten CO₂-Emissionen in Hessen. Bis einschließlich 2010 waren durchschnittlich 78,4 % der prozessbedingten CO₂-Freisetzung diesem Industrieprozess zuzuordnen. 2011 fiel der Anteil auf 40,3 % und schwankt seitdem um dieses Niveau (33,3 % im Jahr 2021).

Im Jahr 2021 belief sich der absolute CO₂-Ausstoß aus der Zementklinkerproduktion in Hessen auf 187 000 t, das waren 1 300 t bzw. 0,7 % weniger als 2020. Gegenüber 1990 reduzierte sich die emittierte CO₂-Menge um 714 000 t bzw. 79,3 %.

Der hessische Anteil an den gesamten prozessbedingten CO₂-Emissionen in der deutschen Zementindustrie ist seit 1990 stark rückläufig. 1990 lag er noch bei 5,9 %, seit 2011 stagnierte der Rückgang und seitdem schwankt er bei durchschnittlich 1,3 %.

2.3 Prozessbedingte CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Kalk

Ein weiterer gewichtiger Industrieprozess bei der Entstehung prozessbedingter CO₂-Emissionen in Hessen ist die Herstellung von Kalk. Hierzu wird Kalkstein zerkleinert und im Drehofen zu Branntkalk gebrannt. Bei diesem Prozess wird CO₂ freigesetzt (Abbildung 10). Gelöschter Kalk entsteht durch die anschließende Zugabe von Wasser, dieser Schritt ist aber nicht emissionswirksam.

Abbildung 10 Schematische Darstellung der CO₂-Freisetzung bei der Kalkherstellung



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Während die Emissionen der Zementklinkerproduktion im Zeitverlauf rückläufig sind, steigen die der Kalkherstellung an. Bis zum Jahr 2000 stieg der Anteil der hessischen prozessbedingten CO₂-Emissionen durch Kalkherstellung kontinuierlich bis auf 23,1 % (fast eine Verdreifachung). Danach schwankten die CO₂-Emissionen bis einschließlich 2009 um ein wieder deutlich niedrigeres Niveau von durchschnittlich 132 000 t. Seitdem stiegen die Emissionen deutlich an und bewegen sich seit 2011 um einen Emissionsanteil von durchschnittlich 60,7 %.

Im Jahr 2021 wurde mit 367 000 t CO₂ der Höchststand der CO₂-Emissionen in der Kalkherstellung erreicht. Das waren 33 000 t bzw. 9,7 % mehr als im Vorjahr. Im Vergleich zu 1990 haben sich die prozessbedingten CO₂-Emissionen der Kalkherstellung mehr als vervierfacht: 2021 lagen sie 282 000 t bzw. 334,0 % über dem Niveau des Basisjahres.

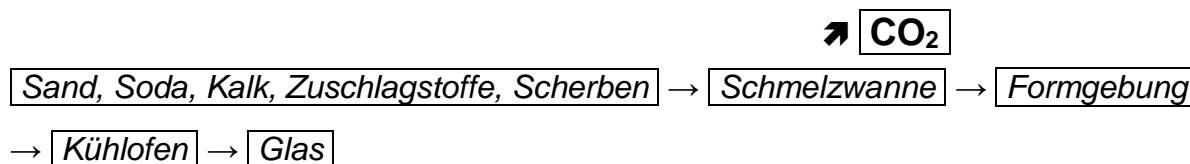
Der hessische Anteil an den gesamten prozessbedingten CO₂-Emissionen der deutschen Kalkindustrie stieg bis zum Jahr 2000 auf einen zwischenzeitlichen Höhepunkt von 3,9 % an. Daraufhin sank er abrupt ab und verharrte von 2001 bis 2009 bei durchschnittlich 2,5 %. Seitdem ist er stark gestiegen und erreichte im Jahr 2021 mit 8,1 % seinen Höchststand.

2.4 Prozessbedingte CO₂-Emissionen 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 CO₂-Emissionen entweichen den Karbonaten der Rohstoffe während des Schmelzprozesses (Abbildung 11).

Abbildung 11 Schematische Darstellung der CO₂-Freisetzung bei der Glasherstellung



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

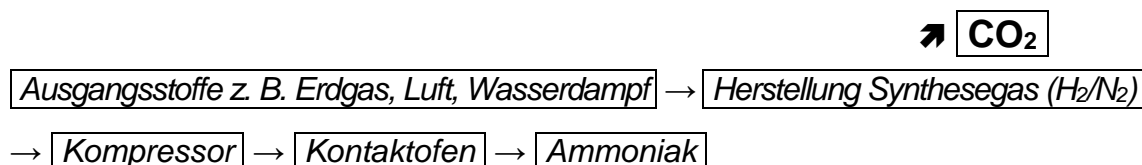
Glasbruch, der mit eingeschmolzen wird, erzeugt kein CO₂. Für die Berechnungen des CO₂-Ausstoßes werden deshalb nur emissionsrelevante Rohstoffeinsatzmengen herangezogen. In Hessen spielen CO₂-Emissionen aus Glasherstellungsprozessen nur eine untergeordnete Rolle.

Wegen der notwendigen statistischen Geheimhaltung im Falle von Einzelangaben können die ermittelten Werte nicht im Einzelnen ausgewiesen werden. Die bei der Glasherstellung emittierten CO₂-Mengen werden jedoch in der Summe der prozessbedingten Emissionen berücksichtigt.

2.5 Prozessbedingte CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Ammoniak

Ammoniak wird als chemisches Zwischenprodukt vorwiegend für die Herstellung von Düngemitteln genutzt, Ammoniakwasser findet überwiegend als Reinigungsmittel Anwendung. Ammoniak ist eine chemische Verbindung aus Stickstoff und Wasserstoff. Die CO₂-Freisetzung findet bei der Herstellung des Synthesegases H₂ für die Ammoniakproduktion statt (Abbildung 12).

Abbildung 12 Schematische Darstellung der CO₂-Freisetzung bei der Ammoniakherstellung



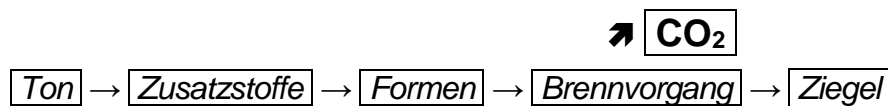
Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Ebenso wie bei der Glasherstellung fallen in Hessen kaum CO₂-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 werden jedoch in der Summe der prozessbedingten Emissionen berücksichtigt.

2.6 Prozessbedingte CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Mauer- und Dachziegeln

Prozessbedingte CO₂-Emissionen der keramischen Industrie werden nur bei Mauer- und Dachziegeln ermittelt.⁵ Rohstoff für die Herstellung von Mauer- und Dachziegeln sind in der Regel Lehme und Tone, die unterschiedliche Anteile an Kalkstein enthalten. Zur Ziegelherstellung werden dem Rohmaterial sogenannte Porosierungsmittel (u. a. Sägemehl, Papierfangstoffe, Polystyrol) beigemischt, die beim Brennen der Ziegel verbrennen und so gezielt Hohlräume hinterlassen. Die CO₂-Emissionen entstehen hierbei sowohl aus den karbonatischen als auch aus den fossilen Bestandteilen des Rohstoffes. (Abbildung 13).

Abbildung 13 Schematische Darstellung der CO₂-Freisetzung bei der Ziegelherstellung



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

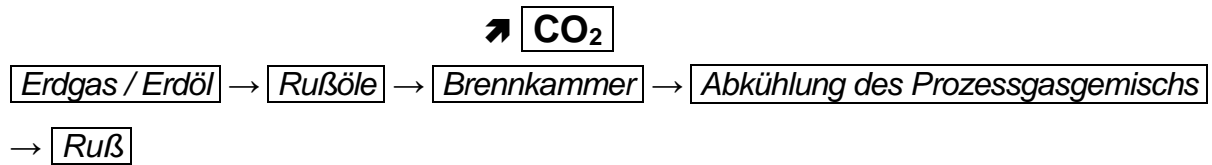
In Hessen findet nach einer mehrjährigen Unterbrechung seit 2013 wieder eine Ziegelherstellung statt, die jedoch nur geringe Mengen CO₂ verursacht. Wegen der notwendigen statistischen Geheimhaltung im Falle von Einzelangaben können die ermittelten Werte nicht im Einzelnen ausgewiesen werden, sie werden jedoch in der Summe der prozessbedingten Emissionen berücksichtigt.

2.7 Prozessbedingte CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Ruß (Industrieruß)

Ruß ist ein technisches Produkt (Industrieruß), das durch unvollständige Verbrennung oder Pyrolyse von Kohlenwasserstoffen in großen Mengen hergestellt wird. Das mit Abstand wichtigste Herstellungsverfahren (weltweit 98 %) für Industrieruß ist der Furnace-Prozess. Bei diesem Verfahren wird in einer Brennkammer ein Heißgas von 1 200 bis 1 800 °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 dabei der Ruß gebildet. In diesem Verfahrensschritt werden CO₂-Emissionen verursacht (Abbildung 14).

⁵ Im NIR 2018 wurden erstmals nicht nur Produktionszahlen für Ziegel, sondern auch für andere keramische Produkte verwendet. Die Keramikindustrie in Deutschland ist allerdings sehr heterogen geprägt und umfasst eine Vielzahl an Produkten. Aufgrund einer sonst entsprechend umfangreichen Berechnung und der Tatsache, dass Ziegel mit etwa 80 % den überwiegenden Anteil der Keramikproduktion in Deutschland abdecken, werden für die prozessbedingten CO₂-Emissionen im Rahmen des Länderarbeitskreises Energiebilanzen nur Dach- und Mauerziegel berücksichtigt.

Abbildung 14 Schematische Darstellung der CO₂-Freisetzung bei der Rußherstellung



Quelle: Länderarbeitskreis Energiebilanzen.

Ausschlaggebend für die CO₂-Emissionen sind die Produktionsmengen. Die in Hessen produzierten Industrierußmengen waren bis 2015 sehr gering, sodass dadurch kaum CO₂-Emissionen verursacht wurden. Ab dem Jahr 2016 existieren keine prozessbedingten CO₂-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 sind jedoch in der Summe der prozessbedingten Emissionen berücksichtigt.

3 Methanemissionen

3.1 Methode zur Ermittlung der Methanemissionen und Berechnungsstand

Methan (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.

Etwa 40 % der weltweiten CH_4 -Emissionen gehen auf natürliche Quellen zurück (UNEP 2021). Die wichtigsten natürlichen Quellen bilden Feuchtgebiete, vor allem in den Tropen. Die meisten der CH_4 -Emissionen stammen aus anthropogenen Quellen, z. B. aus der Landwirtschaft, der Abfallwirtschaft und fossilen Brennstoffen. Die Tierhaltung trägt dabei zu 32 % der weltweiten anthropogenen CH_4 -Emissionen bei, der Nassreisenanbau zu 8 %. Darüber hinaus spielen die Gewinnung und der Transport von Gas, der Kohlebergbau sowie die Abfalldeponierung eine wichtige Rolle. In Deutschland trugen die CH_4 -Emissionen 2021 mit 6,0 % zu den Treibhausgasfreisetzungen bei (ausgedrückt in CO_2 -Äquivalenten und ohne Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft).

Für die Berechnungen der CH_4 -Emissionen in der hessischen Treibhausgasbilanz werden die anthropogenen Quellen berücksichtigt. Die Berechnung erfolgt analog zur internationalen Berichterstattung für die Sektoren:

- Energie,
- Prozesse und Produktanwendungen,
- Landwirtschaft,
- Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (siehe Kapitel 6),
- Abfall- und Abwasserwirtschaft.

Die Berechnung der CH_4 -Emissionen wird im Rahmen des AK UGRdL nach einer für alle Bundesländer einheitlichen Methode durchgeführt, die soweit möglich dem Vorgehen des NIR folgt. Die Werte für 2021 sind als vorläufig zu bewerten. Durch die Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse kann es zu einer Neubewertung einzelner Emissionssektoren kommen, wodurch sich im Vergleich zu vergangenen Berichten Veränderungen der gesamten Zeitreihe ergeben können. Der gegenwärtige Berechnungsstand der hessischen CH_4 -Emissionen basiert auf dem NIR 2023.

Im Gegensatz zur Methodik bei den energiebedingten CO_2 -Emissionen werden biogene Energieträger bei der Berechnung der CH_4 -Emissionen insoweit berücksichtigt, dass durch ihre Nutzung freigesetztes CH_4 (z. B. diffuse Emissionen bei der Vergärung von Biomasse) in die Emissionsbilanzierung eingeht. Seit dem Bilanzjahr 2015 werden dazu für biogene Energieträger spezifische Emissionsfaktoren

verwendet. Für die Berechnung der einzelnen o. g. Emissionssektoren auf Ebene der Bundesländer gelten die folgenden methodischen Festsetzungen⁶:

Energie: Berücksichtigt werden Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe sowie flüchtige Emissionen aus der Energiegewinnung und -verteilung. Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen überall dort, wo stationäre oder mobile Feuerungsanlagen betrieben werden. Dies ist in der Energieerzeugung und -umwandlung, in der Industrie, im Verkehrssektor (ziviler Luftverkehr⁷ und Straßen-, Schienen-, Schiffs- sowie sonstiger Verkehr) sowie in Haushalten und bei sonstigen Kleinverbrauchern der Fall. Flüchtige Emissionen entstehen im Kohlebergbau und Kohletagebau sowie bei der Gewinnung und Verteilung von Erdöl und Erdgas. Für die hessischen CH₄-Emissionen ist hier nur die Verteilung von Erdgas relevant.

Prozesse und Produktanwendungen: Es werden prozessbedingte Emissionen aus der Herstellung von Industrieruß sowie aus petrochemischen Produkten und aus der Produktanwendung von Holzkohle einbezogen. Zukünftig ist außerdem die Berücksichtigung der prozessbedingten Emissionen aus der Stahlherstellung geplant.

Landwirtschaft: Es werden Emissionen aus der Viehhaltung (Verdauungsprozesse der Nutztierbestände) sowie Emissionen aus der Düngewirtschaft und der Vergärung von Energiepflanzen berücksichtigt. Hierfür wird auf die Daten des Johann Heinrich von Thünen-Instituts zurückgegriffen, die um Daten aus der amtlichen Statistik ergänzt werden.

Abfall- und Abwasserwirtschaft: Für die Abfallwirtschaft werden die Emissionen aus der Deponierung von Siedlungsabfällen sowie aus der Bioabfallbehandlung (Kompostierungsanlagen sowie Vergärungs- und Biogasanlagen) und aus mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen berücksichtigt. Die Emissionen aus biologischen Vergärungsprozessen werden je nach Verwendung der eingesetzten Biomasse teilweise in anderen Sektoren, z. B. in der Landwirtschaft, bilanziert (Vos, Rösemann et al. 2022: 60f). In der Abwasserwirtschaft werden die Emissionen aus Sickergruben sowie aus kommunalen und industriellen Kläranlagen berücksichtigt.

3.2 Die Methanemissionen im Einzelnen

Im Jahr 2021 wurden in Hessen knapp 57 000 t CH₄ emittiert. Seit 1990 haben sich die CH₄-Emissionen kontinuierlich verringert. Zuletzt lagen sie knapp 160 000 t bzw. 73,8 % unter dem Niveau von 1990 (Tabelle 7). Auf Bundesebene reduzierten sie sich prozentual etwas weniger stark: Hier lagen die CH₄-Emissionen im Jahr 2021 um 3,1 Mill. t bzw. 65,5 % unter denen des Basisjahres.

Bezogen auf die Bevölkerung resultierten daraus 2021 für Hessen Pro-Kopf-Emissionen in Höhe von 9,0 kg CH₄. Auf Bundesebene waren es pro Kopf 19,6 kg CH₄. Jede Hessin bzw. jeder Hesse emittierte damit weniger als die Hälfte des Bundesdurchschnitts. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Landwirtschaft als mengenmäßig größter CH₄-Emittent in der hessischen

⁶ Eine ausführliche Beschreibung der verschiedenen Rechenbereiche und verwendeten Datenquellen (auch für die Berechnung der Lachgasemissionen) enthält die Methodendokumentation des AK UGRdL unter www.statistikportal.de/de/ugrdl.

⁷ Für den Luftverkehr wird, wie für CO₂, nur der nationale Anteil berücksichtigt.

Wirtschaftsstruktur weniger bedeutsam ist als in der bundesdeutschen.

Tabelle 7 Methanemissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021

Gebiet	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ¹⁾	1990/2021
CH ₄ -Emissionen ²⁾ in t									Veränderungen in %
Hessen	216 693	143 895	104 613	84 496	73 977	63 069	58 599	56 709	– 73,8
Deutschland	4 735 914	3 430 228	2 591 914	2 146 433	1 996 260	1 723 623	1 680 407	1 631 705	– 65,5
Deutschland = 100									
Hessen	4,6	4,2	4,0	3,9	3,7	3,7	3,5	3,5	
CH ₄ -Emissionen ²⁾ je Einwohnerin bzw. Einwohner in kg									Veränderungen in %
Hessen	37,9	23,9	17,4	14,2	12,1	10,0	9,3	9,0	– 76,2
Deutschland	59,7	42,1	31,9	26,7	24,4	20,7	20,2	19,6	– 67,1
Deutschland = 100									
Hessen	63,5	56,8	54,5	52,9	49,3	48,4	46,1	45,9	
1) Für Hessen vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr; ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.									

Quellen: UGRdL; Umweltbundesamt, NIR 2023; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Die Entwicklung der hessischen CH₄-Emissionen in den einzelnen (Unter-)Sektoren ist in Tabelle 8 dargestellt. Gegenüber dem Vorjahr kam es 2021 in den einzelnen Sektoren zu einer unterschiedlichen Entwicklung. Insgesamt nahmen die CH₄-Emissionen um 1 900 t bzw. 3,2 % ab.

Ein Großteil des absoluten Rückgangs ist auf die Abfallentsorgung zurückzuführen, hier verringerten sich die CH₄-Emissionen gegenüber 2020 um 1 400 t bzw. 35 %. Dies beruht hauptsächlich auf einer deutlichen Reduktion der abgelagerten organischen Abfallmenge in den hessischen Deponien und dem Wegfallen der letzten hohen Werte von 2007 aus der Berechnungsmethodik. Die CH₄-Emissionen aus der Abfallentsorgung lagen damit 125 000 t bzw. 97,9 % unter dem Niveau von 1990, das ist mit Abstand der größte Rückgang aller Emissionssektoren. Ursächlich hierfür sind die zunehmende Sammlung von Bioabfällen⁸ und Wertstoffen sowie die getrennte Sammlung von Verpackungen und deren Verwertung. Nachdem die Deponierung von unbehandelten Siedlungsabfällen im Jahr 2005 verboten worden war, kam es außerdem zu einer verstärkten Verbrennung von Siedlungsabfällen, zur Ausweitung der mechanisch-biologischen Behandlung von Restabfällen sowie zu einer besseren Fassung und Verwertung von Deponiegas. Die daraus resultierende Reduzierung der Ausgasung aus deponierten Siedlungsabfällen wirkte sich deutlich auf die CH₄-Emissionen der Abfallentsorgung aus.

Eine weitere Emissionsreduzierung ergab sich in der Landwirtschaft, hier sanken die Emissionen 2021 im Vergleich zum Vorjahr um 900 t bzw. 2,1 %. Im Jahr 2021 kamen

⁸ Die Emissionen aus der biologischen Abfallbehandlung (Kompostierungs-, Vergärungs- und Biogasanlagen) haben durch die zunehmende Sammlung und Nutzung von Bioabfällen seit 1990 stark zugenommen, jedoch auf vergleichsweise niedrigem Niveau. Im Jahr 2021 machten sie in Hessen 3,1 % der gesamten CH₄-Emissionen aus.

72,7 % der CH₄-Emissionen aus der Landwirtschaft. Der Großteil der CH₄-Emissionen der Landwirtschaft geht auf Verdauungsprozesse der Viehbestände zurück. Sinkende Tierzahlen in Hessen, insbesondere der Rinderbestände, führten zu einer Verringerung der Emissionen.

Angestiegen sind hingegen die CH₄-Emissionen von stationären Feuerungsanlagen sowie aus der Energiegewinnung und -verteilung: Sie nahmen 2021 gegenüber dem Vorjahr um 453 t bzw. 20 t zu. Im Vergleich zum Basisjahr 1990 gingen Letztere jedoch um 78,6 % zurück. Die CH₄-Emissionen im Sektor „Energiegewinnung und -verteilung“ basiert vor allem auf diffusen Emissionen aus der Gasverteilung, die auf Basis der Rohrnetze bzw. Rohrnetzlängen ermittelt werden.

Tabelle 8 Methanemissionen in Hessen von 1990 bis 2021 nach Sektoren

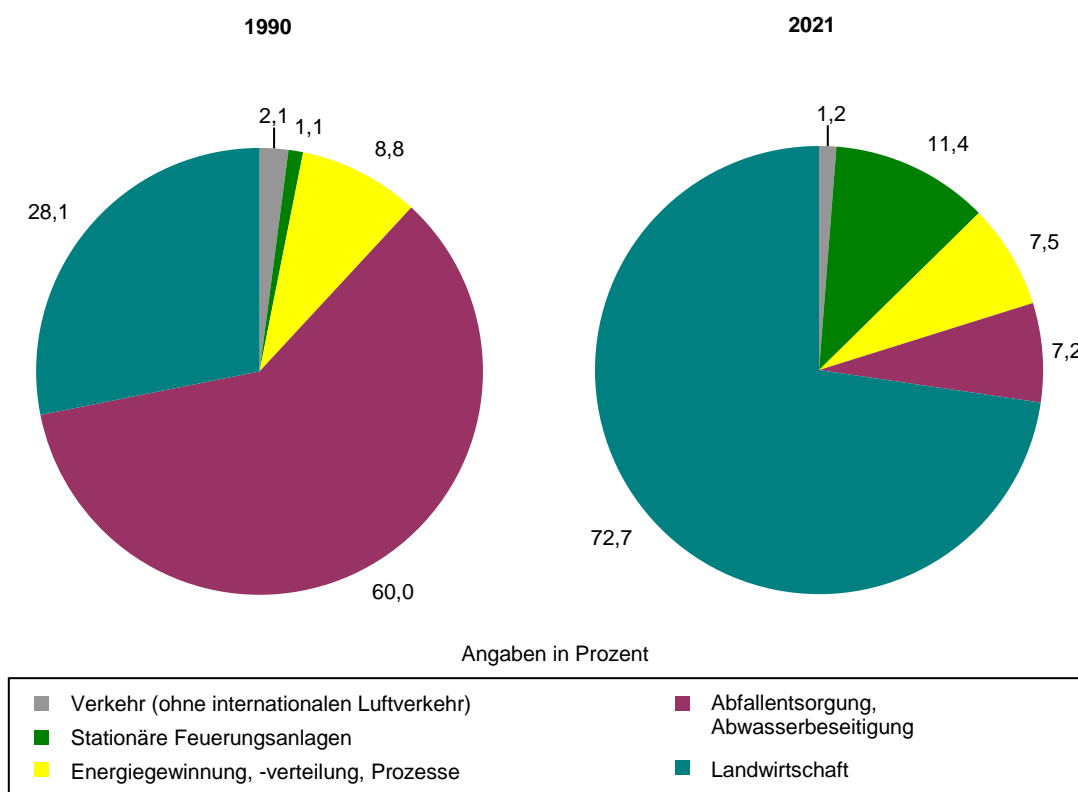
Emissionssektor	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ¹⁾
	CH ₄ -Emissionen in t							
Verkehr gesamt ²⁾	4 495	1 756	1 194	934	901	913	743	703
Stationäre Feuerungsanlagen	2 284	3 727	4 721	6 329	6 036	6 608	6 014	6 466
Energiegewinnung/-verteilung	18 783	15 263	11 904	9 246	6 610	4 742	4 007	4 027
Abwasserbeseitigung	2 739	1 997	1 978	1 751	1 611	1 465	1 422	1 424
Abfallentsorgung	127 240	70 036	37 876	20 581	13 533	6 531	4 047	2 632
Landwirtschaft	60 951	50 886	46 694	45 378	44 999	42 533	42 119	41 217
Prozesse, Produktanwendungen	200	229	247	277	288	278	247	240
Methanemissionen insgesamt³⁾	216 693	143 895	104 613	84 496	73 977	63 069	58 599	56 709
	Struktur der CH ₄ -Emissionen in %							
Verkehr gesamt ²⁾	2,1	1,2	1,1	1,1	1,2	1,4	1,3	1,2
Stationäre Feuerungsanlagen	1,1	2,6	4,5	7,5	8,2	10,5	10,3	11,4
Energiegewinnung/-verteilung	8,7	10,6	11,4	10,9	8,9	7,5	6,8	7,1
Abwasserbeseitigung	1,3	1,4	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
Abfallentsorgung	58,7	48,7	36,2	24,4	18,3	10,4	6,9	4,6
Landwirtschaft	28,1	35,4	44,6	53,7	60,8	67,4	71,9	72,7
Prozesse, Produktanwendungen	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Methanemissionen insgesamt³⁾	100	100	100	100	100	100	100	100
	Entwicklung der CH ₄ -Emissionen 1990 = 100							
Verkehr gesamt ²⁾	100	39	27	21	20	20	17	16
Stationäre Feuerungsanlagen	100	163	207	277	264	289	263	283
Energiegewinnung/-verteilung	100	81	63	49	35	25	21	21
Abwasserbeseitigung	100	73	72	64	59	53	52	52
Abfallentsorgung	100	55	30	16	11	5	3	2
Landwirtschaft	100	83	77	74	74	70	69	68
Prozesse, Produktanwendungen	100	114	124	139	144	139	124	120
Methanemissionen insgesamt³⁾	100	66	48	39	34	29	27	26
1) Vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr. – 3) Ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.								

Quellen: UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Der Verkehrssektor spielt für das CH₄-Emissionsgeschehen mengenmäßig eine untergeordnete Rolle. Gleiches gilt für die Abwasserbeseitigung sowie Prozesse und Produktanwendungen.

Die sektorale Struktur der CH₄-Emissionen hat sich seit 1990 deutlich verändert (Abbildung 15). Damals waren Abfallentsorgung und Abwasserbeseitigung für 60,0 % der CH₄-Emissionen in Hessen verantwortlich. Der Anteil des Sektors ist insbesondere aufgrund der beschriebenen Entwicklung bei der Deponierung von Siedlungsabfällen deutlich gesunken, 2021 betrug er nur noch 7,2 %. Der Emissionsanteil der Landwirtschaft ist deutlich gestiegen, von 28,1 % im Jahr 1990 auf 72,7 % 2021. Der Emissionsanteil der „Energiegewinnung, und -verteilung, Prozesse“ weist insgesamt rückläufige CH₄-Emissionen auf. Absolut reduzierten sich die Emissionen des Sektors erkennbar, allerdings nicht so stark wie die Gesamtemissionen. Der Anteil der stationären Feuerungsanlagen nahm deutlich zu, dies ist der einzige Sektor, in dem seit 1990 eine nennenswerte absolute Emissionszunahme erfolgte. Der Emissionsanteil des Verkehrssektors halbierte sich annähernd, jedoch auf vergleichsweise niedrigem Niveau.

Abbildung 15 Struktur der Methanemissionen in Hessen in den Jahren 1990 und 2021



Quellen: UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; vorläufige Werte für 2021.

Bei einem Vergleich der sektoralen Emissionsanteile zwischen Hessen und Deutschland fallen geringe Unterschiede auf. Die Landwirtschaft hat in Deutschland mit 75,6 % einen um 2,9 Prozentpunkte höheren Anteil an den CH₄-Emissionen als in Hessen. Dies spiegelt sich auch in einem größeren Gewicht des Sektors auf Bundesebene in Bezug auf die Bruttowertschöpfung und die Beschäftigtenzahl wider.

(siehe Tabelle 17 und Tabelle 18 im Anhang). Die Energie (Summe aus Energiegewinnung/-verteilung sowie stationären und mobilen Feuerungsanlagen) hat hingegen in Deutschland mit 14,4 % einen um 5,3 Prozentpunkte geringeren Emissionsanteil als in Hessen. Am geringsten fällt der Unterschied im Bereich Abfall- und Abwasserwirtschaft aus. Hier liegt der Anteil auf Bundesebene mit 8,6 % um 1,4 Prozentpunkte über dem Emissionsanteil in Hessen. Prozesse und Produktanwendungen spielen in Bezug auf die CH₄-Emissionen in Hessen und in Deutschland eine untergeordnete Rolle.

4 Lachgasemissionen

4.1 Methode zur Ermittlung der Lachgasemissionen und Berechnungsstand

Distickstoffoxid (N_2O) oder Lachgas zählt zu den klimarelevanten Gasen. Mit durchschnittlich über 100 Jahren hat N_2O eine relativ hohe atmosphärische Verweilzeit und ein hohes Treibhauspotenzial. Es setzt sich in der Stratosphäre außerdem mit dem dort vorhandenen Ozon zu Stickstoffmonoxid um und trägt so zum Ozonabbau bei. Die N_2O -Emissionen trugen 2021 in Deutschland mit 3,3 % zu den gesamten Treibhausgasfreisetzungen bei (ausgedrückt in CO_2 -Äquivalenten und ohne Berücksichtigung von Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft).

Die mit Abstand wichtigste Quelle der anthropogenen N_2O -Emissionen ist die Landwirtschaft (Viehhaltung, Düngemittel). Außerhalb der Landwirtschaft spielen auch Verbrennungsprozesse in mobilen Feuerungsanlagen (überwiegend im Straßenverkehr) eine Rolle. Ein N_2O -Ausstoß erfolgt außerdem in stationären Feuerungsanlagen, bei der Produktanwendung von Narkosemitteln und in der Abwasserbehandlung. Alle anderen Sektoren und Anwendungsbereiche sind mengenmäßig von untergeordneter Bedeutung.

Die Berechnung der N_2O -Emissionen wird im Rahmen des AK UGRdL nach einer für alle Bundesländer einheitlichen Methode durchgeführt, die soweit möglich dem Vorgehen des NIR folgt. Die Werte für 2021 sind als vorläufig zu bewerten. Die Berücksichtigung biogener Energieträger erfolgt analog zum zuvor genannten Vorgehen bei den CH_4 -Emissionen. Durch die Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse kann es zu einer Neubewertung einzelner Emissionssektoren kommen, wodurch sich im Vergleich zu vergangenen Berichten Veränderungen der gesamten Zeitreihe ergeben können. Der gegenwärtige Berechnungsstand der hessischen N_2O -Emissionen basiert auf dem NIR 2023.

Für die Sektoren „Verkehr“, „Stationäre Feuerungsanlagen“, „Abwasserbeseitigung“ und „Abfallentsorgung“ wird überwiegend analog zur Berechnung der CH_4 -Emissionen vorgegangen (siehe Abschnitt 3.1), hierbei werden die spezifischen N_2O -Emissionsfaktoren verwendet. Für die Abfallentsorgung fallen jedoch keine N_2O -Emissionen aus der Deponierung von Siedlungsabfällen an. In der Landwirtschaft fallen keine N_2O -Emissionen aus Verdauungsprozessen des Tierbestands an, dafür wird zusätzlich die landwirtschaftliche Bodennutzung einbezogen. Im Sektor „Prozesse und Produktanwendungen“ stehen Emissionen aus der Narkosemittelproduktion im Vordergrund, im Sektor „Energiegewinnung und Verteilung“ fallen keine N_2O -Emissionen an.

Bei der Berechnung der N_2O -Emissionen aus der landwirtschaftlichen Bodennutzung wurden 2022 erstmals Emissionsfaktoren für direkte N_2O -Emissionen aus der Ausbringung von Mineraldüngern, Wirtschaftsdüngern, Klärschlämmen und Gärresten sowie für N_2O -Emissionen aus Ernterückständen verwendet (Vos, 2022). Dadurch kam es im Sektor Landwirtschaft in der gesamten Zeitreihe zu deutlich niedrigeren Werten gegenüber dem Datenstand der Treibhausgasbilanz zum Jahr 2019.

4.2 Die Lachgasemissionen im Einzelnen

Im Jahr 2021 wurden in Hessen gut 3 000 t N₂O freigesetzt, die Emissionen sanken damit im Vergleich zum Vorjahr um 0,6 % (Tabelle 9). Im Vergleich zu 1990 reduzierten sich die N₂O-Emissionen um 1 200 t bzw. 27,9 %. Der hessische Anteil an den N₂O-Emissionen Deutschlands lag 2021 bei 3,2 % und damit 0,3 Prozentpunkte über dem durchschnittlichen Wert im Betrachtungszeitraum. Dieser Anteil hat sich seit 1990 um 1,1 Prozentpunkte erhöht, das heißt der Rückgang der N₂O-Emissionen in Hessen ist weniger stark als im gesamten Bundesgebiet.

Der Großteil der hessischen N₂O-Emissionen ist auf landwirtschaftliche Bodennutzung zurückzuführen. Die auf Ebene der Bundesländer ausgewiesenen Mengen für die dort verbuchte Verwendung von Stickstoffdünger spiegeln jedoch nur bedingt die tatsächlichen regional entstehenden Emissionen von N₂O wider, da die tatsächliche Ausbringung auf den Feldern nicht abgebildet werden kann.

Tabelle 9 Lachgasemissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021

Gebiet	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ¹⁾	1990/2021
N ₂ O-Emissionen ²⁾ in t									Veränderungen in %
Hessen	4 212	3 823	3 324	3 307	3 406	3 196	3 055	3 037	– 27,9
Deutschland	194 545	122 537	125 913	103 579	106 246	96 864	94 047	93 461	– 52,0
Deutschland = 100									
Hessen	2,2	3,1	2,6	3,2	3,2	3,3	3,2	3,2	
N ₂ O-Emissionen ²⁾ je Einwohnerin bzw. Einwohner in kg									Veränderungen in %
Hessen	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	– 34,5
Deutschland	2,5	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	– 54,2
Deutschland = 100									
Hessen	30,1	42,3	35,6	42,9	42,7	43,7	42,9	43,0	
1) Für Hessen vorläufige Werte. – 2) Ohne internationalen Luftverkehr; ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft.									

Quellen: UGRdL; Umweltbundesamt, NIR 2023; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

In Deutschland reduzierten sich die N₂O-Emissionen 2021 gegenüber dem Vorjahr um knapp 600 t bzw. 0,6 %. Im Vergleich zu 1990 waren sie 101 000 t bzw. 52,0 % niedriger. Die hessischen N₂O-Emissionen sanken bis 2003 deutlich, während sie sich anschließend bis 2016 auf einem konstanten Niveau hielten und seit 2017 einem erkennbaren Reduktionspfad folgen. Auf Bundesebene sind zwei markante Emissionsrückgänge erkennbar – beide gehen auf die chemische Industrie zurück. Ende der neunziger Jahre und Ende der 2000er Jahre reduzierte der Sektor seine N₂O-Emissionen sehr deutlich und dauerhaft: Im Jahr 2021 waren die N₂O-Emissionen aus der chemischen Industrie 70 000 t bzw. 97,8 % niedriger als 1990. Die insgesamt rückläufigen N₂O-Emissionen in Deutschland sind damit überwiegend auf die Emissionsentwicklung der chemischen Industrie zurückzuführen.

Rechnerisch verursachte jede Hessin bzw. jeder Hesse 2021 durchschnittlich 0,5 kg N₂O-Emissionen, auf Bundesebene waren es 1,1 kg pro Kopf. Die Pro-Kopf-Emissionen der hessischen Bevölkerung waren mit 43,0 % etwa halb so groß wie die bundesdeutschen. Wie bei den CH₄-Emissionen ist das überwiegend auf die geringere Bedeutung der Landwirtschaft in der hessischen Wirtschaftsstruktur zurückzuführen.

Auch wenn die absoluten N₂O-Emissionen im Vergleich zu CH₄ oder CO₂ gering sind, sollte bei einer Bewertung der Emissionsmengen berücksichtigt werden, dass N₂O das mit Abstand höchste Treibhauspotential der drei Stoffe hat (siehe Kapitel 6). Umgerechnet entsprechen die hessischen Pro-Kopf-Emissionen von 0,5 kg N₂O etwa 127,9 kg CO₂-Äquivalenten pro Kopf. Durch die hohe Klimawirksamkeit können also bereits geringe N₂O-Mengen einen erkennbaren Einfluss auf das gesamte Emissionsgeschehen haben.

Tabelle 10 Lachgasemissionen in Hessen von 1990 bis 2021 nach Sektoren

Emissionssektor	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021 ¹⁾
N ₂ O-Emissionen in t								
Verkehr gesamt ²⁾	264	469	276	357	440	494	440	435
Feuerungsanlagen	367	350	364	380	355	351	330	345
Abfall-/Abwasserwirtschaft	278	214	217	160	175	171	172	167
Landwirtschaft	2 805	2 481	2 346	2 322	2 368	2 114	2 049	2 021
<i>darunter</i>								
<i>Bodennutzung</i>	2 323	2 072	1 952	1 926	1 998	1 773	1 711	1 693
<i>Wirtschaftsdünger</i>	482	407	388	370	347	321	317	307
Prozesse, Produktanwendungen	498	309	120	89	68	65	65	71
N₂O-Emissionen insgesamt³⁾	4 212	3 823	3 324	3 307	3 406	3 196	3 055	3 037
Struktur der N ₂ O-Emissionen in %								
Verkehr gesamt ²⁾	6,3	12,3	8,3	10,8	12,9	15,5	14,4	14,3
Feuerungsanlagen	8,7	9,2	10,9	11,5	10,4	11,0	10,8	11,3
Abfall-/Abwasserwirtschaft	6,6	5,6	6,5	4,8	5,1	5,4	5,6	5,5
Landwirtschaft	66,6	64,9	70,6	70,2	69,5	66,2	67,1	66,5
<i>darunter</i>								
<i>Bodennutzung</i>	55,1	54,2	58,7	58,3	58,7	55,5	56,0	55,7
<i>Wirtschaftsdünger</i>	11,5	10,6	11,7	11,2	10,2	10,0	10,4	10,1
Prozesse, Produktanwendungen	11,8	8,1	3,6	2,7	2,0	2,0	2,1	2,3
N₂O-Emissionen insgesamt³⁾	100	100	100	100	100	100	100	100
Entwicklung der N ₂ O-Emissionen 1990 = 100								
Verkehr gesamt ²⁾	100	177	104	135	166	187	166	164
Feuerungsanlagen	100	95	99	103	97	96	90	94
Abfall-/Abwasserwirtschaft	100	77	78	58	63	62	62	60
Landwirtschaft	100	88	84	83	84	75	73	72
<i>darunter</i>								
<i>Bodennutzung</i>	100	89	84	83	86	76	74	73
<i>Wirtschaftsdünger</i>	100	84	80	77	72	67	66	64
Prozesse, Produktanwendungen	100	62	24	18	14	13	13	14
N₂O-Emissionen insgesamt³⁾	100	91	79	79	81	76	73	72

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

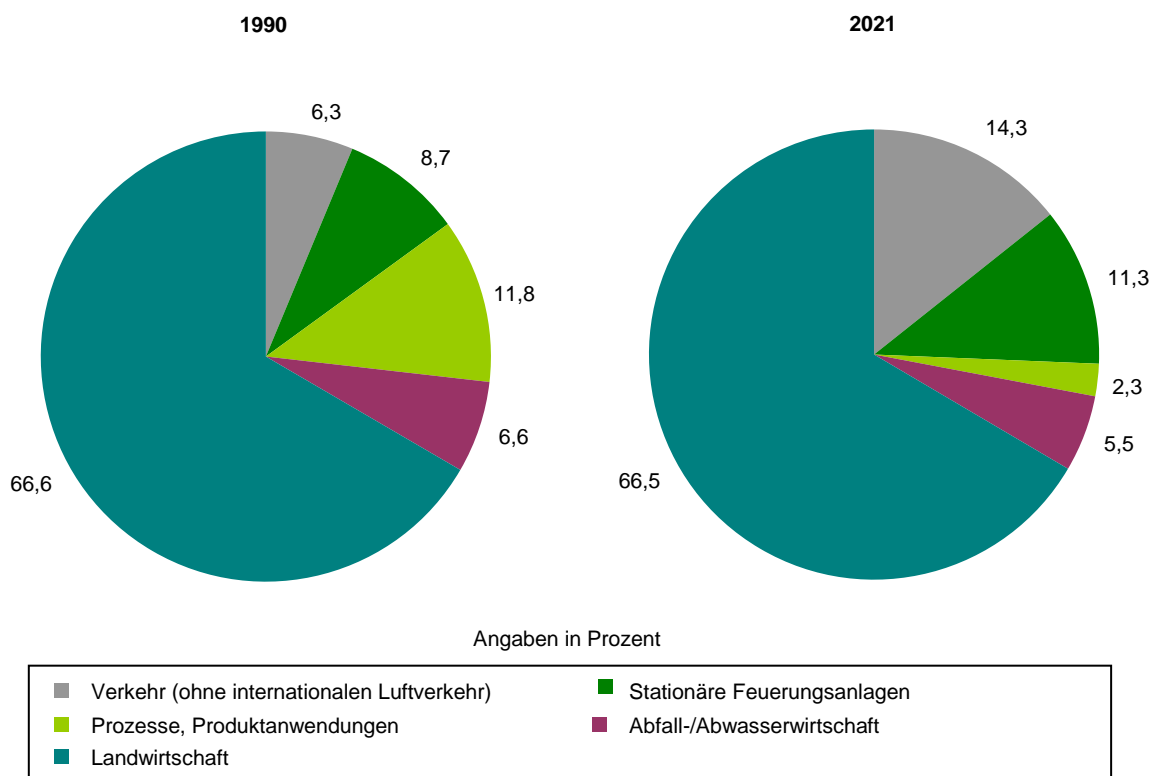
Quellen: UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Tabelle 10 zeigt die Entwicklung der N₂O-Emissionen in den einzelnen Emissionssektoren. Darin ist erkennbar, dass sich die (Unter-)Sektoren gegenüber dem Vorjahr nur leicht verändert haben. Die größte absolute Veränderung lag in der Reduktion von 28 t N₂O im Bereich der Landwirtschaft vor.

Die sektoralen Anteile an den N₂O-Emissionen haben sich zwischen 1990 und 2021 nicht so deutlich verändert wie bei den CH₄-Emissionen (Abbildung 16). Die Landwirtschaft trug 2021 mit 66,5 % weiterhin den mit Abstand größten Anteil bei. Allerdings trug sie seit 1990 mit knapp 800 t bzw. 28,0 % auch am stärksten zum Rückgang der hessischen N₂O-Emissionen bei. Zu einem Rückgang kam es ebenfalls im Bereich Prozesse und Produktanwendungen. Diese Entwicklung fand jedoch überwiegend vor 2010 statt, in den letzten Jahren blieben die N₂O-Emissionen des Sektors nahezu konstant. Im Gegensatz dazu ist der Beitrag des Verkehrssektors seit 2005 deutlich gestiegen und nahm im Jahr 2020 erstmalig wieder merklich ab. Der Rückgang setzte sich auch im Jahr 2021 mit 5 t bzw. 1,2 % fort.

Die sektoralen Anteile der N₂O-Emissionen sind in Hessen und Deutschland ähnlich: der Unterschied besteht darin, dass der Sektor Verkehr in Hessen höhere und die Landwirtschaft niedrigere Anteile besitzt als in Deutschland.

Abbildung 16 Struktur der Lachgasemissionen in Hessen in den Jahren 1990 und 2021



Quellen: UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; vorläufige Werte für 2021.

5 F-Gas-Emissionen

In die hessische Treibhausgasbilanz wurden für das Bilanzjahr 2019 erstmalig die Treibhausgasemissionen der F-Gase integriert. Die Bezeichnung „F-Gase“ steht für fluoridierte Treibhausgase und umfasst teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), vollfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW), Schwefelhexafluorid (SF_6) und Stickstofftrifluorid (NF_3). F-Gase werden in verschiedenen Sektoren und Anwendungen verwendet, häufig als Ersatz für ozonabbauende Stoffe, deren Nutzung seit der Verabschiedung des Montrealer Protokolls⁹ 1987 reduziert wird. F-Gase besitzen eine starke Treibhausgaswirkung: Ihre GWP-Werte sind bis zu 23 000 Mal größer als die von Kohlendioxid (UBA, 2023b).

Während die anderen Treibhausgase meist als unerwünschte Nebenprodukte freigesetzt werden, zum Beispiel bei der Verbrennung fossiler Rohstoffe, werden fluoridierte Treibhausgase zum überwiegenden Teil gezielt produziert und genutzt. Eingesetzt werden sie bis heute u. a. als Kältemittel in Kälte- und Klimaanlage, als Treibgas in Sprays, als Treibmittel in Schäumen und Dämmstoffen und als Feuerlöschmittel.

Die Emissionen der F-Gase trugen 2021 in Deutschland knapp 1,5 % zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei (ausgedrückt in CO_2 -Äquivalenten und ohne Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft). Seit dem Höchststand im Jahr 1995 sind die fluoridierten Treibhausgasemissionen um 30,7 % gesunken. Die Entwicklung der einzelnen Substanzgruppen verläuft – in Abhängigkeit von der Einführung neuer Technologien, der Verwendung bestimmter Stoffe als Substitute und wirksamer gesetzlicher Regelungen – recht inhomogen. So sanken seit 1995 in Deutschland die FKW-Emissionen (– 89,9 %) und die SF_6 -Emissionen (– 60,0 %) deutlich, während die HFKW-Emissionen erheblich anstiegen (+ 231,1 %).

Die Berechnung der F-Gas-Emissionen basiert auf den Bundeswerten (NIR) und erfolgt gemäß einer für alle Bundesländer einheitlichen Methode. Dazu werden im Rahmen des AK UGRdL die F-Gas-Emissionen des Bundes anhand der Bevölkerung auf die Bundesländer aufgeteilt. Eine Untergliederung in Stoffgruppen sowie Emissionssektoren liegt auf Länderebene nicht vor. Der gegenwärtige Berechnungsstand der hessischen F-Gas-Emissionen basiert auf dem NIR 2023.

Tabelle 11 bildet die Treibhausgasemissionen der F-Gase in Hessen und Deutschland zwischen 1990 und 2021 ab. Die abgebildeten Mengen sind die Summen der verschiedenen F-Gase. Die Emissionen werden direkt in CO_2 -Äquivalenten ($\text{CO}_2\text{äq}$) ausgewiesen, da die Treibhauspotenziale (GWP) der fluoridierten Treibhausgase je nach Substanz stark variieren.

⁹ Die unterzeichnenden 24 Staaten sowie die Europäische Gemeinschaft verpflichteten sich 1987, mit dem Montrealer Protokoll, aus der Nutzung von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) auszusteigen und so die weitere Zerstörung der Ozonschicht durch diese Stoffe zu stoppen. Im Oktober 2016 wurde das Abkommen auch um HFKW erweitert. In der EU sollten teilfluorierte Kohlenwasserstoffe bis zum Jahr 2023 um 79 % reduziert werden (Verordnung (EU) Nr. 517/2014). Mit Stand Oktober 2023 liegt auf europäischer Ebene ein Entwurf für eine neue F-Gas-Verordnung vor.

Tabelle 11 F-Gas-Emissionen in Hessen und Deutschland von 1990 bis 2021

Gebiet	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021	1990/2021
	F-Gas-Emissionen in 1000 t CO ₂ -Äquivalenten									Veränderungen in %
Hessen	888	1 177	940	1 005	1 019	1 091	998	885	840	– 5,4
Deutschland	12 324	16 021	12 735	13 576	13 701	14 523	13 212	11 697	11 104	– 9,9
	Deutschland = 100									
Hessen	7,2	7,3	7,4	7,4	7,4	7,5	7,6	7,6	7,6	

Quellen: UGRdL; Umweltbundesamt, NIR 2023; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts.

Im Jahr 2021 wurden in Hessen 0,8 Mill. t CO₂äq F-Gas freigesetzt. Damit gingen sie im Vergleich zum Vorjahr um 5,1 % zurück und setzten den seit 2018 zu beobachtenden Abwärtstrend weiter fort. Im Vergleich zu 1990 sanken die F-Gas-Emissionen um 48 000 t CO₂äq bzw. 5,4 %. Ihren Höchststand erreichten die F-Gase 1995 mit 1,2 Mill. t CO₂äq. Im Vergleich zu diesem späteren Stand (vom NIR als Basisjahr der F-Gase definiert) sind die F-Gas-Emissionen in Hessen um 28,6 % zurückgegangen. Auf Bundesebene reduzierten sie sich noch etwas stärker: Hier lagen die F-Gas-Emissionen im Jahr 2021 um 4,9 Mill. t CO₂äq bzw. 30,7 % unter dem Höchststand des Jahres 1995.

Grund für den Rückgang sind gesetzliche Regelungen, die die Verwendung der F-Gase limitieren. Zusätzlich wurden Emissionsminderungen bei der Herstellung von Primäraluminium, Halbleitern, der auslaufenden Anwendung in Autoreifen, der Produktion von Schallschuttscheiben und bei Anlagen zur Elektrizitätsübertragung erreicht. Trotzdem sind die Emissionen von 2000 bis 2017 gestiegen. Dies beruht vor allem auf dem verstärkten Einsatz von HFKW als Kältemittel in Kälte- und Klimaanlageanlagen.

6 Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)

Die hessische Treibhausgasbilanz berichtet seit Bilanzjahr 2015 Daten für den Berichtssektor „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ (Land Use, Land-Use Change and Forestry, LULUCF). Da auf internationaler Ebene noch keine verbindliche Übereinkunft über die Verrechnung der Netto-Emissionen des Berichtssektors LULUCF mit den Emissionen der anderen Sektoren besteht, erfolgt die Ausweisung nachrichtlich, d. h. die in diesem Sektor anfallenden Treibhausgasemissionen oder -senken gehen nicht in die hessische Gesamtbilanz ein.

Die ausgewiesenen Daten des LULUCF-Sektors in Hessen basieren auf den Berechnungen des Johann Heinrich von Thünen-Instituts (Thünen-Institut), die auch im NIR verwendet werden. Diese Daten stellt das Thünen-Institut den Mitgliedern des AK UGRdL zur Verfügung. Das Berechnungsmodell wurde in den letzten Jahren fortlaufend weiterentwickelt, wodurch sich die Qualität der auf Ebene der Bundesländer ausgewiesenen Daten verbessert hat. Durch die Überarbeitung der Methode und die Berücksichtigung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse können sich im Vergleich zu vergangenen Berichten Veränderungen der gesamten Zeitreihe ergeben.

So berücksichtigte die Methodenumstellung 2021 beispielsweise erstmalig den jährlichen Holzeinschlag, welcher neben Bewirtschaftungsfaktoren stark abhängig von Schadereignissen ist. Die Serie von Orkanen in Deutschland 1990 fließt somit nun in die Berechnung mit ein: Durch hohen Holzeinschlag kam es 1990 zu einer außergewöhnlich geringen Kohlenstoffspeicherung.

Grundlage der Berechnung ist eine Landnutzungsmatrix, die auf einem regelmäßigen Raster von Stichprobenpunkten basiert. Auf dieser Basis werden für die gesamte Fläche der Bundesrepublik alle Landnutzungen und Landnutzungsänderungen erfasst. Das verwendete Raster ermöglicht eine Ausweisung der Ergebnisse auf Ebene der Bundesländer. Die Berechnung der anfallenden Treibhausgasemissionen oder -senken erfolgt mit für die einzelnen Landnutzungskategorien spezifischen Emissionsfaktoren. Eine detaillierte Beschreibung der Daten und Berechnung enthält Kapitel 6 des NIR 2023.

Um eine vergleichbare Emissionsbewertung der abgebildeten Treibhausgase zu ermöglichen, werden die CH₄- und N₂O-Mengen anhand ihres Treibhauspotentials („Global Warming Potential“, GWP) in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Tabelle 12 bildet die Mengen der Treibhausgasemissionen bzw. -senken des LULUCF-Sektors in Hessen zwischen 1990 und 2021 nach Treibhausgasen ab. Die abgebildeten Mengen sind die Summen der verschiedenen Landnutzungsformen, wie z. B. Wald, Grün- und Ackerland oder Siedlungen (siehe NIR für eine vollständige Übersicht der verschiedenen Landnutzungsformen).

Tabelle 12 Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft in Hessen von 1990 bis 2021

Treibhausgas	Chemische Formel	GWP	1990	1991	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021
			Emissionen in 1000 t CO ₂ -Äquivalenten								
Kohlendioxid	CO ₂	1	- 965	- 6 248	- 3 594	- 2 924	- 3 944	- 4 725	- 3 892	- 2 917	- 3 569
Methan	CH ₄	28	12	12	12	12	12	12	13	13	13
Lachgas	N ₂ O	265	24	24	23	32	22	21	26	28	31
Insgesamt			- 929	- 6 212	- 3 558	- 2 880	- 3 910	- 4 692	- 3 853	- 2 877	- 3 525

Anmerkung: Negative Werte entsprechen Emissionssenkten.

Quelle: Thünen-Institut.

Der LULUCF-Sektor wirkte im Betrachtungszeitraum in Hessen als Kohlenstoffsенке, indem große Mengen CO₂ aufgenommen und gespeichert wurden. Die Netto-Emissionen des Sektors (ausgestoßene Treibhausgase minus gespeicherte Treibhausgase) betrugen 2021 insgesamt – 3,6 Mill. t CO₂äq, das heißt es wurde mehr CO₂ aufgenommen als ausgestoßen. Zurückzuführen ist das hauptsächlich auf die CO₂-Speicherung in Form von Biomasse in Wäldern. Auch Gehölze, die zur Landnutzungsform Grünland zählen, speicherten mehr CO₂ als sie ausstießen. Dagegen wurde durch Landnutzung in Form von Ackerland und Siedlungen deutlich mehr CO₂ ausgestoßen als aufgenommen. Im Jahr 2021 betrugen die Netto-Emissionen von CO₂ – 3,6 Mill. t. Damit ging die CO₂-Aufnahme des LULUCF-Sektors gegenüber 1991 – aufgrund hohen Sturmaufkommens gilt 1990 für CO₂ als Ausreißer – um 2,7 Mill. t CO₂ bzw. 42,9 % zurück.

In keiner Landnutzungsform erfolgte eine Speicherung von CH₄ und N₂O, das heißt diese Stoffe fielen ausschließlich als Emissionen an. Ein CH₄- bzw. N₂O-Ausstoß erfolgte vor allem durch Landnutzung in Form von Wald, Ackerland sowie in Feuchtgebieten und Siedlungen. Der CH₄-Ausstoß lag 2021 insgesamt um gut 500 t CO₂äq bzw. 4,2 % höher als 1990. Der N₂O-Ausstoß nahm im selben Zeitraum um 6 600 t CO₂äq bzw. 27,2 % zu. Diese Emissionen spielen gegenüber den CO₂-Mengen jedoch eine untergeordnete Rolle.

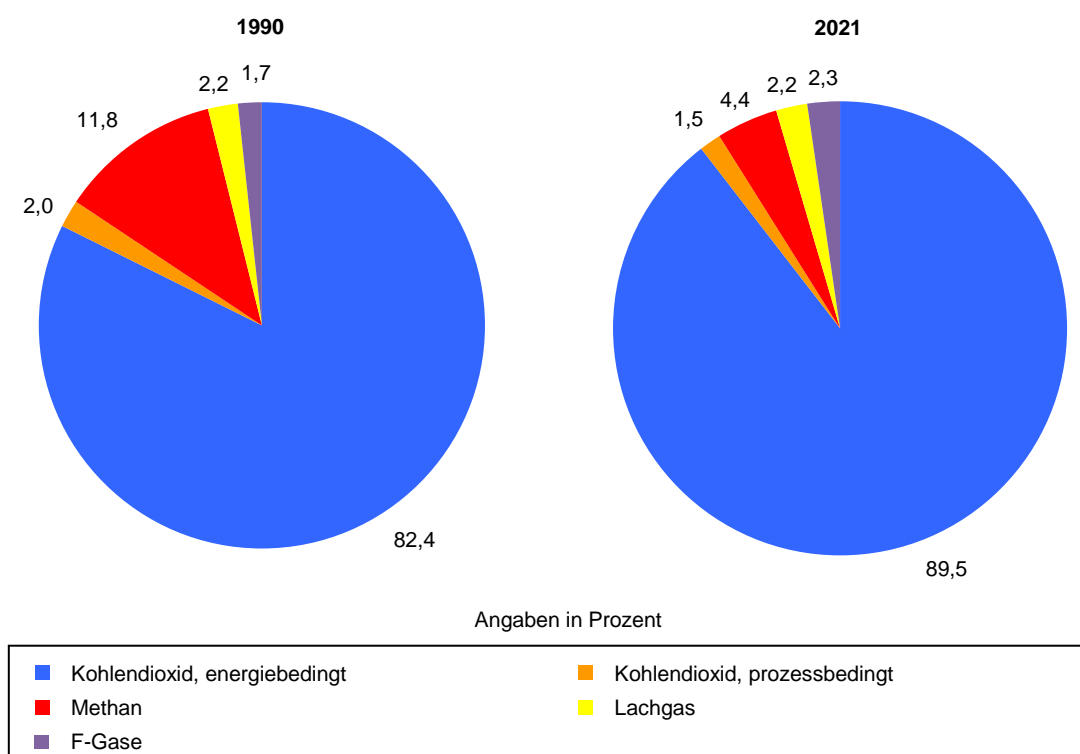
Die insgesamt rückläufige Senkenwirkung des LULUCF-Sektors gegenüber 1990 geht überwiegend auf die gesunkene CO₂-Speicherung in Form von Biomasse in Wäldern zurück. Außerdem sind die Emissionen aus den Landnutzungsformen Ackerland und Siedlungen zu großen Teilen auf die Konversion – also die Nutzungsänderung von Flächen – zurückzuführen, die zuvor den Landnutzungsformen Wald und Grünland zuzuordnen waren. Die Senkenwirkung des LULUCF-Sektors nahm 2021 im Vergleich zu 1991 insgesamt um 2,7 Mill. t CO₂äq bzw. 43,2 % ab.

7 Fazit

Die hessische Treibhausgasbilanz gibt einen Überblick über die Entwicklung und Struktur der Emissionen der mengenmäßig bedeutendsten Klimagase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (Distickstoffoxid, N₂O) und F-Gase (HFKW, FKW, SF₆ und NF₃) für das Bundesland Hessen. Die Ergebnisse werden in CO₂-Äquivalenten (CO₂äq) dargestellt und stehen seit 1990 zur Verfügung.

In Hessen wurden 2021 – ohne Berücksichtigung des internationalen Luftverkehrs – insgesamt 36,2 Mill. t CO₂-Äquivalente emittiert. Der Großteil der Emissionen entfiel mit 33,0 Mill. t CO₂ bzw. 91,1 % auf den energie- und prozessbedingten CO₂-Ausstoß. Methan machte mit 4,4 % den nächstgrößten Anteil aus, gefolgt von F-Gasen (2,3 %) und Lachgas (2,2 %). Der Anteil von CH₄ hat sich mit einem Rückgang von 7,4 Prozentpunkten seit dem Basisjahr am stärksten verändert (Abbildung 17).

Abbildung 17 Struktur der Gesamtemissionen in Hessen in CO₂-Äquivalenten in den Jahren 1990 und 2021



Quelle: Hessisches Statistisches Landesamt; UGRdL; Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; vorläufige Werte für 2021.

Gegenüber dem Vorjahr nahmen die Treibhausgasemissionen mit 660 000 t CO₂äq bzw. 1,8 % leicht zu. Der Anstieg resultiert vor allem aus höheren energiebedingten CO₂-Emissionen.

Die stärkste Zunahme hat hier der Sektor der Energieerzeugung und -umwandlung zu verzeichnen. Es wurden 680 000 t CO₂ bzw. 12,4 % mehr ausgestoßen als im Vorjahr. In der Industrie lag der Anstieg bei 148 000 t CO₂ bzw. 5,2 % und im Verkehrssektor bei 54 000 t CO₂ bzw. 0,4 %. Der Ausstoß lag etwa auf dem Niveau von 2019, dem Jahr vor der Corona-Pandemie. Lediglich im Verkehrssektor lagen die Emissionen

noch deutlich unter dem Vorkrisenniveau. Energiebedingte Emissionen stellen den Hauptteil der hessischen Treibhausgase dar und werden sowohl von witterungsbedingten als auch konjunkturellen Schwankungen beeinflusst. Die Emissionen werden hauptsächlich vom Wärmebedarf bzw. dem Einsatz von Heizöl und Erdgas sowie dem Energieträgermix der Stromerzeugung bestimmt.

Bis spätestens 2045 muss Hessen nach dem Hessischen Klimagesetz (HKlimaG) Klimaneutralität erreichen. Folgende Zwischenziele wurden definiert: Bis 2030 müssen die Treibhausgasemissionen um 65 % und bis 2040 um 88 % reduziert werden – jeweils im Vergleich zum Jahr 1990. Das Hessische Kabinett hat beschlossen, dass die Emissionen bis 2030 im Sektor Energie um 51 %, im Sektor Haushalt, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen um 68 %, im Verkehrssektor um 35 %, im Industriesektor um 65 %, die Methan- und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft um 32 % und sonstige Methan- und Lachgasemissionen um 80 % reduziert werden sollen.

Für das Berichtsjahr 2021 haben sich die Treibhausgasemissionen insgesamt im Vergleich zu 1990 um 29,8 % reduziert. Die Entwicklung der einzelnen Treibhausgase gegenüber dem Basisjahr ist unterschiedlich:

Kohlendioxid (CO ₂ , energiebedingt)	– 23,6 %,
Kohlendioxid (CO ₂ , prozessbedingt)	– 45,5 %,
Methan (CH ₄)	– 73,8 %,
Lachgas (N ₂ O)	– 27,9 %,
F-Gase	– 5,4 %.

Die Veränderungen der energiebedingten CO₂-Emissionen der einzelnen Sektoren seit dem Basisjahr sehen wie folgt aus:

Energieerzeugung/-umwandlung	– 10,4 %,
Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen	– 26,4 %.
Verkehr	– 15,7 %,
Industrie	– 50,8 %,

Im Jahr 2020 waren die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 insgesamt 31,0 % niedriger. Der damalige Rückgang an Emissionen beruhte maßgeblich auf den Folgen der Corona-Pandemie, vor allem im Verkehrs- und Energiebereich und der mildereren Witterung. Im Jahr 2021 liegen die Treibhausgasemissionen 29,8 % niedriger als im Jahr 1990 und damit insgesamt auf einem höheren Niveau als im Jahr 2020.

Verwendete Abkürzungen

AK VGRdL	Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder
BIP	Bruttoinlandsprodukt
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ äq	CO ₂ -Äquivalente (nach Umrechnung anhand GWP)
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
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry (engl.) = Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft
Mill.	Million(en)
N ₂ O	Distickstoffoxid = Lachgas
NF ₃	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
PEV	Primärenergieverbrauch
SF ₆	Schwefelhexafluorid
t	Tonne(n)
TJ	Terajoule
UBA	Umweltbundesamt
UGRdL	Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen
Thünen-Institut	Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei
WZ	Wirtschaftszweig(e)

Quellenverweise

- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, www.ag-energiebilanzen.de.
- Arbeitskreis Erwerbstätigenrechnung des Bundes und der Länder, [www. https://www.statistikportal.de/de/etr](https://www.statistikportal.de/de/etr).
- Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder, www.statistikportal.de/de/ugrdl.
- Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder, www.statistikportal.de/de/vgrdl.
- Arikan, S. (2015), „Regionale Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen: Neue Methoden und neue Ergebnisse“, in: Staat und Wirtschaft in Hessen 6/2015.
- Emmel, W. (2015), „Das Europäische System Volkswirtschaftlicher Gesamtrechnungen 2010: Einführung in die Regionalrechnungen“, in: Staat und Wirtschaft in Hessen 2/2015.
- Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) (2017), „Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025“, Wiesbaden.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2015), “Synthesis Report of the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Genf, Schweiz.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023), “Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Genf, Schweiz.
- Institut Wohnen und Umwelt (IWU) (2023), “Berechnungswerkzeuge für EnEV und Energieberatung. Gradtagszahlen-Deutschland”, verfügbar unter <https://www.iwu.de/publikationen/fachinformationen/energiebilanzen/#c205> [abgerufen am 10.10.2023].
- Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008).
- Länderarbeitskreis Energiebilanzen, www.lak-energiebilanzen.de.
- Vos, Rösemann et al. (2022) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2020: Report on methods and data (RMD) Submission 2022, Thünen Report 91, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- Statistisches Bundesamt, www.destatis.de.
- Umweltbundesamt (2013), „Kyoto-Protokoll. Entstehungsgeschichte und erste Verpflichtungsperiode“, verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/internationale-eu-klimapolitik/kyoto-protokoll> [abgerufen am 20.10.2023].
- Umweltbundesamt (2023), „Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990 – 2021“, Dessau (Datenstand: 15.04.2023).
- Umweltbundesamt (2023a), „Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021“, Dessau.

- Umweltbundesamt (2023b), Treibhauspotentiale (Global Warming Potential, GWP) ausgewählter Verbindungen und deren Gemische gemäß Viertem (AR4) und Fünftem (AR5) Sachstandsbericht des IPCC bezogen auf einen Zeitraum von 100 Jahren, Dessau.
- Umweltbundesamt (2023c), „Treibhausgasemissionen stiegen 2021 um 4,5 Prozent“, Pressemitteilung vom 15.03.2022 verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/internationale-eu-klimapolitik/kyoto-protokoll> [abgerufen am 30.10.2023].
- United Nations Environment Programme and Climate and Clean Air Coalition (2021), „Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions“, Nairobi.
- World Meteorological Organization (2022), „WMO Greenhouse Gas Bulletin (GHG Bulletin) - No. 18: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2021“, Genf.

Anhang

Anhang 1: Demographische und gesamtwirtschaftliche Entwicklung

Die Entwicklung der Emissionen einer Region oder eines Staates hängt auch 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 13).

Tabelle 13 Bevölkerung in Hessen, West- und Ostdeutschland sowie Deutschland insgesamt von 1990 bis 2021

Jahr	Hessen	Deutschland			Hessen im Vergleich zu	
		West ¹⁾	Ost ²⁾	Insgesamt	West-deutschland ¹⁾	Deutschland insgesamt
		Bevölkerung in 1000 im Jahresdurchschnitt			%	
1990	5 717	61 107	18 257	79 363	9,4	7,2
1995	5 972	63 722	17 586	81 308	9,4	7,3
2000	6 013	64 370	17 087	81 457	9,3	7,4
2005	6 023	64 857	16 480	81 337	9,3	7,4
2010	5 969	64 333	15 951	80 284	9,3	7,4
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
2017	6 228	66 487	16 170	82 657	9,4	7,5
2018	6 255	66 716	16 190	82 906	9,4	7,5
2019	6 277	66 895	16 198	83 093	9,4	7,6
2020	6 291	66 979	16 182	83 161	9,4	7,6
2021	6 294	67 040	16 156	83 196	9,4	7,6

1) Ohne Berlin. – 2) Einschl. Berlin.
2020 Fortschreibungsergebnisse auf Basis des Zensus 2011.

Quellen: Statistisches Bundesamt; AK VGRdL (Berechnungsstand: August 2022).

Demnach lebten in Hessen im Jahr 2021 mit 6,3 Millionen Menschen 7,6 % der Bevölkerung Deutschlands. Zwischen 1990 und 2003 wuchs die hessische Bevölkerung kontinuierlich an. In diesem Zeitraum kamen pro Jahr durchschnittlich 24 000 Personen hinzu. Nach dieser lang anhaltenden Wachstumsphase verminderte sich die Bevölkerung 2004 erstmals leicht um 2 000 Personen. Bis 2010 ging die Bevölkerungszahl durchgehend um insgesamt knapp 60 000 Personen zurück. Von 2011 bis 2014 war wieder ein jährlicher Zuwachs von durchschnittlich 25 000 Personen zu verzeichnen. 2015 und 2016 wuchs die hessische Bevölkerung mit über 65 000 bzw. knapp 60 000 neuen Personen deutlich stärker als in den vorherigen Jahren. Diese Entwicklung schwächte sich ab 2017 wieder ab, seitdem wuchs die hessische Bevölkerung um durchschnittlich 20 000 Personen pro Jahr. Im Vergleich zu 1990 wuchs die Bevölkerung in Hessen bis zum Jahr 2021 um knapp 577 000 Personen bzw. 10,0 %.

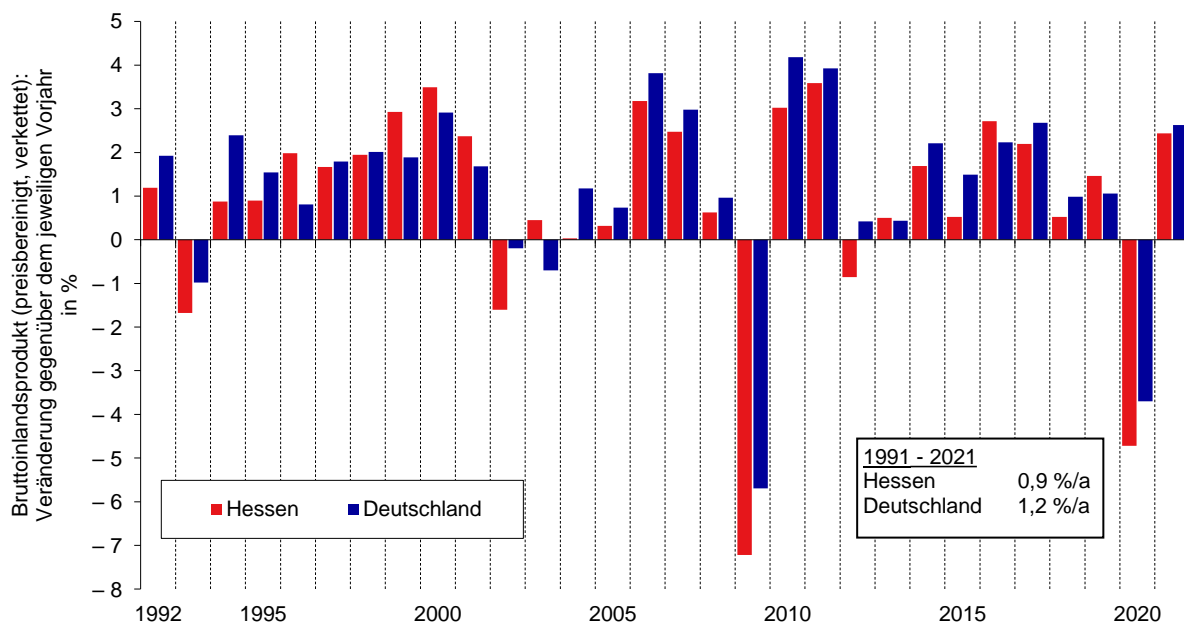
In Deutschland lag der Bevölkerungszuwachs 2021 gegenüber dem Basisjahr 1990 bei 4,8 %, wobei die Bevölkerung zwischen 2003 und 2011 um insgesamt 1,3 Mill.

Personen zurückging. Seitdem wuchs die Bevölkerung durchschnittlich um 292 000 Personen pro Jahr, 2015 und 2016 war das Bevölkerungswachstum mit 704 000 bzw. 662 000 Personen deutlich größer.

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).

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. Seitdem muss zwischen zwei Darstellungsweisen unterschieden werden: Bei Zeitreihen, für die die Preise nun jeweils für das Vorjahr bereinigt werden, stehen Kettenindizes bzw. Veränderungsrate zur Verfügung. Für Strukturvergleiche, z. B. zwischen Hessen und Deutschland, werden jeweilige Preise (nominales Bruttoinlandsprodukt) verwendet.

Abbildung 18 Veränderung des Bruttoinlandsproduktes (preisbereinigt, verkettet) in Hessen und Deutschland von 1991 bis 2021



Quellen: Statistisches Bundesamt; AK VGRdL (Berechnungsstand: August 2022); Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; Fortschreibungsergebnisse für 2021.

Daten der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen liegen ab dem Jahr 1991 vor. Im Rahmen der Revision 2014 stand die europaweite Einführung des neuen Europäischen Systems der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen 2010 im Vordergrund. Deutschlandweit wurde das Bruttoinlandsprodukt (BIP) 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). In dieser Treibhausgasbilanz wird der Datenstand nach der Generalrevision 2019 verwendet. Basis für die preisbereinigten und verketteten BIP-Werte ist seitdem das Jahr 2015.

Das Wirtschaftswachstum unterlag in den letzten drei Jahrzehnten Schwankungen. Den stärksten Rückgang erlebte das hessische preisbereinigte BIP im Rahmen der Finanzkrise im Jahr 2009 (– 7,2 %), ein paar Jahre später im Jahr 2012 sank es erneut gegenüber dem Vorjahr. Danach lag die jährliche Wachstumsrate – mit Ausnahme von 2016 und 2017 – unter 2,0 %. 2021 stieg das hessische BIP preisbereinigt um 2,4 % gegenüber dem Vorjahr. Im Zeitraum von 1991 bis 2021 stieg es um durchschnittlich 0,9 % pro Jahr, dieser Durchschnitt wird durch den Tiefstwert im Jahr 2009 (– 7,2 %) sowie dem Corona-Jahr 2020 (– 4,7 %) nach unten gedrückt.

In Deutschland stieg das preisbereinigte BIP 2021 gegenüber dem Vorjahr um 2,6 %. Die Wachstumsrate im gesamten Beobachtungszeitraum fiel auf Bundesebene mit durchschnittlich 1,2 % pro Jahr höher aus als in Hessen (Abbildung 18).

Das hessische BIP betrug im Jahr 2021 nominal 303,3 Milliarden Euro (Tabelle 14). Damit erreichte Hessen einen Anteil von 8,4 % am bundesdeutschen BIP (3 602,8 Milliarden Euro) – im Vergleich zu einem Bevölkerungsanteil von 7,6 %.

Tabelle 14 Bruttoinlandsprodukt in Hessen, West- und Ostdeutschland sowie Deutschland insgesamt von 1991 bis 2021

Jahr	Hessen	Deutschland			Hessen im Vergleich zu	
		West ¹⁾	Ost ²⁾	Insgesamt	West-deutschland ¹⁾	Deutschland insgesamt
		Mill. Euro in jeweiligen Preisen			%	
1991	150 304	1 409 566	176 234	1 585 800	10,7	9,5
1995	170 247	1 601 102	293 508	1 894 610	10,6	9,0
2000	193 586	1 792 027	317 063	2 109 090	10,8	9,2
2005	211 230	1 949 409	338 901	2 288 310	10,8	9,2
2010	226 703	2 177 161	387 239	2 564 400	10,4	8,8
2015	260 263	2 567 388	458 792	3 026 180	10,1	8,6
2016	271 155	2 657 752	476 988	3 134 740	10,2	8,6
2017	280 094	2 767 078	500 082	3 267 160	10,1	8,6
2018	286 128	2 849 560	515 890	3 365 450	10,0	8,5
2019	295 779	2 933 691	539 569	3 473 260	10,1	8,5
2020	288 127	2 869 850	535 580	3 405 430	10,0	8,5
2021	303 310	3 036 198	565 552	3 601 750	10,0	8,4

1) Ohne Berlin. – 2) Einschließlich Berlin.
2020 Fortschreibungsergebnisse auf Basis des Zensus 2011.

Quellen: Statistisches Bundesamt; AK VGRdL (Berechnungsstand: August 2022).

Im Durchschnitt trug jede Hessin bzw. jeder Hesse im Jahr 2021 mit 48 000 Euro zum BIP bei, das sind 6,4 % mehr als der Durchschnittswert in Westdeutschland (Tabelle 15). Im Vergleich zu Ostdeutschland, in dem das BIP pro Kopf bei durchschnittlich 35 000 Euro lag, waren es 37,7 % mehr. Der Bundesdurchschnitt von 43 000 Euro pro Kopf wurde um 11,3 % übertroffen. In den hohen Werten des BIP je Einwohnerin bzw.

Einwohner spiegelt sich die im bundesdeutschen Vergleich überdurchschnittliche Wirtschaftskraft Hessens wider.

Tabelle 15 Bruttoinlandsprodukt je Einwohnerin bzw. Einwohner in Hessen, West- und Ostdeutschland sowie Deutschland insgesamt von 1991 bis 2021

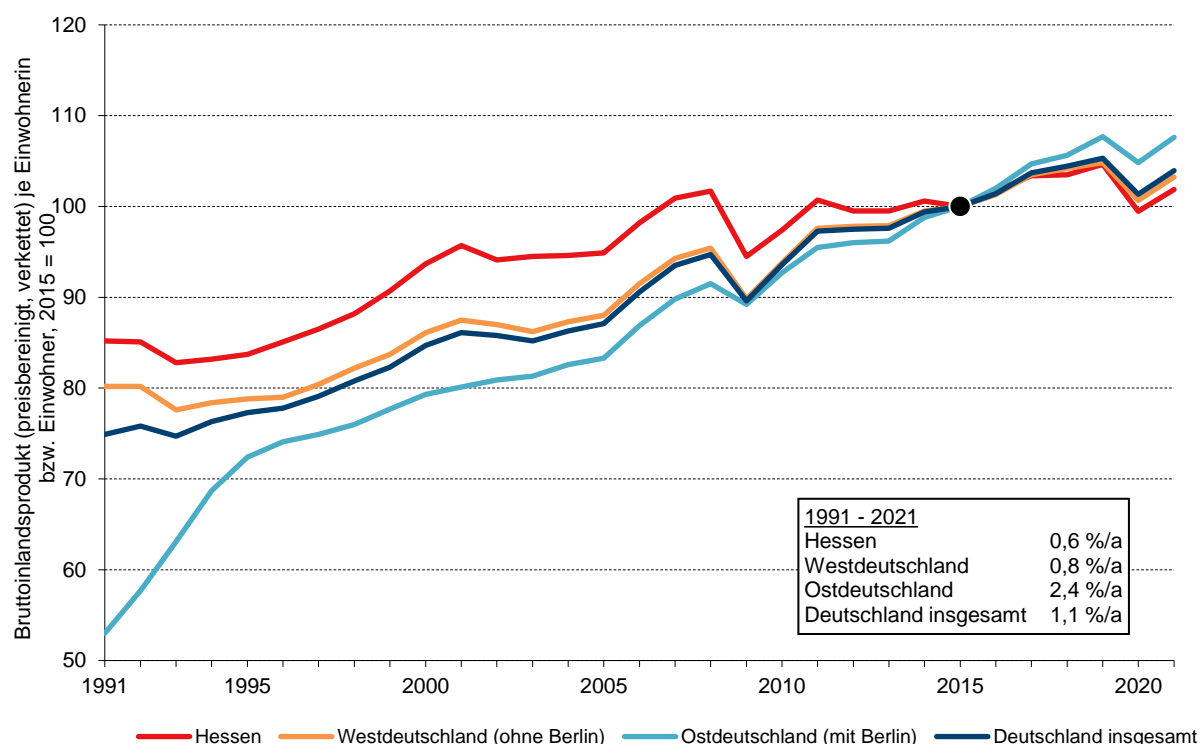
Jahr	Hessen	Deutschland			Hessen im Vergleich zu	
		West ¹⁾	Ost ²⁾	Insgesamt	West-deutschland ¹⁾	Deutschland insgesamt
		Euro in jeweiligen Preisen je Einwohnerin bzw. Einwohner			%	
1991	25 924	22 767	9 758	19 829	113,9	130,7
1995	28 509	25 126	16 690	23 302	113,5	122,3
2000	32 195	27 840	18 556	25 892	115,6	124,3
2005	35 068	30 057	20 565	28 134	116,7	124,6
2010	37 978	33 842	24 277	31 942	112,2	118,9
2015	42 422	39 113	28 592	37 046	108,5	114,5
2016	43 773	40 140	29 558	38 067	109,1	115,0
2017	44 972	41 619	30 926	39 527	108,1	113,8
2018	45 747	42 712	31 865	40 594	107,1	112,7
2019	47 121	43 855	33 311	41 800	107,4	112,7
2020	45 803	42 847	33 098	40 950	106,9	111,9
2021	48 190	45 289	35 006	43 292	106,4	111,3

1) Ohne Berlin. – 2) Einschließlich Berlin.
2021 Fortschreibungsergebnisse auf Basis des Zensus 2011.

Quellen: Statistisches Bundesamt; AK VGRdL (Berechnungsstand: August 2022).

Das preisbereinigte BIP pro Kopf wuchs von 1991 bis 2021 in Hessen mit durchschnittlich 0,6 % pro Jahr langsamer als im Bund (1,1 %, Abbildung 19). Darin kommt neben dem auf Bundesebene zwischenzeitlich etwas stärkeren Bevölkerungsrückgang auch das stärkere Wirtschaftswachstum in Ostdeutschland in der ersten Hälfte der neunziger Jahre zum Ausdruck, die sich von einem weit geringeren Niveau ausgehend entwickelten. Doch auch im Vergleich mit den übrigen Ländern des früheren Bundesgebietes (durchschnittlich 0,8 %; ohne Berlin) wuchs die wirtschaftliche Leistung in Hessen im Betrachtungszeitraum weniger stark.

Abbildung 19 Bruttoinlandsprodukt (preisbereinigt, verkettet) pro Kopf in Hessen, West- und Ostdeutschland sowie Deutschland insgesamt von 1991 bis 2021



Quellen: Statistisches Bundesamt, AK VGRdL (Berechnungsstand: August 2022); Berechnungen des Hessischen Statistischen Landesamts; Fortschreibungsergebnisse für 2021.

Bei der Struktur der Bruttowertschöpfung gibt es einige Unterschiede zwischen Hessen und Deutschland (Tabelle 16). In Hessen ist der tertiäre Sektor stärker ausgeprägt als in der Bundesrepublik. Im Jahr 2021 war der Wirtschaftsbereich „Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleister, Grundstücks- und Wohnungswesen“ mit 32,8 % an der Bruttowertschöpfung der hessischen Wirtschaftsbereiche beteiligt. In Deutschland besaß dieser Wirtschaftsbereich einen Anteil von 25,8 %.

Der Wirtschaftsbereich „Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation“ spielte in Hessen u. a. wegen des Frankfurter Flughafens als internationalem Luftverkehrsdrehkreuz mit einem Anteil von 23,2 % eine größere Rolle als auf Bundesebene (20,9 %). Dagegen fiel der Beitrag des Wirtschaftsbereichs „Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung, Gesundheit“ zur Bruttowertschöpfung in Hessen mit 20,1 % niedriger aus als in Deutschland (22,8 %). Das Produzierende Gewerbe hatte in Hessen mit 19,1 % ein deutlich geringeres gesamtwirtschaftliches Gewicht als auf Bundesebene (24,0 %). Das Baugewerbe trug zu 4,5 % und die Landwirtschaft zu 0,4 % zur hessischen Bruttowertschöpfung bei (5,5 % bzw. 0,9 % in Deutschland).

Tabelle 16 Struktur der Bruttowertschöpfung in Hessen und Deutschland von 1991 bis 2021 nach Wirtschaftsbereichen

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	27,8	4,8	20,7	29,7	16,2
1995	100	0,6	23,7	4,8	20,7	32,5	17,7
2000	100	0,5	22,4	4,1	21,4	33,8	17,8
2005	100	0,4	21,2	3,0	22,3	35,3	17,7
2010	100	0,4	20,8	3,5	22,3	34,6	18,4
2015	100	0,4	20,6	3,8	23,3	32,8	19,1
2016	100	0,4	21,4	4,0	23,2	32,1	18,9
2017	100	0,4	21,1	4,0	23,3	32,2	19,0
2018	100	0,4	20,1	4,2	23,9	32,2	19,4
2019	100	0,4	19,7	4,1	24,0	32,1	19,7
2020	100	0,3	18,9	4,4	22,9	33,1	20,3
2021	100	0,4	19,1	4,5	23,2	32,8	20,1
Deutschland insgesamt							
1991	100	1,2	30,8	6,0	19,6	22,5	19,8
1995	100	1,1	26,0	6,9	19,6	25,1	21,3
2000	100	1,1	25,6	5,2	20,5	26,2	21,4
2005	100	0,8	25,2	3,9	21,0	27,4	21,7
2010	100	0,9	25,5	4,3	20,1	27,1	22,0
2015	100	0,8	25,6	4,6	20,4	26,7	22,0
2016	100	0,8	25,9	4,7	20,4	26,2	21,9
2017	100	0,9	25,8	4,7	20,5	26,1	21,9
2018	100	0,8	25,4	4,9	20,7	26,1	22,1
2019	100	0,9	25,0	4,9	20,9	25,8	22,5
2020	100	0,8	23,9	5,4	20,5	26,1	23,2
2021	100	0,9	24,0	5,5	20,9	25,8	22,8

2021 Fortschreibungsergebnisse auf Basis des Zensus 2011.

Quellen: Statistisches Bundesamt; AK VGRdL (Berechnungsstand: August 2022).

Insgesamt hat sich im Betrachtungszeitraum sowohl in Hessen als auch in Deutschland ein erkennbarer 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 27,8 % bzw. 29,7 % fast gleich hoch. Im Jahr 2021 betrug der Unterschied zwischen diesen beiden Wirtschaftsbereichen 13,7 Prozentpunkte.

In Deutschland war das Produzierende Gewerbe 1991 der anteilstärkste Wirtschaftsbereich der Bruttowertschöpfung. 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 im

Vergleich zu 1991 leicht gesunken, während die Anteile der Wirtschaftsbereiche „Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation“ sowie „Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung und Gesundheit“ stiegen.

Tabelle 17 Zahl der Erwerbstätigen in Hessen und Deutschland von 1991 bis 2021 nach Wirtschaftsbereichen

Jahr	Erwerbs- tätige insgesamt	Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	Produzierendes Gewerbe ohne Baugewerbe	Baugewerbe	Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation	Finanz-, Versicherungs- und Unternehmens- dienstleister, Grundstücks- und Wohnungswesen	Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung, Gesundheit
	in 1000	Sektorale Struktur der Erwerbstätigen in %					
	Hessen insgesamt						
1991	2 958	1,9	26,4	6,2	28,7	12,6	24,2
1995	2 952	1,6	23,0	6,4	28,2	14,5	26,4
2000	3 121	1,2	19,8	5,6	28,2	18,2	27,0
2005	3 073	1,1	17,9	4,9	28,2	19,6	28,3
2010	3 179	1,0	16,5	5,0	27,6	20,6	29,3
2015	3 341	0,9	16,2	5,2	27,3	20,6	29,7
2016	3 385	0,8	16,0	5,3	27,4	20,6	29,8
2017	3 446	0,8	15,9	5,4	27,4	20,8	29,8
2018	3 498	0,7	15,7	5,4	27,5	20,8	29,7
2019	3 532	0,8	15,5	5,4	27,6	20,8	30,0
2020	3 504	0,7	15,1	5,5	27,5	20,7	30,4
2021	3 511	0,7	14,8	5,6	27,2	20,9	30,8
	Deutschland insgesamt						
1991	38 871	3,0	28,2	7,4	25,3	9,7	26,3
1995	38 042	2,3	23,1	8,7	25,7	11,3	28,8
2000	39 971	1,9	21,2	7,2	26,2	14,0	29,5
2005	39 311	1,7	19,9	5,8	26,3	15,4	30,9
2010	41 048	1,6	18,8	5,7	25,9	16,8	31,3
2015	43 122	1,5	18,7	5,6	25,7	17,3	31,2
2016	43 661	1,4	18,6	5,6	25,6	17,4	31,4
2017	44.251	1,4	18,5	5,6	25,6	17,5	31,4
2018	44.866	1,4	18,5	5,6	25,7	17,4	31,5
2019	45.276	1,3	18,5	5,6	25,6	17,2	31,7
2020	44.915	1,3	18,2	5,8	25,4	17,1	32,2
2021	44.984	1,2	17,9	5,8	25,2	17,1	32,7

Quellen: Arbeitskreis Erwerbstätigenrechnung des Bundes und der Länder (Berechnungsstand: August 2023).

Die auf den tertiären Sektor ausgerichtete Wirtschaftsstruktur Hessens spiegelt sich auch in der Struktur der Erwerbstätigkeit wider. Aus der Umsetzung der Revision 2014 in der Erwerbstätigenrechnung resultiert eine Niveauanhebung 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 32 000 Erwerbstätigen oder 1,0 % (Emmel 2015). Die Ergebnisse der Generalrevision 2019 sind in der Treibhausgasbilanz berücksichtigt. Durch die Revisionen kann es zu geringfügigen Veränderungen bei der Gesamtzahl und der sektoralen Struktur der Erwerbstätigen kommen.

2021 waren in Hessen in den Bereichen „Handel, Verkehr, Gastgewerbe, Information und Kommunikation“ sowie bei „Finanz-, Versicherungs- und Unternehmensdienstleistern und im Grundstücks- sowie Wohnungswesen“ zusammen 48,0 % der insgesamt 3,5 Millionen Erwerbstätigen beschäftigt. Für Deutschland kamen diese beiden Wirtschaftsbereiche auf einen Anteil von 42,3 %.

Im Jahr 2021 waren 30,8 % der hessischen Erwerbstätigen im Bereich „Öffentliche und sonstige Dienstleister, Erziehung, Gesundheit“ beschäftigt, auf Bundesebene waren es 32,7 %. Das Produzierende Gewerbe machte in Hessen 14,8 % der Erwerbstätigen aus, im Bundesgebiet lag der Anteil 3,1 Prozentpunkte höher. Die Beschäftigtenanzahl in Landwirtschaft und Baugewerbe war in Hessen und auf Bundesebene vergleichsweise von geringerer 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).

Einwohnerin bzw. Einwohner

Zu den Einwohnerinnen und Einwohnern Deutschlands gehören alle Personen (Deutsche und Ausländer), die im Bundesgebiet ihren ständigen Wohnsitz haben. Nicht dazu zählen jedoch die Angehörigen ausländischer Missionen und Streitkräfte. Die Einwohnerinnen und 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.

Intensität

In diesem Bericht werden unterschiedliche CO₂-Intensitäten als Indikator für die Emissionsentwicklung unter Berücksichtigung verschiedener wirtschaftlicher und demographischer Bezugsgrößen verwendet. So kann z. B. abgebildet werden, wie viel CO₂ pro Einwohnerin bzw. Einwohner, je verbrauchter Einheit Energie oder je erzeugter Einheit Wirtschaftsleistung emittiert wird.

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, seit der Generalrevision 2019 ist das Basisjahr 2015. Die Wahl des Basisjahres hat keinen Einfluss auf die Werte der Veränderungsraten.

Netto-Emissionen

Der Begriff Netto-Emissionen wird in diesem Bericht im Emissionssektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft verwendet, in dem Landnutzungsformen auch als Kohlenstoffsenke fungieren können. Netto-Emissionen umfassen ausgestoßene Treibhausgase abzüglich der gespeicherten bzw. eingebundenen Treibhausgase.

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 umfasst die in den eingesetzten Energieträgern, die noch keiner Umwandlung unterworfen wurden (z. B. Steinkohle, Braunkohle, Rohöl oder Erdgas), gebundene Energiemenge, sowie Bestandsveränderungen, Lieferungen und Bezüge. Er stellt somit die Energiedarbietung der ersten Stufe dar.

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 an.

Umweltökonomische Gesamtrechnungen

Die Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR) beschreiben die Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft, privaten Haushalten und Umwelt. Dazu werden Bereiche wie Rohstoff-, Energie-, Wasser- oder Flächenverbrauch sowie Abfall- und Abwasserentsorgung oder Luftemissionen betrachtet. Die UGR wurden als Satellitensystem zu den Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen (VGR) konzipiert, d. h. sie ergänzen diese durch eine Quantifizierung des „Produktionsfaktors Umwelt“, der mit ökonomischen Größen in Beziehung gesetzt wird, folgen dabei aber zugleich so weit wie möglich den Konzepten, Klassifikationen sowie Regeln und Buchungsvorgaben der VGR. Damit ist gewährleistet, dass die Daten beider Gesamtrechnungen kompatibel sind.

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