

Sektorziele für Klimaschutz in Hessen



info@arepo-consult.com
www.arepo-consult.com

03. September 2021

Projektorganisation:

Das Projekt wurde durchgeführt von

Arepo GmbH

Albrechtstraße 22
10117 Berlin

Tel.: +49 30 220 124 47

E-Mail: info@arepo-consult.com

Jens Altevogt

Dr. Christine Wörlen

Kim Johanna Kohlmeyer

Gisa Holzhausen

Ulrike Bickel

Max Schmidt

Jannik Hoehne



In Zusammenarbeit mit:

Prof. Dr. Barbara Praetorius

Lankwitz Institute for Technology and Environment LITE

Bruno-Walter-Str. 3

12247 Berlin

Tel.: +49 171 8587 505

E-Mail: lite@praetorius.info



Inhalt

- Zusammenfassung 8
- 1 Einleitung und Zielstellung der vorliegenden Studie 13
- 2 Klimaziele und -politik auf EU-, Bundes- und Landesebene 14
 - 2.1 Klimaziele und klimapolitische Maßnahmenpakete der Europäischen Union 14
 - 2.2 Klimaziele und klimapolitische Maßnahmenpakete der Bundesrepublik Deutschland 15
 - 2.3 Klimapolitische Ziele Hessens 16
- 3 Abschätzung plausibler Sektorziele – Methodik 17
 - 3.1 Statistische Abgrenzungen 17
 - 3.2 Zur Methode der Trendfortschreibungen 19
 - 3.3 Datenquellen 19
- 4 Sektorziele für Hessen 20
 - 4.1 Ausgangssituation 20
 - 4.2 Basis: Direkte Übertragung der Bundesziele auf Handlungsfelder in Hessen 20
 - 4.3 An hessische Gegebenheiten angepasste Sektorziele 23
- 5 Sektorale Betrachtungen 26
 - 5.1 Energieerzeugung/-umwandlung 26
 - 5.1.1 Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU-, Bundes- und Landesebene 26
 - 5.1.2 Energieerzeugung/-umwandlung in Hessen 2018 27
 - 5.1.3 Treibhausgasemissionen der Energieerzeugung/-umwandlung (Stand) 29
 - 5.1.4 Ableitung des Sektorziels – Energieerzeugung/-umwandlung 30
 - 5.1.5 Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Energieerzeugung/-umwandlung und Handlungskompetenzen Hessens 38
 - 5.2 Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen 47
 - 5.2.1 Methodische Vorbemerkung 47
 - 5.2.2 Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU-, Bundes- und Landesebene 47
 - 5.2.3 Energieverbrauch im Sektor Haushalte, GHD in Hessen (Stand) 48
 - 5.2.4 Treibhausgasemissionen im Sektor Haushalte, GHD in Hessen 50
 - 5.2.5 Ableitung des Sektorziels– Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen 51
 - 5.2.6 Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Haushalt, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und Handlungskompetenzen Hessens 55
 - 5.3 Verkehr 63
 - 5.3.1 Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU-, Bundes- und Landesebene 63
 - 5.3.2 Verkehr in Hessen 64
 - 5.3.3 Treibhausgasemissionen im Verkehr 65

5.3.4	Ableitung des Sektorziels – Verkehr.....	65
5.3.5	Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Verkehr und Handlungskompetenzen Hessens	72
5.4	Industrie	78
5.4.1	Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU-, Bundes- und Landesebene	78
5.4.2	Industrie in Hessen	78
5.4.3	Treibhausgasemissionen in der Industrie in Hessen.....	78
5.4.4	Ableitung des Sektorziels – Industrie	79
5.4.5	Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Industrie und Handlungskompetenzen Hessens	81
5.5	Landwirtschaft.....	83
5.5.1	Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU-, Bundes- und Landesebene	83
5.5.2	Landwirtschaft in Hessen	86
5.5.3	Methan- und Lachgasemissionen in der Landwirtschaft.....	86
5.5.4	Ableitung des Sektorziels – Landwirtschaft.....	87
5.5.5	Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Landwirtschaft und Handlungskompetenzen Hessens.....	94
5.5.6	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Wälder	98
5.6	Sonstige Methan- und Lachgasemissionen	100
5.6.1	Methodische Vorbemerkungen.....	100
5.6.2	Abfall- und Abwasserwirtschaft	100
5.6.3	Energie- und prozessbedingte Methan- und Lachgasemissionen	101
5.6.4	Kombiniertes Ziel für Sonstige Methan- und Lachgasemissionen	104
6	Einflussbereich der Länder	105
6.1	Gesetzgebung.....	105
6.2	Verwaltung	106
6.3	Landeshaushalt.....	106
6.4	Förderung.....	107
6.5	Zusammenfassende Würdigung des Einflussbereichs der Länder	108
7	Bibliographie.....	109

Abbildungen

Abbildung 1: Historische und geschätzte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Hessen	32
Abbildung 2: Historische und geschätzte Beiträge der erneuerbaren Energien zur Fernwärmeerzeugung in Hessen	36
Abbildung 3: Endenergieverbrauch Haushalte, GHD zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser in TJ (nicht temperaturbereinigt)	49
Abbildung 4: Emissionen aus dem Gebäudebestand in Hessen (in Mt CO ₂)	51
Abbildung 5: Fortschreibung der Daten aus dem Monitoringbericht zum hessischen IKSP (hier: Haushaltswärme-Endenergieverbrauch), (Index 2000 = 100)	53
Abbildung 6: Trendfortschreibung bei erneuerbarer Wärme in Haushalten (Index 2003 = 100)	54
Abbildung 7: Lösungsraum für einen treibhausgasneutralen Gebäudebestand in 2050	57
Abbildung 8: Kraftstoffverbrauch von Pkw und Kombi ¹⁾ in Deutschland seit 1995	66
Abbildung 9: Anteil elektrisch betriebener Fahrzeuge am Fahrzeugbestand in Hessen	69
Abbildung 10: Trends im Endenergieverbrauch und der CO ₂ -Emissionsreduktion durch Elektrifizierung des Straßenverkehrs in Hessen	70
Abbildung 11: Stickstoffüberschüsse der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Hessen (Flächenbilanz) mit Trendfortschreibung bis 2030	88
Abbildung 12: Methanemissionen aus Verdauungsprozessen mit Trendfortschreibungen	91
Abbildung 13: Emissionen aus Wirtschaftsdünger und Trendfortschreibung	93

Tabellen

Tabelle 1: Vorgeschlagene Sektorziele für Hessen	12
Tabelle 2: Sektorziele aus dem Klimaschutzgesetz 2019 der Bundesregierung	13
Tabelle 3: Zulässige Jahresemissionsmengen gemäß KSG 2019, Anlage 2	15
Tabelle 4: Zulässige Jahresemissionsmengen gemäß KSG 2021 und resultierende prozentuale Minderungsziele für 2030	16
Tabelle 5: Abgrenzung der Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes mithilfe des gemeinsamen Berichtsformates der Europäischen Klimaberichterstattung (Common Reporting Format, CRF)	17
Tabelle 6: Entwicklung der THG-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2018	20
Tabelle 7: Übertragung der Bundesziele auf Hessen	22
Tabelle 8: Vorgeschlagene Sektorziele für Hessen	25
Tabelle 9: Minderungsziel für Emissionen aus der Energieerzeugung/-umwandlung in Hessen	38
Tabelle 10: Aktuelle Anzahl und elektrische Leistung der Windenergieanlagen in Hessen (Stand 18.01.2021)	42
Tabelle 11: Zulassungsquoten und durchschnittliche Lebensdauer von Kfz, Pkw und Lkw im Vergleich zwischen Hessen und Deutschland	68
Tabelle 12: Anzustrebende Minderungen in den verschiedenen Subsektoren des Verkehrs	71

Tabelle 13: THG-Minderungen in den Subsektoren und vorgeschlagene Gesamtminderung im hessischen Landwirtschaftssektor..... 94

Tabelle 14: Sektorteilziel einer 54-prozentigen THG-Minderung bis 2030 für die energie- und prozessbedingten Methan- und Lachgasemissionen 104

Tabelle 15: Kombiniertes Ziel einer 80-prozentigen THG-Minderung bis 2030 104

Abkürzungsverzeichnis

AGNH	Arbeitsgemeinschaft Nahmobilität Hessen
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BMI	Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CaCO ₃	Calciumcarbonat
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äqu.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
COP	Conference of the Parties
CRF	Common Reporting Format
dena	Deutsche Energie-Agentur GmbH
DüV	Düngeverordnung
EED	Energieeffizienzrichtlinie
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz
EK	Europäische Kommission
EmoG	Elektromobilitätsgesetz
EnBW	Energie Baden-Württemberg AG
EnEff	Energieeffiziente Wärme- und Kältenetze
EnEG	Energieinsparungsgesetz
EnEV	Energiesparverordnung
EnOB	Energieoptimiertes Bauen
EPBD	Energy performance of buildings directive

EU ETS	Europäisches Emissionshandelssystem
EU	Europäische Union
FZ-NUM	Fachzentrum Nachhaltige Urbane Mobilität
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GEIG	Gebäudeelektromobilitätsinfrastrukturgesetz
GG	Grundgesetz
GHD	Gewerbe-Handel-Dienstleistungen
GVE	Großvieh-Einheiten
GuD	Gas- und Dampfturbinenanlage
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattstunden
GWP	Global warming Potenzial
HGHD	Haushalt-Gewerbe-Handel-Dienstleistungen
HLNUG	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
HMUKLV	Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
HMWEVL	Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung
HMWEVW	Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen
HSL	Hessisches Statistisches Landesamt
IEA	International Energy Agency
ifeu	Institut für Energie und Umweltforschung gGmbH
IKSP	Integrierter Klimaschutzplan
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
Kfz	Kraftfahrzeug
KSG	Klimaschutzgesetz
KSP	Klimaschutzplan 2050
KSPr	Klimaschutzprogramm 2030
kt	Kilotonne
KTBL	Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LAK	Länderarbeitskreis
LEA	Landesenergieagentur

LEP	Landesentwicklungsplan
LF	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LITE	Lankwitz Institute for Technology and Environment
Lkw	Lastkraftwagen
LULUCF	Land use, land use change and forestry
Mt	Megatonne
MW	Megawatt
MWel	Megawatt (elektrisch)
N	Stickstoff
N ₂ O	Distickstoffmonoxid/Lachgas
NAPE	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz
NIR	National Inventory Reporting
NRW	Nordrhein-Westfalen
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PJ	Petajoule
PtX	Power-to-X
PV	Photovoltaik
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
THG	Treibhausgas
TJ	Terajoule
TWh	Terawattstunden
UBA	Umweltbundesamt
WBAE	Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz
WBW	Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik
WI	Wuppertal Institut

Zusammenfassung

Hessen will bis 2045 klimaneutral werden und dafür die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber 1990 senken. Dazu müssen alle Sektoren beitragen. Die vorliegende Studie diskutiert, welche Beiträge dazu in welchem Sektor geleistet werden sollten. Dabei geht sie aus von den Sektorzielen und Maßnahmenpaketen auf der Ebene der Europäischen Union (EU) und der Bundesebene, vergleicht sie mit Emissionstrends in Hessen und korrigiert sie um einschlägige hessenspezifische Faktoren. Es werden so die auf Hessen entfallenden sektorspezifischen Beiträge zur Emissionsreduktion abgeleitet. Deren Wirkung im Gesamtzusammenhang wird allerdings maßgeblich davon beeinflusst, dass auch auf europäischer und Bundesebene die angekündigten Zielsetzungen mit entsprechenden Maßnahmen unterlegt werden.

Die Analyse ergibt folgende Einsparziele für 2030 (jeweils im Vergleich zu 1990): Im Sektor Energieerzeugung und -umwandlung werden 51 % eingespart (Restemission 3,4 Megatonnen [Mt] Kohlenstoffdioxid [CO₂]), im Sektor Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) 70 % (Restemission 4,6 Mt CO₂), im Verkehr 34 % (Restemission 9,5 Mt CO₂), bei den energiebedingten Emissionen in der Industrie 65 % (Restemission 2,0 Mt CO₂), bei den prozessbedingten Emissionen 50 % (Restemission 0,5 Mt CO₂), in der Landwirtschaft 32 % (Restemission 1,9 Mt CO₂-Äquivalente¹ [CO₂-Äqu.]) und im Bereich Sonstige Methan- und Lachgasemissionen 80 % (0,9 Mt CO₂-Äqu.). (Mehr Details hierzu: Siehe Tabelle mit dem hessischen Gesamtziel und den Sektorteilzielen am Ende der Zusammenfassung.)

Die Erreichbarkeit dieser vorgeschlagenen Sektorziele hängt wesentlich von dem Ambitionsniveau der anstehenden rechtlichen und preispolitischen Entscheidungen der Ebene der Europäischen Union und auf Bundesebene ab. Die Handlungsmöglichkeiten und -schränken der Bundesländer in der föderalen Kompetenzordnung schränken die Möglichkeiten eines einzelnen Bundeslandes ein. Es hat aber durchaus auch eigene Gestaltungsmöglichkeiten zur Impulsverstärkung, auf die hingewiesen wird.

Im Sektor **Energieerzeugung/-umwandlung** ist der Ausbau der erneuerbaren Energien der entscheidende Hebel zur Emissionsminderung. Der Sektor war 2018 nach Quellenbilanz für 6,7 Mt CO₂ oder 17,3 % der gesamten hessischen Emissionen (inkl. Methan- und Lachgasemissionen) verantwortlich. Rund zwei Drittel der Emissionen stammten aus der Stromerzeugung, rund ein Drittel aus der Fernwärmebereitstellung.

2018 stammten bereits rund 50 % des Stroms aus erneuerbaren Energien. Da u.a. im Bezugsjahr 1990 Hessen einen hohen Anteil des Stroms in Kernkraftwerken erzeugte, sind die Emissionen des Energiesektors von 2018 gegenüber 1990 nur um drei Prozent gesunken.

Bis 2030 endet die hessische Kohleverstromung aus wirtschaftlichen Gründen. Der Energieträger Erdgas dürfte parallel leicht an Bedeutung gewinnen. Da Hessen im Jahr 2018 mit 16,8 Terawattstunden (TWh) nur etwa die Hälfte seines Strombedarfs selbst erzeugte (2000 waren es noch 75 %), sollte der Strombezug zumindest nachrichtlich in die Betrachtung einbezogen werden, auch wenn diese Strommengen für die Ermittlung der Sektorziele nicht herangezogen werden. Fernwärme deckte etwa 11 % des Wärmebedarfs.

Die ökonomisch-technischen **Potenziale** der erneuerbaren Energien im Stromsektor sind erheblich. Im Trend könnten sie im Jahr 2030 eine Erzeugung von 15,3 TWh erbringen. Das wären 42 % des für 2030 erwarteten Bruttostrombedarfs und ein Anstieg um 7 TWh gegenüber 2018. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien dürfte auch der Beitrag der hessischen Erzeugung zur Deckung des Bedarfs

¹ Zur Umrechnung in Kohlendioxid-Äquivalente wurden in Analogie zur hessischen Treibhausgasbilanz die Treibhausgaspotenziale (Global Warming Potenzial, GWP) des Intergovernmental Panel on Climate Change angewendet: GWP Methan: 25; GWP Lachgas: 298.

wieder leicht steigen. Im *Trend* dürfte zugleich die Bedeutung von Erdgas als Ersatz für Kohle leicht wachsen. Daher steigt im Trendszenario die hessische Erzeugung auf 65 % oder 23 TWh an. Die erneuerbaren Energien stellen dann – entsprechend dem bisherigen Ziel auf Bundesebene – etwa 65 % der hessischen Stromerzeugung; in der Fernwärmebereitstellung sind es bis zu 27 %. Im *Klimaschutz-Szenario* wird weniger Erdgas in der Stromerzeugung eingesetzt und die hessische Erzeugung leistet nur einen Beitrag von etwa 60 %, wovon aber 80 % (17,2 TWh) aus erneuerbaren Energien stammen können. Die Fernwärme wird engagiert auf 35 % erneuerbare Energien umgestellt. Insgesamt kann der CO₂-Ausstoß auf diese Weise um 51 % gegenüber 1990 gesenkt werden.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien stockt aktuell und muss wieder beschleunigt werden, um auf den Pfad des Trendszenarios zurückzukommen. Das Mengengerüst wird auf Bundesebene durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gesteuert; durch Änderungen im Baugesetzbuch und im EEG oder länderübergreifende Gesetzesvorschriften könnte ein bundesweit verbesserter Rahmen geschaffen werden. Die anhaltende Unterzeichnung der Ausschreibungen deutet zugleich darauf hin, dass sich die Bedingungen der Projektentwicklung in den Regionen selbst – im Bundesländervergleich vor allem in Hessen – ungünstig entwickelt haben. Hier muss auf Landesebene gegengesteuert werden; konkret könnten *erstens* die Flächenbereitstellung und Attraktivität erhöht (z.B. durch Ausweisung von zwei Prozent statt der bisher 1,85 % Windvorrangflächen; vorteilhaftere Regelung der Mindestabstände; Modifikation der Freiflächensolarverordnung; Verpflichtung zur Nutzung von Photovoltaik (PV) bei Neubauten; Flächensynergien durch Agri-PV als Kombinitzung der Fläche u.a.m.), *zweitens* ein attraktiverer Repowering-Gesetzesrahmen entwickelt, und *drittens* bundesweite Standards auf Basis der Bundesländerinitiative sowie einheitliche Kompensations- und Beteiligungsmodelle für betroffene Kommunen und Bürger angestrebt werden. Eine deutlich bessere personelle Ausstattung der Verwaltungen und einschlägigen Gerichte ist ebenfalls vordringlich, um die Genehmigungsverfahren zu beschleunigen. Schließlich sind weitere Maßnahmen zur Verbesserung der Akzeptanz von erneuerbaren Energien erforderlich, denn Klimaschutz setzt deren Ausbau voraus.

Im Jahr 2018 emittierte der Sektor **Haushalte, GHD** in Hessen 10,4 Mt CO₂. Gegenüber 1990 – einem Basisjahr mit relativ niedrigem CO₂-Ausstoß - wurde damit in Hessen eine Minderung um 32 % (4,9 Mt CO₂) erreicht (LAK 2021). Gegenüber dem Maximum in Hessen im Jahr 1996 betrug die Minderung bereits 45 %. Die maßgeblichen Emissionen stammten aus der Nutzung fossiler Brennstoffe für die Raumwärme. Effizienzverbesserungen durch energetische Modernisierung haben dazu wesentlich zur Emissionsminderung beigetragen und sind auch weiterhin Teil der Strategie, mit der die Bundes- und die Landesregierungen Klimaschutz im Gebäudebereich vorantreiben werden. Weitere schnelle Reduktionserfolge lassen sich zudem durch einen systematischen, deutlich intensivierten Austausch von Öl- und Gasheizungssystemen durch Systeme erreichen, die auf erneuerbaren Energien oder Strom basieren, und die in an den Einzelfall angemessener Weise mit Maßnahmen der energetischen Sanierung kombiniert werden. Bei effektiver Erhöhung der Austauschrate um 65 % auf 4,6 % der Gebäude pro Jahr kann hier im kommenden Jahrzehnt eine Reduktion der Emissionen um 70 % gegenüber 1990 erzielt werden. Besonders wichtig ist es, den Einbau von neuen Ölheizungen so weit und so schnell wie möglich auszuschließen. Auch im GHD-Bereich ist der Ersatz von Heizungssystemen notwendig, auch wenn hier kaum noch Ölheizungen zum Einsatz kommen. Anschlüsse an erneuerbare Fernwärmesysteme sind eine wichtige Option. Unter Ausnutzung der Öffnungsklausel im § 56 des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) sollte Hessen daher zusätzlich zu den Bemühungen um energetische Modernisierungen eine Nutzungspflicht für erneuerbare Wärme einführen und die systematische Umsetzung von Fernwärmeoptionen auf kommunaler Ebene unterstützen. Zudem sollte Hessen eine Vorbildfunktion für die Wärmewende bei den hessischen Wohnungsbauunternehmen in öffentlicher Hand einnehmen.

Der **Verkehrssektor** in Hessen emittierte im Jahr 2018 rund 14 Mt CO₂. Der Verkehr (ohne internationalen Luftverkehr) war damit im Jahr 2018 für einen Anteil von 36 % an allen bilanzierten Treibhausgasemissionen in Hessen verantwortlich. Im Vergleich zu den Emissionen im Jahr 1990 von 14,4 Mt CO₂ wurde bis 2018 eine Minderung von lediglich drei Prozent erreicht (LAK 2021).

Im Sektor Verkehr werden die Bundesmaßnahmen für die Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs und des motorisierten Individualverkehrs für Hessen zu der erforderlichen Reduktion des CO₂-Ausstoßes bis 2030 um 34 % gegenüber 1990 beitragen. Zunehmend werden Fahrzeugflotten und Pkw, aber auch der Straßengüterverkehr auf elektrische Antriebe umgestellt werden. Hessen weist bisher bereits eine erhöhte Fahrzeugzulassungsdynamik auf, die vermutlich in der Zukunft aufrechterhalten wird. Das führt zu einer relativ schnelleren Einführung der Elektromobilität. Der schnelle Übergang zu Elektromobilität kann dann gelingen, wenn die (Schnell-)Ladeinfrastruktur systematisch und gezielt ausgebaut wird und in hohem Maße Elektrofahrzeuge im Personen- und Güterverkehr eingesetzt werden. Insbesondere im Bereich der Ladeinfrastruktur muss Hessen dafür sorgen, dass auch in ländlichen Räumen eine lückenlose Abdeckung mit der entsprechenden Infrastruktur erreicht wird, z.B. in Zusammenarbeit mit Kommunen aber auch Unternehmen. Investive Maßnahmen können hier ergänzend zu entsprechenden Programmen des Bundes wirken. Der weitere Ausbau von Oberleitungen an Bundesautobahnen für den Schwerlastverkehr, deren Einsatz in Hessen bereits auf einer Teststrecke erprobt wird, ist eine vielversprechende Komponente der Elektrifizierung des Verkehrs. Natürlich sollte Hessen zudem sämtliche Infrastrukturvorhaben weiter vorantreiben, die Verkehr vermeiden oder verlagern, um hier mittel- bis langfristig entsprechende Einsparpotenziale heben zu können, denn Maßnahmen der Verkehrsvermeidung und -verlagerung können ebenfalls zur Emissionsreduktion beitragen. Ein wichtiger Faktor ist die Trendfortschreibung für den nationalen Flugverkehr, die eine massive Reduktion des Aufkommens an innerdeutschem Flugverkehr erwarten lässt. Auch im Schienen- und Schiffsverkehr ergeben sich starke Emissionsreduktionen bei Fortsetzung des Trends. Die Emissionen in diesen Feldern sind jedoch bereits heute sehr gering.

Die **Industrie** in Hessen hat seit 1990 bereits 49 % weniger bei den energiebedingten und 36 % weniger bei den prozessbedingten Emissionen emittiert, was in 2018 energiebedingt noch 3,1 Mt CO₂ und prozessbedingt 0,7 Mt CO₂ bedeutete. Gesteuert vom EU-Emissionshandel wird dieser Trend in Zukunft fortgesetzt werden. Unter der Annahme einer kontinuierlichen Verbesserung der Energieeffizienz in der Industrie können die energiebedingten Emissionen um weitere elf Prozentpunkte bis 2030 reduziert werden, so dass ein Gesamtziel von 65 % erreichbar scheint. Es setzt sich zusammen aus 67 % für die energiebedingten und 50 % für die prozessbedingten Emissionen. Es ist zu erwarten, dass der EU-Emissionshandel in der Folge der Erhöhung des europäischen Klimaschutzziels nachgeschärft und damit zunehmend entsprechende Impulse setzen wird. Auch die derzeit auf Bundesebene im Entwurf befindlichen Regelungen zu so genannten Carbon Contracts for Difference (Ausgleichszahlungen für innovative Investitionen in den Klimaschutz) dürften in der energieintensiven Industrie bundesweit weitere Impulse setzen.

Obwohl Hessen in der Industrie über verhältnismäßig wenige Ansatzpunkte zur Einflussnahme auf die industriellen Emissionen verfügt, gibt es dennoch einige Maßnahmen, mit denen das Land die Industrie bei der weiteren Dekarbonisierung unterstützen kann. Neben der Fortführung der aktuellen Energieeffizienzprogramme, Beratungs- und Informationsvermittlungsmaßnahmen sollten hier verstärkt Lösungen zur Nutzung von Abwärme und erneuerbaren Energien für den Eigenverbrauch unterstützt werden. Bei den schwieriger zu mindernden Prozessemissionen kann geprüft werden, ob die Kohlenstoffabscheidung und die Produktion von synthetischen Kraftstoffen verknüpft werden und zu weiteren Minderungen führen könnten. Dies führt zu einer Verlagerung der Emissionen vom Industrie- in z.B. den Verkehrssektor. Langfristig sollte die Produktsubstitution von CO₂-intensiven Baumaterialien ausgebaut werden, z.B. durch Förderung des Holzbaus und die zunehmende Verwendung von Recyclingmaterialien.

Die Einsparpotenziale in der hessischen **Landwirtschaft** sind gering. Stammten im Jahr 1990 noch 2,8 Mt CO₂-Äqu. aus diesem Sektor, hat sich der Ausstoß 2018 bereits auf gut zwei Megatonnen CO₂-Äqu. reduziert, was vor allem auf den Rückgang des Viehbestandes in Hessen zurückzuführen ist. Reduktionen an den Methan- und Lachgasemissionen um etwa eine weitere Viertel Megatonne auf 1,9 Mt CO₂-Äqu. erscheinen möglich, was einem Minderungsziel von 32 % gegenüber 1990 entspricht. Da Hessens Landwirtschaft in vielen Umweltbelangen im Vergleich zum Bundesdurchschnitt bereits deutliche Fortschritte erzielt hat und damit der Druck der Vorgaben aus

dem Bund oder der EU nicht mehr so hoch ist, muss Hessen selbst weitere Impulse setzen, damit das Ziel erreicht wird. Die Minderung von Lachgasemissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden könnte bis 2030 ca. 100 Kilotonnen (kt) CO₂-Äqu. betragen und wäre erreichbar z.B. durch intensivierete Beratung und Vollzug im Zusammenhang mit der weiteren Reduktion von Stickstoffüberschüssen. Geringer ist das Reduktionspotenzial für Treibhausgasmissionen aus der Verdauung (70 kt CO₂-Äqu, Methan), das in einer ähnlichen Größenordnung liegt wie die möglichen Minderungen durch verbessertes Wirtschaftsdüngermanagement (Methan und Lachgas).

Sonstige Methan- und Lachgasemissionen können bis 2030 einen Beitrag zu einer 80-prozentigen Minderung bzw. 3,6 Mt CO₂-Äqu. gegenüber 1990 leisten. 2030 würden demnach die Unterbereiche **Abfall- und Abwasserwirtschaft** sowie **energie- und prozessbedingte Methan- und Lachgasemissionen** noch jeweils ca. 450 kt CO₂-Äqu. emittieren. In der Abfall- und Abwasserwirtschaft wurden aufgrund wirksamer bundesdeutscher Regulierung insbesondere bei der Abfallbehandlung in Hessen bereits 81 % der Emissionen eingespart und es steht zu erwarten, dass das Bundesziel einer Minderung um 87 % erreicht wird. Bei den energie- und prozessbedingten Emissionen von Methan und Lachgas wird in dieser Studie von einer Minderung um etwas mehr als der Hälfte bis 2030 gegenüber 1990 ausgegangen. Dabei wurde angenommen, dass entsprechende Emissionen in dem Maße abnehmen, wie die CO₂-Emissionen in den Sektoren Verkehr sowie Haushalte und GHD, und dass diese Emissionen in der Industrie auf dem Niveau verbleiben wie heute. Interessant erscheint insbesondere das Minderungspotenzial bei der Vermeidung diffuser Emissionen, die im Sektor Energieerzeugungs-/umwandlung vor allem bei der Verteilung von Erdgas entstehen. So wird in dieser Studie angenommen, dass in diesem Sektor möglicherweise etwa eine Viertel Megatonne CO₂-Äqu. eingespart werden kann, was in der Größenordnung der geschätzten Minderung des Landwirtschaftssektors entspricht. Hessen sollte hier insbesondere die anlaufenden Bemühungen der Europäischen Kommission unterstützen, die aktuell eine Strategie zur Verhinderung von ungewolltem Methanaustritt im Energieerzeugungssektor vorbereitet.

Insgesamt wird deutlich, dass eine Minderung der Treibhausgasemissionen in Hessen um 55 % erreichbar ist. Dafür sind allerdings durchaus ambitionierte Einzelmaßnahmen in allen Sektoren und zusätzliche Anstrengungen auf Landesebene nötig, die Fördern und Fordern intelligent und zielgerichtet kombinieren und die Maßnahmen auf Bundesebene unterstützen. In der Studie werden mögliche Pfade und mögliche Maßnahmen bzw. Emissionsreduktionsoptionen diskutiert. Diese sind nach der Einschätzung der Studienautor*innen plausibel, aber nicht die einzig denkbaren. Es gibt für jedes Feld Alternativen. Da alle Sektoren auch maßgeblich von der Bundesebene und den Entscheidungen der Europäischen Union mitbestimmt werden, und oft nur bestimmte Felder in der unmittelbaren Entscheidungskompetenz von Hessen liegen, kommt es zugleich darauf an, wie sich die bundes- und europapolitischen Rahmenbedingungen entwickeln. Auch hier kann Hessen über Initiativen auf Bundesebene – am besten gemeinsam mit anderen Bundesländern – auf verbesserte Bedingungen drängen. Das ist vor dem Hintergrund der verschärften europäischen und deutschen Klimaziele eine wichtige Botschaft, denn nur so wird Hessen seine eigenen Ziele erreichen und damit auch den erforderlichen Beitrag zum gesamtdeutschen Klimaschutzziel leisten können.

In allen Feldern hat das Land jedoch mehrere Verantwortlichkeiten, nicht nur bei der Umsetzung der Bundespolitik, sondern auch bei der Steuerung des Verwaltungshandelns – seines eigenen wie auch der Bezirke, Landkreise und Kommunen. Die Felder, in denen Landesgesetzgebung zum Tragen kommen kann, sind insbesondere die Landesbaugesetzgebung und ein Landesgesetz zur erneuerbaren Wärme im Gebäudebereich. Ein wichtiges Feld für das Land sind Förderprogramme, die die wünschenswerten Wirkungen der Bundesförderprogramme selektiv verstärken und eigene Klimaschutzinvestitionen, z.B. im Kontext der CO₂-neutralen Landesverwaltung.

Tabelle 1: Vorgeschlagene Sektorziele für Hessen

Sektoren	1990	2018		2030				
	Emissionen in Mt CO ₂ - Äqu.	Emissionen in Mt CO ₂ - Äqu.	Minderung in Mt CO ₂ -Äqu. gegenüber 1990	Minderung in % gegenüber 1990	Emissionen in Mt CO ₂ - Äqu.	Minderung in Mt CO ₂ -Äqu. gegenüber 1990	Minderung in % gegenüber 1990	Minderung in % gegenüber 2018
Energieerzeugung/- umwandlung	6,9	6,7	0,2	3%	3,4	3,5	51%	49%
Haushalte, GHD	15,3	10,4	4,9	32%	4,6	10,7	70%	56%
Verkehr	14,4	14,0	0,5	3%	9,5	5,0	34%	32%
Industrie gesamt	7,1	3,7	3,3	47%	2,5	4,6	65%	33%
<i>Industrie: Energiebedingte CO₂- Emissionen</i>	6,1	3,1	3,0	49%	2,0	4,1	67%	35%
<i>Industrie: Prozessbedingte CO₂- Emissionen</i>	1,0	0,7	0,4	36%	0,5	0,5	50%	22%
Methan- und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft	2,8	2,2	0,6	22%	1,9	0,9	32%	12%
Sonstige Methan- und Lachgasemissionen	4,4	1,5	3,0	67%	0,9	3,6	80%	40%
Summe	50,9	38,4	12,5	25%	22,7	28,2	55%	41%

Quelle: Historische Daten: LAK (2021), außer: Landwirtschaft und sonstige Methan- und Lachgasemissionen: HSL (2021a); Minderungsziele Hessen: eigene Berechnungen. Abweichungen der Summen ergeben sich durch Rundungsfehler.

1 Einleitung und Zielstellung der vorliegenden Studie

Hessen hat sich bereits im Jahr 2015 zu Klimaneutralität im Jahr 2050 verpflichtet (Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz [HMUKLV] 2015). Die Landesregierung hat insbesondere im Rahmen des Integrierten Klimaschutzplans 2025 (IKSP) eine Vielzahl an Maßnahmen ergriffen, die die Weichen auf diesem Weg stellen sollen. Seine Umsetzung in den Jahren 2017 bis 2020 wurde im Rahmen eines Monitorings durch Bosch & Partner GmbH und das Öko-Institut e.V. überprüft sowie die Notwendigkeit für weitere Maßnahmen aufgezeigt (HMUKLV 2020a). Zu diesem Zweck wurde einerseits kurzfristig das Mehr-Klimaschutz-Programm mit 18 weiteren Maßnahmen für Klimaschutz und -anpassung durch das HMUKLV aufgelegt (HMUKLV 2021a). Zudem soll das Ziel der Klimaneutralität auf 2045 vorgezogen werden (Frankfurter Rundschau 2021).

Auch wurde durch die verstärkten Initiativen auf der Ebene der Europäischen Union (EU), der Bundesebene und durch Kabinettsbeschluss bekräftigt, dass eine weitergehende und langfristig angelegte Weiterentwicklung des IKSP notwendig und angemessen ist. Rahmenpunkte dafür sind zunächst die internationalen Zielvorgaben des Übereinkommens von Paris auf der EU-Ebene als auch der Klimaschutzplan (KSP) 2050 bzw. das Klimaschutzprogramm (KSPr) 2030 der Bundesregierung. Im KSPr 2030 verständigte sich die Bundesregierung auf eine Reduktion der Treibhausgasemissionen in ihrer Gesamtheit bis 2030 um mindestens 55 % gegenüber 1990, wobei im KSP 2050 noch eine Bandbreite einer Minderung von 55 bis 56 % angegeben wurde. Das Klimaschutzgesetz (KSG) 2019 legte dann für die sechs Hauptsektoren der Treibhausgasbilanz für das Jahr 2030 zulässige Jahresemissionsmengen und damit Reduktionsziele fest, wobei dabei die ambitionierteren Reduktionsziele aus dem KSPr 2030 verwendet wurden. Aus den zulässigen Emissionsmengen aus dem KSG 2019 und den zuletzt vorgelegten, auch für das Jahr 1990 leicht aktualisierten Treibhausgasemissionsdaten ergibt sich für den Bund ein rechnerisches Minderungsziel von 56,5 % (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Sektorziele aus dem Klimaschutzgesetz 2019 der Bundesregierung

Handlungsfeld	1990	2018	2030	2030 Minderung
	in Mt CO ₂ -Äqu.			in % gegenüber 1990
Energiewirtschaft	466	309	175	62,5%
Gebäude	210	116	70	66,6%
Verkehr	164	163	95	42,0%
Industrie	284	190	140	50,6%
Landwirtschaft	87	68	58	33,3%
Teilsumme	1.210	846	538	55,5%
Abfallwirtschaft und Sonstiges	38	10	5	86,9%
Gesamtsumme	1.249	856	543	56,5%

Quelle: UBA (2021a): Daten 1990 und 2018, KSG (2019): Minderungsziele 2030, eigene Berechnungen. Abweichungen der Summen ergeben sich durch Rundungsfehler.

Die vorliegende Studie soll auf dieser Basis plausible Sektorziele für Hessen ableiten, die es Hessen erlauben, die eigenen Klimaziele zu erreichen und die deutschland- und europaweiten Ziele zu unterstützen. Diese müssen einerseits von den Vorbedingungen und strukturellen Spezifikationen Hessens, z.B. in Bezug auf Wirtschaftsstruktur, Flächennutzung, Verkehrsaufkommen und Gebäudebestand ausgehen, und andererseits zu einer Treibhausgasreduktion von 55 % gegenüber 1990 - wie vom Kabinett in Analogie zum Minderungsziel des bundesdeutschen KSP 2050 im Jahr

2019 beschlossen - über alle Handlungsfelder in Hessen führen. Die Grundlage für die Ableitung der Sektorziele wird dargestellt, und es wird erörtert, welche Handlungsspielräume die hessische Landesregierung hat, um ihre eigenen Klimaziele 2030 zu erreichen, und welche Beiträge diese Maßnahmen zum Landessektorziel im jeweiligen Bereich haben könnten. Eine Zurechnung des Anteils an der Emissionsminderung auf die verschiedenen Ebenen erfolgte nicht, da Veränderungen in der Regel das Resultat aus dem Zusammenspiel von Instrumenten und Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen sind.

Nach einer Diskussion der Klimaziele und Maßnahmenpakete der höheren politischen Ebenen EU und Bundesrepublik Deutschland, stellt die Studie zunächst allgemein die Politikinstrumente eines Bundeslandes dar und geht dann sektorspezifisch auf die im jeweiligen Sektor als maßgeblich eingeschätzten Instrumente und ihre relative Wirksamkeit in Bezug auf die Erreichung des Sektorziels ein.

2 Klimaziele und -politik auf EU-, Bundes- und Landesebene

2.1 Klimaziele und klimapolitische Maßnahmenpakete der Europäischen Union

Die EU hat sich – aufbauend auf früheren Selbstverpflichtungen z.B. im Rahmen der Klimarahmenkonvention und der so genannten 20-20-20 Beschlüsse – bereits 2009 auf eine Minderung des Ausstoßes an Treibhausgasen (THG) bis 2050 um 80 bis 95 % festgelegt (Europäische Kommission [EK], 2012), mit einem Zwischenziel von einer Reduktion um 40 % bis zum Jahr 2030, jeweils im Vergleich zu 1990 (EK 2021a). Im Dezember 2019 wurde das Langfristziel verschärft; die EU plant nun, bis 2050 klimaneutral zu werden, also die Netto-Emissionen an THG auf null zu reduzieren. Im Dezember 2020 hob die EU das Zwischenziel 2030 auf diesem Weg auf mindestens 55 % an.

Zur genaueren Ausarbeitung der Vorgaben und Unterstützungsmaßnahmen für die Mitgliedsstaaten der EU auf dem Weg zu diesem Ziel laufen in Brüssel zurzeit zwei größere und verbundene Gesetzgebungsprozesse. Dies sind einerseits die Verhandlungen zur Umsetzung des Green Deals im Rahmen der Budgetplanung und andererseits die Vorbereitungen des sogenannten Junipakets (oder Fit for 55 Package), einem Paket von Anpassungen von zehn Richtlinien und Verordnungen an das neue EU-Klimaziel, gefolgt von zwei weiteren im vierten Quartal. Hierbei werden folgende Regelungen erwartet (Europäisches Parlament 2021):

- Verschärfung des Reduktionsziels im Europäischen Emissionshandelssystem (EU ETS) wahrscheinlich durch Erhöhung des Reduktionsfaktors für die jährliche Zertifikatsmenge und möglicherweise unter Einbeziehung der Schifffahrt und des außereuropäischen Flugverkehrs in den Emissionshandel;
- Formulierung eines Grenzausgleichsmechanismus für Kohlenstoffdioxid (CO₂);
- „Klimaschutzverordnung“, die die Lastenteilung in den Bereichen Verkehr, Gebäude und Landwirtschaft zwischen den Mitgliedsstaaten regelt, und zwar im Rahmen einer Verordnung, die unmittelbar gilt, also nicht von der Umsetzung in nationales Recht durch die nationalen Parlamente abhängt;
- Erneuerbare-Energien-Richtlinie, die die Ausbauziele für die erneuerbaren Energien am Gesamtenergieverbrauch bis 2030 auf 38 % bis 40 % statt der aktuell geltenden 32 % erhöhen soll;

- Reduzierung der Methanemissionen im Energiesektor in Umsetzung der EU-Methanstrategie für die Öl- und Gasindustrie, die unter anderem neben einem genaueren Monitoring auch eine Verpflichtung zur Reparatur von Leckagen in der Gasinfrastruktur beinhaltet;
- Energieeffizienzrichtlinie (EED): auch hier wird das Ziel erhöht werden, vermutlich auf 36 % bis 39 % statt der aktuell angestrebten Erhöhung um 32,5 % in 2030;
- Energiesteuerrichtlinie;
- Überarbeitung der Verordnung über die Einbeziehung der Emissionen und des Abbaus von Treibhausgasen zu Landnutzung und Forstwirtschaft (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF), die die Senken schützen und die Berechnung des Klimabeitrags von Wäldern nachvollziehbar regeln soll;
- Richtlinie über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Antriebe, die u.a. synthetische Brennstoffe und Ladenetze für Elektrofahrzeuge im Blick haben soll; und eine
- neue Verordnung über CO₂-Emissionen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge, mit einem Fokus auf die CO₂-Flottenwerte.

Für das Jahresende 2021 werden des Weiteren eine Novelle der Gebäudeeffizienzrichtlinie und die Revision des dritten Energiepakets für Gasmärkte erwartet. Insgesamt befindet sich das Regelungsumfeld auf EU-Ebene also aktuell in einer sehr dynamischen Phase, die für die Mitgliedsstaaten in fast allen klimarelevanten Bereichen die Rahmenbedingungen verändern und die Ambitionsniveaus erhöhen wird.

2.2 Klimaziele und klimapolitische Maßnahmenpakete der Bundesrepublik Deutschland

Auch das deutsche klimapolitische Regelungsumfeld hat sich dynamisch entwickelt. Im Jahr 2016 wurde vom Bundeskabinett das KSPr 2030 beschlossen. Maßgeblich ist das im September 2019 beschlossene Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG 2019), das die im KSP 2050 vorgeschlagenen Sektorziele gesetzlich verankert und im Juni 2021 nochmals verschärft wurde. Diese letzte Änderung konnte in der vorliegenden Studie nicht vollständig berücksichtigt werden. Im KSG 2019 wurden die in Tabelle 3 dargestellten verbindlichen zulässigen sektoralen Jahresemissionsmengen für die Jahre 2020 bis 2030 festgelegt.

Das KSG 2019 wurde mit den Maßnahmen und Unterzielen des KSPr 2030 unterlegt. Das KSPr 2030 listet auf 173 Seiten eine Vielzahl solcher Maßnahmen in allen Sektoren auf, die zur Erreichung der Ziele aus dem KSG 2019 von den zuständigen Bundesressorts vorgeschlagen wurden und seitdem umgesetzt werden. Diese werden – soweit relevant – in den sektoralen Kapiteln mitdiskutiert.

Tabelle 3: Zulässige Jahresemissionsmengen gemäß KSG 2019, Anlage 2

Handlungsfeld	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	in Mt CO ₂ -Äqu.										
Energiewirtschaft	280		257								175
Industrie	186	182	177	172	168	163	158	154	149	145	140
Gebäude	118	113	108	103	99	94	89	84	80	75	70
Verkehr	150	145	139	134	128	123	117	112	106	101	95
Landwirtschaft	70	68	67	66	65	64	63	61	60	59	58
Abfallwirtschaft und Sonstiges	9	9	8	8	7	7	7	6	6	5	5

Quelle: KSG (2019).

Ein Verfehlen der Sektorziele ist mit konkreten Konsequenzen verbunden: Wenn Ziele nicht erreicht werden, müssen die zuständigen Ressorts nach § 8 KSG sogenannte „Sofortprogramme“ auflegen, die die Einhaltung der Jahresemissionsmengen des Sektors für die folgenden Jahre sicherstellen.

Die erste Überprüfung der Ziele des KSG findet parallel zur Erstellung dieser Studie im Frühjahr 2021 statt. Im März gaben Umweltbundesamt (UBA) und das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) bereits bekannt, dass die Ziele aufgrund der Corona-Krise und einem „windstarken“ Energiejahr in allen Sektoren außer dem Gebäudebereich erreicht wurden. Nach der Bestätigung dieser Befunde durch den Expertenrat im April 2021 ist zu erwarten, dass ein Sofortprogramm nach § 8 KSG die Maßnahmen des KSP 2030 im Gebäudebereich verschärfen wird. Diese zu erwartende Verschärfung auf bundesdeutscher Ebene wird auch Hessen helfen, seine Ziele im Gebäudebereich erreichen zu können.

Wie bereits oben erwähnt, wurde das KSG im Juni 2021 verschärft, sodass bis 2030 insgesamt ca. 65 % der bundesdeutschen Treibhausgas (THG)-Emissionen gegenüber 1990 einzusparen sind. Die zulässigen Jahresemissionsmengen sowie resultierende Sektorziele werden zur Information in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Zulässige Jahresemissionsmengen gemäß KSG 2021 und resultierende prozentuale Minderungsziele für 2030

	1990	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Minderung gegenüber 1990
Sektor	in Mio. tCO ₂ -Äqu.												in %
Energie-wirtschaft	466	280		257								108	76,8%
Industrie	284	186	182	177	172	165	157	149	140	132	125	118	58,5%
Gebäude	210	118	113	108	102	97	92	87	82	77	72	67	68,1%
Verkehr	164	150	145	139	134	128	123	117	112	105	96	85	48,2%
Landwirt-schaft	87	70	68	67	66	65	63	62	61	59	57	56	35,6%
Abfallwirt-schaft und Sonstiges	38	9	9	8	8	7	7	6	6	5	5	4	89,5%
Summe	1.249	813	517	756	482	462	442	421	401	378	355	438	64,9%

Quelle: UBA (2021a): Daten 1990, KSG (2021): Minderungsziele 2030, eigene Berechnungen. Abweichungen der Summen ergeben sich durch Rundungsfehler.

2.3 Klimapolitische Ziele Hessens

Das Land Hessen hat sich mit dem Integrierten Klimaschutzplan (IKSP) aus dem Jahr 2017 das Ziel gesetzt, die THG-Emissionen bis 2050 gegenüber dem Basisjahr 1990 um mindestens 90 % zu reduzieren (HMUKLV 2017). Das Hessische Energiezukunftsgesetz aus dem Jahr 2012 sieht eine Deckung des Endenergieverbrauchs von Strom und Wärme mit Erneuerbaren Energien von möglichst 100 % bis zum Jahr 2050 vor.

Die erste Phase des IKSP wurde 2021 mit einem Monitoringbericht abgeschlossen. Ab 2021 wird der IKSP weiterentwickelt. Die Zielstellung hierfür ist – analog zum Bundesziel aus dem KSP 2050 von 2019 – eine Reduktion der THG-Emissionen bis zum Jahr 2030 um 55 % gegenüber 1990. Dieses Ziel wurde im Jahr 2019 von der hessischen Landesregierung per Kabinettsbeschluss festgelegt.

Nach der Novellierung des KSG im Jahr 2021 wurde auch das Ziel der Klimaneutralität in Hessen auf 2045 vorgezogen.

Der Monitoringbericht macht deutlich, dass die Klimapolitik des Landes verschärft werden muss. Die Maßnahmen des IKSP sind meist in den Bereichen der Förderung, Beratung und Öffentlichkeitsarbeit angesiedelt, deren Wirkung begrenzt sowie nur schwer messbar ist. Im weiterentwickelten IKSP sollten darüber hinausreichende, wirksame Instrumente und ambitioniertere Maßnahmen ergriffen werden. Erforderlich sind Orientierung gebende ordnungsrechtliche Maßnahmen sowie eine konsequentere Ausrichtung der Förderprogramme des Landes auf Klimaschutz und Klimaanpassung und deren finanzielle Verstärkung.

3 Abschätzung plausibler Sektorziele – Methodik

3.1 Statistische Abgrenzungen

Bevor die Bundesziele nach KSG 2019 auf Hessen übertragen werden, ist die Brücke zwischen der hessischen THG-Bilanz, die der offiziellen Methodik für Emissionsinventare folgt, und den Sektorabgrenzungen des KSG bzw. des KSPr 2030 auf Bundesebene zu schlagen.

Tabelle 5 beschreibt zunächst die Sektoren des KSG anhand des gemeinsamen Berichtsformats der Europäischen Klimaberichterstattung (Common Reporting Formats, CRF).

Tabelle 5: Abgrenzung der Sektoren des Bundes-Klimaschutzgesetzes mithilfe des gemeinsamen Berichtsformates der Europäischen Klimaberichterstattung (Common Reporting Format, CRF)

Sektoren	Beschreibung der Quellkategorien des gemeinsamen Berichtsformats (Common Reporting Formats CRF)	Quellkategorie CRF
1. Energiewirtschaft	Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft; Pipelinetransport (übriger Transport); Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen	1.A1; 1.A.3.e; 1.B
2. Industrie	Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft; Industrieprozesse und Produktverwendung; CO ₂ -Transport und -Lagerung	1.A.2; 2; 1.C
3. Gebäude	Verbrennung von Brennstoffen in Handel und Behörden; Haushalten. Sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen)	1.A.4.a; 1.A.4.b; 1.A.5
4. Verkehr	Transport (ziviler inländischer Luftverkehr; Straßenverkehr; Schienenverkehr; inländischer Schiffsverkehr) ohne Pipelinetransport	1.A.3.a; 1.A.3.b; 1.A.3.c; 1.A.3.d
5. Landwirtschaft	Landwirtschaft; Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft und in der Fischerei	3; 1.A.4.c
6. Abfallwirtschaft und Sonstiges	Abfall und Abwasser; Sonstige	5; 6
7. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft	Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen; Holzprodukte; Änderungen zwischen Landnutzungskategorien	4

Quelle: KSG (2019), eigene Darstellung.

Um der Logik der hessischen Treibhausgasbilanz zu folgen, mussten einige Zusammenfassungen und Verschiebungen erfolgen. Das ist auch erforderlich, da die Abgrenzungen der Sektoren im Klimaschutzprogramm des Bundes nicht genau der Methodik der Emissionsinventare entsprechen. Diese Abgrenzungen bzw. Verschiebungen werden im Folgenden beschrieben:

- Die THG-Bilanz Hessens unterscheidet zwischen prozessbedingten und energiebedingten Emissionen aus der Industrie, was beim KSG nicht der Fall ist.
- Im KSG wird der Sektor „Gebäude“ ausgegliedert, der in dieser Form nicht in der Landes-THG-Bilanz erscheint. Er entspricht jedoch im Großen und Ganzen der Summe der THG-Bilanzgliederungen „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ (Haushalte, GHD), da die direkten Emissionen in diesen beiden Sektoren so gut wie vollständig von der Bereitstellung von Heizenergie verursacht werden. Abgezogen wird hier allerdings wieder die „Stationäre und mobile Feuerung in landwirtschaftlichen Anlagen“, die in den Bundesprogrammen dem Sektor Landwirtschaft zugeschlagen wird.
- Der Sektor „Landwirtschaft“ in der THG-Bilanz Hessens bezieht sich nur auf die Methan- und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft. Dieser Sektor im KSG dagegen bezieht – neben der bereits oben erwähnten Kategorie „Stationäre und mobile Feuerung“ – auch die Kohlenstoffemissionen aus landwirtschaftlichen Böden mit ein. Diese Abgrenzung ist zu beachten, wenn die in dieser Studie zitierten Zahlen direkt mit der Landesstatistik verglichen werden.
- Das KSG definiert weiterhin den Sektor „Abfallwirtschaft und Sonstiges“, der die CRF-Quellkategorien 5 und 6 umfasst. Die Quellkategorie 6 (Sonstige) wird in der hessischen THG-Bilanz nicht erfasst. Quellkategorie 5 enthält hauptsächlich Emissionen aus Abfalldeponien, biologischer Abfallbehandlung und der Abwasserbehandlung. In der hessischen THG-Bilanz werden neben der Landwirtschaft die Methan- und Lachgasemissionen für die Abfall- und Abwasserwirtschaft sowie Emissionen, die energie- und prozessbedingt anfallen, erfasst. Nach KSG werden letztere den jeweiligen Energiesektoren zugeordnet, z.B. die diffusen Emissionen aus Brennstoffen dem Sektor „Energiewirtschaft“. Zur Zielbestimmung in dieser Studie wurden die Methan- und Lachgasemissionen aus der Abfall- und Abwasserwirtschaft sowie energie- und prozessbedingte Methan- und Lachgasemissionen zum Emissionssektor „Sonstige Methan- und Lachgasemissionen“ zusammengefasst. Für jeden Teilbereich wird die Zielbestimmung separat diskutiert. Für alle Sektoren mit energiebedingten, fossilen Emissionen entstehen Lachgas und meist auch Methanemissionen, die sich bei der Nutzung und Verteilung von Erdgas und bei Verbrennungsprozessen oft nicht vermeiden lassen. In dem Maß, in dem die Nutzung von Erdgas und die Verbrennungsprozesse reduziert werden, wird angenommen, dass sich diese Emissionen auch im gleichen Maße reduzieren. Dies wird bei der Zieldefinition der energie- und prozessbedingten sonstigen Methan- und Lachgasemissionen berücksichtigt.

Die THG-Bilanz wird entsprechend der nationalen Emissionsberichterstattung (NIR) als Quellenbilanz erstellt, d.h. die geographische Abgrenzung erfolgt auf der Grundlage der Emissionsquelle (Energieerzeugung, Industrie, Gebäude, Landwirtschaft, Sonstige) bzw. Abgabe des Energierohstoffes (Verkehr). Während diese in den meisten Sektoren mit dem Ort des verursachenden Energieverbrauchs übereinstimmt, ist dies insbesondere in der Strombereitstellung nicht der Fall. So importiert Hessen bilanziell ca. die Hälfte des zur Deckung seines Verbrauchs erforderlichen Stroms. Um diese Strombezüge einzubeziehen, wird hierfür regelmäßig nachrichtlich auch eine Verursacherbilanz aufgestellt. Dieser Aspekt wurde bei der Zieldefinition dieses Sektors nachrichtlich berücksichtigt.

3.2 Zur Methode der Trendfortschreibungen

Um eine plausible Entwicklung der Emissionen zu ermitteln, wurde für jeden Sektor der Trend der emissionstreibenden Faktoren in Hessen prognostiziert und mit dem Trend auf Bundesebene verglichen. Dabei wurde analysiert, ob die Struktur der THG-Emissionen im betreffenden Handlungsfeld von der Struktur der Emissionen im Bundesgebiet abweicht, und wenn ja, in welchem Maße. Die Abweichungen werden im Einzelnen in den folgenden Kapiteln diskutiert. Ziel des Vergleiches war es, abzuschätzen, ob und in welchem Maße die Sektorziele aufgrund von Besonderheiten in Hessen gegenüber dem Bund höher oder geringer als die entsprechenden Bundessektorziele anzusetzen sind.

Für viele Einzeltrajektorien wurde mit einem Standardverfahren der datenimmanente Trend für die nächsten zehn Jahre errechnet. Dieses Standardverfahren nutzt eine Schätzfunktion mit dreifach exponentieller Glättung zur Erstellung einer Prognose für die zukünftige Zeitreihe. Für Entwicklungen mit einer linearen Dynamik wurde die Schätzfunktion für langfristig lineare Prognosen eingesetzt. Ein Vorteil dieser Prognosefunktion ist, dass sie im gleichen Prozess das Konfidenzintervall, das in dieser Studie standardmäßig auf 95 % festgelegt ist, für die vermutliche Entwicklung mit definiert. Wenn gut begründete nicht-lineare Dynamiken (z.B. exponentielle Entwicklungen) erwartet werden konnten, wurden entsprechende Modellannahmen in den jeweiligen Abschnitten angewendet.

Trendfortschreibungen haben den Vorteil, dass sie eine längerfristige Tendenz abbilden, die das Ergebnis des Zusammenwirkens der vielfältigen, komplex aufeinander wirkenden Einflussfaktoren realer Entwicklungen sind. Zur Plausibilisierung wurden einschlägige modellgestützte Studien für die Bundesebene herangezogen (z.B. Prognos et al. (2020a), UBA (2020)). Deren Resultate liegen häufig in ähnlichen Dimensionen und deren Trends wie in dieser Kurzstudie ermittelt.

3.3 Datenquellen

Die Darstellung von Vergangenheitsdaten zu Emissionen und die Ableitung der Sektorziele speist sich aus verschiedenen Datenquellen. Verwendet wurden Daten und Zeitreihen aus dem Monitoringbericht 2020 zum IKSP 2025 des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV 2020a), der Treibhausgasbilanz für das Land Hessen für das Bilanzjahr 2018 (HMUKLV 2020b), Angaben des Hessischen Statistischen Landesamtes (HSL), die auf der Internet-Datenbank des Landesarbeitskreises Energiebilanzen veröffentlicht werden (LAK 2021), und den Monitoringberichten des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen (HMWEVW 2019 und 2020a). Für Emissionsdaten zu den Treibhausgasen Methan und Lachgas wurde zudem auf separat bereitgestellte Tabellen des Hessischen Statistischen Landesamtes (HSL 2021a) sowie Tabellen des Thünen-Instituts (Haenel et al. 2020) zurückgegriffen. Für den Bereich der energie- und prozessbedingten CO₂-Emissionen ist anzumerken, dass für die Berechnung der Trends im Sinne der Aktualität und des höheren Detailgrads historische Daten aus der Online-Datenbank des LAK Energiebilanzen verwendet wurden. Diese Datenbank wird laufend aktualisiert. Der Abruf dieser Daten aus der Datenbank des LAK erfolgte im Zeitraum von Februar bis März 2021. Im Sinne der Konsistenz wurden primär diese Daten zitiert. Daten aus der Treibhausgasbilanz, die zu einem früheren Zeitpunkt berechnet und veröffentlicht worden waren, wurden nur dann herangezogen, wenn diese nicht in der LAK-Datenbank enthalten waren.

Es sei an dieser Stelle noch einmal explizit darauf hingewiesen, dass die Datenbank des LAK regelmäßig aktualisiert wird. Dies ist zu beachten, wenn zu einem späteren Zeitpunkt Daten dieser Studie mit Daten aus der Datenbank des LAK verglichen werden. Aufgrund der Aktualisierungen können Daten aus der LAK-Datenbank nicht nur von denen der hessischen Treibhausgasbilanz abweichen. Diese minimalen Differenzen zur hessischen Treibhausgasbilanz können bei der Bestimmung der Sektorziele vernachlässigt werden. Im Bereich der Gase Methan und Lachgas

können die in der hessischen Treibhausgasbilanz dargestellten Summen exakt aus HSL (2021a) und Haenel et al. (2020) abgeleitet werden.

Weiterhin sei darauf hingewiesen, dass diese Studie im Frühjahr 2021 beauftragt wurde und im Verlauf der Bearbeitung wichtige Ereignisse, wie z.B. die Novelle des Klimaschutzgesetzes auf Bundesebene, eingetreten sind. Nach Möglichkeit wurden im Verlauf der Studierarbeit aktuelle Daten oder Studien einbezogen. Es ist aber nicht gänzlich auszuschließen, dass während der Studiererstellung neuere Daten oder Informationen veröffentlicht wurden, die nicht mehr in allen Fällen berücksichtigt werden konnten.

4 Sektorziele für Hessen

4.1 Ausgangssituation

Nach Angaben von LAK (2021) und des Hessischen Statistischen Landesamtes (HSL 2021a) wurden im Jahr 2018 in Hessen ohne die Berücksichtigung des internationalen Luftverkehrs ca. 38,4 Mt CO₂-Äqu. emittiert. Die Entwicklung der Emissionen von 1990 bis 2018 wird in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Entwicklung der THG-Emissionen in Hessen von 1990 bis 2018

THG	1990	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	1990 2018
	Emissionen in Mt CO ₂ -Äqu.								Minderung in %
Kohlendioxid ¹⁾	43,7	45,4	43,0	39,3	36,2	37,6	36,7	34,7	21%
Energiebedingt ²⁾	42,7	44,5	42,3	38,6	35,6	37,0	36,0	34,1	20%
Prozessbedingt	1,0	1,0	0,7	0,7	0,6	0,6	0,7	0,7	36%
Methan ^{1) 2)}	5,6	3,8	2,9	2,5	2,3	2,2	2,2	2,2	61%
Lachgas ^{1) 2)}	1,6	1,6	1,3	1,2	1,6	1,6	1,6	1,5	7%
Insgesamt	50,9	50,8	47,2	42,9	40,1	41,4	40,4	38,4	25%

¹⁾ Ohne Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft; ²⁾ Ohne internationalen Luftverkehr

Quelle: Energie- und prozessbedingte Emissionen: eigene Berechnungen mit Daten von LAK (2021); Methan- und Lachgas: HSL (2021a). Abweichungen in den Summen ergeben sich aus Rundungsfehlern.

Die bundespolitische Zielsetzung im Rahmen des KSP 2050 bzw. des KSPr 2030 bezieht sich auf die bundesweiten Emissionen des Jahres 1990. In diesem Stichjahr wurden auf Bundesebene 1.249 Mt CO₂-Äqu. (UBA 2021a) und in Hessen 50,9 Mt CO₂-Äqu. (LAK 2021, HSL 2021a) emittiert.

4.2 Basis: Direkte Übertragung der Bundesziele auf Handlungsfelder in Hessen

In einem ersten Schritt und als einfachster Weg zur Ableitung von Sektorzielen für Hessen können die Bundesziele direkt auf Hessen übertragen werden.

Die von der Bundesregierung im KSG 2019 vorgesehenen Reduktionsziele für 2030 entsprechen auf Bundesebene einer Reduktion um 56,5 %, so dass hier noch 543 Mt CO₂-Äqu. im Jahr 2030 emittiert werden „dürften“. Für Hessen ergäbe sich bei einer direkten Übertragung der einzelnen Sektorziele des Bundes auf die Sektoren in Hessen eine Reduktion um knapp 57 % und damit eine

„Restemission“ im Jahr 2030 von 22 Mt CO₂-Äqu. bzw. eine Reduktion um 28,9 Mt CO₂-Äqu. Tabelle 7 illustriert die Sektorziele und Restemissionen, die sich für Hessen ergeben würden.²

² Das KSG 2021 wurde erst nach Beauftragung der vorliegenden Studie entwickelt, so dass hier auf die Daten des KSG 2019 zur Ableitung der Sektorziele zurückgegriffen wird.

Tabelle 7: Übertragung der Bundesziele auf Hessen

Sektoren	1990	2018			2030		
	Emissionen	Emissionen	Minderung	Minderung	Minderungsziele Bund	Minderung Hessen	Emissionen Hessen
	in Mt CO ₂ -Äqu.	in Mt CO ₂ -Äqu.	in Mt CO ₂ -Äqu. gegenüber 1990	in % gegenüber 1990	in % gegenüber 1990	in Mt CO ₂ -Äqu. gegenüber 1990	in Mt CO ₂ -Äqu.
Energieerzeugung/-umwandlung	6,9	6,7	0,2	3%	62%	4,3	2,6
Haushalte, GHD ¹⁾	15,3	10,4	4,9	32%	67%	10,2	5,1
Verkehr	14,4	14,0	0,5	3%	42%	6,1	8,4
Industrie ²⁾	7,1	3,7	3,3	47%	51%	3,6	3,5
Methan- und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft	2,8	2,2	0,6	22%	33%	0,9	1,8
Sonstige Methan- und Lachgasemissionen	4,4	1,5	3,0	67%	87%	3,9	0,6
Summe	50,9	38,4	12,5	25%	57%	28,9	22,0

¹⁾ Entspricht im Wesentlichen dem Sektor Gebäude im Bund; ²⁾ einschließlich aller prozessbedingter Emissionen.

Quelle: Historische Daten: LAK (2021), außer: Landwirtschaft und sonstige Methan- und Lachgasemissionen: HSL (2021a); Minderungsziele Bund: KSG 2019; eigene Berechnungen. Abweichungen der Summen ergeben sich durch Rundungsfehler.

Durch Zufall ergibt sich bei dieser direkten Übertragung der Bundesziele auf Hessen eine Emissionsminderung um knapp 57 % im Vergleich zu 1990. Leider kann das jedoch nicht als realistische Sektorzielplanung für Hessen verwendet werden, denn:

- Im Verkehrsbereich ist das Ziel einer Reduktion um 42 % nicht plausibel erreichbar – die Wirkungsabschätzungen des KSPr 2030 der Bundesregierung von UBA (2020) und Prognos et al. (2020a) bleiben je weit unter 30 %, und
- im Bereich Energieerzeugung/-umwandlung wird das Ziel der Bundesebene durch Länder mit Kohleverstromung dominiert. In Hessen wird die Kohleverstromung zwar im Betrachtungszeitraum beendet, damit geht jedoch keine Reduktion der Emissionen um drei Fünftel des Wertes von 1990 einher. Das 62 %-Ziel des Bundes kann in Hessen nicht erreicht werden.

Eine „Lockerung“ der Sektorziele in den Bereichen Verkehr und Energieerzeugung erzwingt eine Verschärfung der Sektorziele in anderen Bereichen.

4.3 An hessische Gegebenheiten angepasste Sektorziele

Die Kombination der erwarteten Bundestrends mit den erwarteten Trends in Hessen wurde mit den in Tabelle 7 formulierten – aus den Bundessektorzielen abgeleiteten – Erwartungen verglichen. Daraus ergaben sich in manchen Bereichen sehr große Handlungslücken, so dass die Erreichung der aus den Bundeszielen abgeleiteten Ziele auch bei verstärkten Bemühungen des Landes als unrealistisch eingeschätzt werden mussten. In anderen Bereichen konnten die Ziele bereits als erreicht oder hochplausibel gelten. Die Sektorziele wurden daher in einem iterativen Prozess so weit angeglichen, dass sich die Summen der Emissionen der Einzelsektoren auf das Gesamtziel von 55% im Jahr 2030 im Vergleich zu 1990 addierten, aber dennoch in allen Sektoren erreichbar bleiben.

Tabelle 8 zeigt die angestrebte Minderung der hessischen Treibhausgasemissionen um 55 % bis 2030 gegenüber 1990 unter Berücksichtigung der landesspezifischen Besonderheiten. Im Vergleich zu den Bundeszielen werden die Minderungsziele:

- im Bereich der Energieerzeugung/-umwandlung auf 51 % entspannt,
- im Bereich von Haushalten, GHD auf 70 % verschärft,
- im Bereich des Verkehrs auf 34 % entspannt,
- bei den energiebedingten Emissionen der Industrie auf 67 % verschärft und bei den prozessbedingten Emissionen konstant auf 50 % gehalten.

Die anderen, von den Emissionen her kleineren Sektoren bleiben gegenüber dem Bundesziel unangetastet oder weichen nur unwesentlich davon ab³. Diese Sektorziele sind für Hessen immer noch ambitioniert und lassen sich in keinem der Sektoren ohne erhöhte Anstrengungen (außer im Bereich Abfall/Abwasser) für den Klimaschutz erreichen. Aber mit diesen Sektorzielen werden die zusätzlich notwendigen Anstrengungen über die vier größten Sektoren gleichmäßig verteilt, und insbesondere im Industriebereich auf ein Maß reduziert, das den Industriestandort Hessen nicht bedroht. Eine Verschiebung der Ziele zwischen den Sektoren beispielsweise aus politischen, ökonomischen oder technischen Gründen ist grundsätzlich denkbar, jedoch unter der Voraussetzung, dass das Gesamtziel von 55 % THG-Reduktion bis 2030 im Vergleich zu 1990 erreicht wird.

³ 32 % THG-Reduktion bis 2030 für die Landwirtschaft in Hessen (beim Bund: 31 %); % THG-Reduktion bis 2030); das 80 %-Ziel im Bereich „Sonstige Methan- und Lachgasemissionen“ setzt sich zusammen aus dem 87 %-Ziel – dem Bundesziel – für den Bereich Abfall und Abwasser sowie einer 54-prozentigen Minderung für energie- und prozessbedingte Methan- und Lachgasemissionen.

Ein Erreichen der Ziele alleine durch Maßnahmen des Landes Hessens ist in keinem Sektor möglich oder erforderlich. Das Erreichen der sektoralen Landesziele hängt stark von den Entscheidungen und Maßnahmen der Bundes- und EU-Ebene ab, da oft nur bestimmte Felder in der unmittelbaren Entscheidungskompetenz Hessens liegen. Insbesondere verpflichtet das Bundesklimaschutzgesetz die Bundesregierung und ihre Ressorts dazu, bei durch eine Expertenkommission festgestellten Zielverfehlungen mit geeigneten Maßnahmen sektoral nachzusteuern. Es ist daher zu erwarten, dass der allergrößte Beitrag zu den für Hessen definierten Emissionszielen von der Bundesebene, u.a. auf der Basis von gesetzlichen Vorgaben und Förderprogrammen geleistet wird.

Welcher Anteil das sein wird, kann jedoch kaum berechnet werden, da individuelles Emissionsverhalten stets von vielen Faktoren bestimmt wird. Veränderungen in sektoralen Emissionen sind in der Regel das Resultat aus dem Zusammenspiel von Instrumenten und Maßnahmen auf verschiedenen Ebenen und anderen Einflussfaktoren, z.B. von Temperatur, wirtschaftlicher – auch regionalwirtschaftlicher - Entwicklung, strukturellen Voraussetzungen und Umsetzungstempo. Eine klare Zurechnung des Anteils an der Emissionsminderung auf die verschiedenen Ebenen war daher nicht möglich. Es wird jedoch in der jeweiligen Sektorbetrachtung diskutiert, welche Rolle die verschiedenen Ebenen spielen. Die Berechnungen wurden so durchgeführt, dass der Handlungsdruck in allen Sektoren relativ zu den technisch und investitionszyklusbezogen möglichen Veränderungsgeschwindigkeiten sowie zu den Eingriffsmöglichkeiten der Landesressorts ausgeglichen wurde.

Tabelle 8: Vorgeschlagene Sektorziele für Hessen

Sektoren	1990	2018		2030				
	Emissionen in Mt CO ₂ - Äqu.	Emissionen in Mt CO ₂ - Äqu.	Minderung in Mt CO ₂ -Äqu. gegenüber 1990	Minderung in % gegenüber 1990	Emissionen in Mt CO ₂ - Äqu.	Minderung in Mt CO ₂ -Äqu. gegenüber 1990	Minderung in % gegenüber 1990	Minderung in % gegenüber 2018
Energieerzeugung/- umwandlung	6,9	6,7	0,2	3%	3,4	3,5	51%	49%
Haushalte, GHD	15,3	10,4	4,9	32%	4,6	10,7	70%	56%
Verkehr	14,4	14,0	0,5	3%	9,5	5,0	34%	32%
Industrie gesamt	7,1	3,7	3,3	47%	2,5	4,6	65%	33%
<i>Industrie: Energiebedingte CO₂- Emissionen</i>	6,1	3,1	3,0	49%	2,0	4,1	67%	35%
<i>Industrie: Prozessbedingte CO₂- Emissionen</i>	1,0	0,7	0,4	36%	0,5	0,5	50%	22%
Methan- und Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft	2,8	2,2	0,6	22%	1,9	0,9	32%	12%
Sonstige Methan- und Lachgasemissionen	4,4	1,5	3,0	67%	0,9	3,6	80%	40%
Summe	50,9	38,4	12,5	25%	22,7	28,2	55%	41%

Quelle: Historische Daten: LAK (2021), außer: Landwirtschaft und sonstige Methan- und Lachgasemissionen: HSL (2021a); Minderungsziele Hessen: eigene Berechnungen. Abweichungen der Summen ergeben sich durch Rundungsfehler.

5 Sektorale Betrachtungen

Im Folgenden werden die Ziele für die einzelnen Sektoren begründet und deren Herleitung dargestellt. Dabei wird für alle Sektoren jeweils der Stand des Energieverbrauchs im Jahre 2018 betrachtet, die Treibhausgasemissionen dargestellt und Abschätzungen realisierbarer Emissionsminderungsziele bis 2030 vorgestellt.

5.1 Energieerzeugung/-umwandlung

5.1.1 Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU , Bundes und Landesebene

EU-Ebene

Für die Energiewirtschaft formuliert die EU nur wenige direkte klimaschutzbezogene Ziele. Formuliert wurden Ausbauziele: Der Anteil erneuerbarer Energiequellen sollte demnach bis 2030 auf mindestens 32 % des Bruttoendenergieverbrauchs steigen; dieser Prozentsatz wird zur Erreichung des neuen europäischen Klimaziels einer Minderung um 55 % bis 2030 im „Fit-for-55“-Legislativpaket erhöht.

Zur Erreichung der europäischen Klimaschutzziele wurde 2005 der EU ETS für große Punktquellen eingeführt, dem der Kraftwerkssektor unterliegt. Etwas mehr als die Hälfte (52 %) der europäischen EU ETS-Emissionen stammten 2019 aus dem Stromsektor, der Rest aus der energieintensiven Industrie (Ember 2020). Für den Emissionshandel wurden Mengenziele definiert, jedoch nicht spezifisch für den Sektor Energieerzeugung/-umwandlung. Die Zielgrößen des Emissionshandels dürften aufgrund des neuen Klimaziels weiter verschärft werden, was den Zertifikatspreis tendenziell erhöhen könnte. Der ETS-Preis für eine Tonne CO₂ liegt zuletzt bei über 50 Euro (Stand Juli 2021), was derzeit einen marktgetriebenen Brennstoffwechsel von der Kohleverstromung in Richtung Erdgas bewirkt.

Bundesebene

Im KSG 2019 legte der Bund für die Energiewirtschaft eine Restemissionsmenge im Jahr 2030 von 175 Mt CO₂-Äqu. fest. Mit der Novelle des Klimaschutzgesetzes im Juni 2021 (KSG 2021) wurde diese Zielsetzung nochmals verschärft; so soll die Energiewirtschaft ihre Emissionen nun bis 2030 auf 108 Mt CO₂-Äqu. absenken, also zusätzliche 67 Mt CO₂-Äqu. einsparen.

Damit soll die Energiewirtschaft einen vergleichsweise hohen Beitrag zur Gesamtminderung der Emissionen leisten. Begründet wird dies im KSG 2021 *erstens* mit dem ökonomischen Gedanken, dort zu mindern, wo die Vermeidungskosten am geringsten sind und *zweitens* mit den hohen Emissionen der Energiewirtschaft, die sich aus den – historisch gesehen – hohen Anteilen der Kohleverstromung ergeben. *Drittens* hat Elektrizität eine Schlüsselrolle in der Energiewende, denn die Elektrifizierung von Wärme, Mobilität, industriellen Prozessen sowie Herstellung von „grünem“ Wasserstoff ist ein zentraler, realisierbarer Baustein des Brennstoffwechsels. Zugleich sind die CO₂-Vermeidungskosten durch den Brennstoffwechsel in der Stromerzeugung nach aktuellem Stand vergleichsweise niedriger als in anderen Sektoren.

Die Federführung auf Bundesebene für die Erarbeitung von Maßnahmenvorschlägen im Handlungsfeld Energiewirtschaft liegt beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Das BMU ist für klimapolitische Instrumente wie den europäischen und den nationalen Emissionshandel zuständig.

Hessen

Der *Hessische Energiegipfel*, der 2011 und 2012 stattfand, ist bis heute eine zentrale Bezugsgröße für die Energiewende-Ziele von Hessen. Ein Emissionsminderungsziel wurde damals zwar nicht formuliert, jedoch wurde das Ziel definiert, den Endenergieverbrauch in Hessen (Strom und Wärme) bis zum Jahr 2050 möglichst zu 100 % aus erneuerbaren Energien zu decken. Das kommt de facto einer Reduktion der Emissionen um 100 % bis zum Jahre 2050 gleich. Ein sektorspezifisches Zwischenziel zur Umsetzung der ambitionierteren Ziele auf Bundes- und EU-Ebene bis 2030 existiert in Hessen bisher nicht.

Klar erkannt wurde zudem die Relevanz von Energieeffizienz, des Ausbaus der Energieinfrastruktur und die Sicherung der gesellschaftlichen Akzeptanz. Auf dieser Basis wurden zahlreiche Maßnahmen auf Grundlage des Dreiklangs aus „Informieren – Beraten – Fördern“ initiiert, die alle relevanten Akteure erreichen sollen.

Die Ziele flossen in das am 20. November 2012 verabschiedete *Hessische Energiezukunftsgesetz* ein, das eine Neufassung des Hessischen Energiegesetzes ist. Es setzt an vielen Stellen auf Freiwilligkeit und Selbstverpflichtung. Ebenfalls gesetzlich verankert wurde darin das Energiemonitoring, das seither jährlich vom Wirtschaftsministerium vorgelegt wird. Im Hessischen Energiezukunftsgesetz 2012 werden aber auch sehr grundsätzliche Regelungen mit Relevanz für den Windausbau, u.a. zur Bauordnung, zum Denkmalschutz und zur Kompensation formuliert.

Die *Energie-Agenda 2015* greift diese Impulse ebenfalls auf und konkretisiert sie in Form von unterstützenden Maßnahmen (Beratung, Finanzierung, Unterstützung der Forschung, Förderung von Grünstrom auf dem Dach sowie dezentralen Kleinkraftwerken, Informationsinitiativen zum Thema Windenergie).

Die Erklärungen zur *Roadmap Energie 2018* bestärkten den eingeschlagenen Weg nochmals und betonten zusätzlich den Aspekt der Digitalisierung und Vernetzung.

Zuständig für das Thema Energiewende und deren Monitoring ist das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen (HMWEVW). Die Entwicklung des IKSP und dessen Monitoring obliegt hingegen dem HMUKLV.⁴ Für wirksamen Klimaschutz müssen beide Ressorts also gemeinsame Vorstellungen und Maßnahmenpakete entwickeln und auch gegenüber der Bundesebene in den jeweiligen Fachministerkonferenzen der Bundesländer (Umweltministerkonferenz sowie Energieministerkonferenz) und im Bundesrat vertreten.

5.1.2 Energieerzeugung/ umwandlung in Hessen 2018

Stromerzeugung

Hessens eigene Stromerzeugung leistet einen tendenziell geringen und zuletzt rückläufigen Beitrag zur Deckung des hessischen Bruttostromverbrauchs. 2018 wurden in Hessen 34,2 Terawattstunden (TWh) verbraucht, mit leicht sinkendem Trend über die letzten Jahre. Die Bruttostromerzeugung lag 2018 mit 16,8 TWh deutlich darunter. Fast 51 % oder 17,4 TWh wurden aus anderen Bundesländern bezogen. Zum Vergleich: Im Jahr 2000 lag die Eigenversorgung noch bei etwa 75 %. Dabei ist zu beachten, dass zu diesem Zeitpunkt noch ein nicht unerheblicher Teil des Stroms (mehr als die Hälfte) aus der Kernenergie erzeugt wurde.

Das Niveau der hessischen Stromerzeugung ist also stark gesunken und schwankte zudem teilweise erheblich, u.a. aufgrund einer Havarie im Kraftwerk Staudinger (2014) sowie bei Stillständen (2007,

⁴ Eine Zusammenstellung der energierechtlichen Bundes- und Landeszuständigkeiten enthält HMWEVW (2021a).

2009) des Kernkraftwerks Biblis, das 2011 gänzlich stillgelegt wurde. Seither bewegt sich die Erzeugung etwa auf dem heutigen Niveau.

Die Anzahl der Kraftwerke mit einer installierten Leistung von mehr als einem Megawatt (MW) beläuft sich nach Angaben des Energiemonitorings für Hessen 2018 auf 98, wovon 61 als konventionelle Energieanlagen inklusive acht Müllverbrennungsanlagen eingestuft werden (HMWEVW 2019 und HMWEVW 2020a). 34 konventionelle Energieanlagen sind größer als zehn Megawatt und verfügen zusammen über eine Leistung von 3.088 MW (HMWEVW 2019).

Die installierte Leistung der Kohlekraftwerke in Hessen ist gering. Block 5 des Kraftwerks Staudinger in Großkrotzenburg ist mit 510 MW elektrischer Leistung (MW_{el}) der größte steinkohlebefeuerte Kraftwerksblock in Hessen. Am Standort Offenbach betreibt die Energieversorgung Offenbach AG ein Heizkraftwerk mit 54 MW_{el} , das mit Steinkohle betrieben wird. Zusätzlich wird Biomasse mitverbrannt. Das Kraftwerk wurde 1990 in Betrieb genommen. In Frankfurt betreibt die Mainova im Heizkraftwerk West zwei erdgasbetriebene sowie zwei steinkohlebetriebene Blöcke mit einer Nettonennleistung von je 61,5 MW_{el} . Das Kraftwerk wurde 1994 in Betrieb genommen. Im Industriepark Höchst betreibt die InfraserV GmbH & Co. Höchst KG neben dem erdgasbetriebenen Kraftwerksblock A den Kraftwerksblock B, in dem Steinkohle als Hauptenergieträger zum Einsatz kommt. Kraftwerksblock B hat eine Nettonennleistung von 66 MW_{el} und ging 1989 in Betrieb. Am Standort Kassel betreibt die Städtische Werke Energie + Wärme GmbH das Fernwärmekraftwerk Kassel mit 33,5 MW_{el} . Das Kraftwerk wurde 1989 in Betrieb genommen. Es ist der letzte verbleibende Standort in Hessen, der Braunkohle nutzt.

Auch das größte erdgasbetriebene Kraftwerk steht am Standort Staudinger (Block 4) mit einer Leistung von 572 MW, allerdings wird es nicht mehr am Strommarkt betrieben, sondern ausschließlich in der Netzreserve und wurde in dieser in den letzten Jahren kaum abgerufen. Die vertragliche Bindung endet im März 2023; danach wird sich herausstellen, ob Block 4 weiterhin als systemrelevant eingestuft oder zur (bereits beantragten) endgültigen Stilllegung freigegeben wird.

Es folgt in der Größenreihung eine Gas- und Dampfturbinenanlage (GuD) am Opel-Standort in Rüsselsheim mit 112 MW sowie Block 4 des Heizkraftwerk West in Frankfurt mit 99 MW. Insgesamt haben die 19 mit Erdgas betriebenen Kraftwerke mit mehr als zehn MW Nennleistung eine installierte Leistung von 1.511 MW.

2018 lag der Anteil der erneuerbaren Energien an der landeseigenen Bruttostromerzeugung bei 7.966 Gigawattstunden (GWh) oder 47,3 %. Damit liegt der Anteil der erneuerbaren Energien in Hessen deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 35 % im Jahre 2018. Erdgas lieferte 29,7 %, die Stein- und Braunkohleverstromung trug 15,6 % und die sonstigen konventionellen Energieträger steuerten weitere 7,3 % bei. Der Anteil von Erdgas ist in Hessen fast doppelt so hoch wie auf Bundesebene, und der Anteil von Kohle liegt bei rund der Hälfte des Bundeswertes.

Fernwärme

Ein wichtiger Verursacher von Treibhausgasemissionen in der hessischen Energieumwandlung ist die Fernwärme. Diese spielt vor allem in der hessischen Gebäudeversorgung in Städten eine zunehmende Rolle. Rund die Hälfte der Fernwärme wird an private Haushalte geliefert, weitere etwa 25 % an den Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Die Wärmeerzeugung aus Kraftwerken der allgemeinen Versorgung mit einer installierten Leistung von mehr als einem MW lag 2019 laut hessischem Energiemonitoring bei 7.567 Gigawattstunden (GWh) (HMWEVW 2020a) und damit auf ähnlichem Niveau wie in den Vorjahren.⁵

⁵ Vergleichbare Angaben für 2018 liegen für Hessen nicht vor.

Die Fernwärme deckte in Hessen im Jahr 2018 etwa elf Prozent des Endenergieverbrauchs an Wärme (Arepo & Lankwitz Institute for Technology and Environment [LITE] 2019). 76,9 % der Fernwärme wird in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) erzeugt. Dieser Anteil lag auch in den Vorjahren in etwa auf diesem Niveau (mit maximalem Ausschlag auf 82 %). Den Angaben des HSL auf der Homepage des Länderarbeitskreises Energiebilanzen folgend (LAK 2021) lag der Anteil erneuerbarer Wärme bei 18 %. Festzustellen ist auch eine steigende Anzahl kleinerer KWK-Anlagen.

Der Anteil der erneuerbaren Energien in der Fernwärme in Deutschland ist seit 2010 (7,8 %) bis 2020⁶ um insgesamt rund zehn Prozentpunkte gestiegen. Bundesweit wurden und 126 Mrd. Kilowattstunden (kWh) an Fernwärme erzeugt. Davon stammten 17,8 % (gut 22 Mrd. kWh) aus erneuerbaren Energien. Dazu trägt Biomasse 9,4 Prozentpunkte (11,8 Mrd. kWh) bei, biogener Siedlungsabfall 7,6 Prozentpunkte (9,6 Mrd. kWh) sowie Geo- und Solarthermie zusammen 0,8 Prozentpunkte (eine Milliarde kWh).

Bezogen auf alle Heizungsarten liegt der Anteil erneuerbarer Energien in der in deutschen Städten hingegen im niedrigen einstelligen Prozentbereich. Mit ihrem knapp 18 % hohen Erneuerbaren-Anteil trägt die Fernwärme also erheblich zur städtischen Wärmewende bei (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft [BDEW] 2021). Verschiedene Bundesländer mit höheren Anteilen wie z.B. Rheinland-Pfalz mit 25 % (Agentur für Erneuerbare Energien 2021) können hier als Orientierung dienen, dass höhere Erneuerbaren-Anteile bereits heute möglich sind.

5.1.3 Treibhausgasemissionen der Energieerzeugung/ umwandlung

Im Jahr 2018 lagen die Emissionen des hessischen Sektors der Energieerzeugung und -umwandlung nach Quellenbilanz bei 6,7 Mt CO₂. Dieser Wert liegt etwa zwei Prozent unter demjenigen des Basisjahres 1990. Der Sektor war im Jahr 2018 für 17,3 % der hessischen Treibhausgasemissionen insgesamt (einschließlich Methan- und Lachgasemissionen sind dies 38,4 MT CO₂-Äqu.) verantwortlich (HMUKLV 2020b, eigene Berechnung).

Davon stammten 4,1 Mt CO₂ (62 %) aus der Stromerzeugung, 2,2 Mt CO₂ (34 %) aus der Fernwärmeerzeugung und 0,3 Mt CO₂ (5 %) sind Sonstigem sowie Verlusten zuzurechnen (LAK 2021).

Werden die 4,1 Mt an CO₂-Emissionen auf die Eigenerzeugung im Bundesland in Höhe von 16,8 TWh bezogen, hat der hessische Stromerzeugungsmix einen rechnerischen Emissionsfaktor in Höhe von 245 g CO₂/kWh. Im Vergleich zum Bundesdurchschnitt, den das UBA für 2018 mit 468 g CO₂/kWh angibt, ist dies ein sehr niedriger Wert.⁷ Er ergibt sich aus dem höheren Anteil der erneuerbaren Energien und der Dominanz von Erdgas im Vergleich zu Kohle bei den fossilen Energieträgern in Hessen im Vergleich zum Bund.

Jedoch kann nicht der ganze Strombedarf Hessens aus hessischen Kraftwerken gedeckt werden. Um Strombezüge einzubeziehen, wird regelmäßig auch nachrichtlich eine Verursacherbilanz aufgestellt. In dieser werden alle verbrauchten Energiemengen in die Emissionsbilanz einbezogen. Der aus Kraftwerken außerhalb Hessens bezogene Strom wird dann mit geeigneten Emissionsfaktoren bewertet und den Verbrauchern zugeordnet. Die Emissionen, die für den *Strombezug* im Jahre 2018 anzusetzen wären, lägen – mit dem o.g. Emissionsfaktor für Gesamtdeutschland bewertet – bei 8,1 Mt CO₂, die zusätzlich zu den Emissionen aus der Stromerzeugung in Hessen von hessischen Stromverbrauchern verursacht werden. Bis 2030 werden sich die spezifischen CO₂-Emissionen des importierten Strombezuges voraussichtlich vermindern.

⁶ Vergleichbare Angaben für 2018 liegen für die Bundesebene nicht vor.

⁷ Im Folgejahr 2019 lag der Emissionsfaktor für den deutschen Strommix aufgrund der marktgetrieben stark rückläufigen Stromerzeugung in Steinkohlekraftwerken nur noch bei 401 g CO₂/kWh und im Jahr 2020 sogar nur noch bei 366 g CO₂/kWh.

Die Gesamtemissionen des hessischen Energiesektors 2018 unter Einbeziehung des von außerhalb Hessens bezogenen Stroms liegen somit bei 14,8 Mt CO₂. Gegenüber dem Basisjahr 1990 inklusive Strombezug (12,9 Mt CO₂) würde dies einer Emissionssteigerung um 15 % entsprechen. Diese Betrachtung ist für die Ermittlung von Sektorzielen nach dem gängigen Prinzip der Quellenbilanz zwar nicht unmittelbar relevant. Für eine verantwortungsvolle Bilanzierung, aus der sich wirksame Maßnahmen ableiten lassen, ist die Nichtberücksichtigung von Emissionen außerhalb des eigenen Bilanzraums allerdings problematisch (Dena 2021a); sie sollte daher zumindest nachrichtlich berücksichtigt werden.

5.1.4 Ableitung des Sektorziels Energieerzeugung/ umwandlung

Vor dem Hintergrund der vorangegangenen Erläuterungen stellt sich die Frage, in welcher Form ein sinnvolles Minderungsziel 2030 für den hessischen Energiesektor formuliert werden kann. Ausgangspunkt für diese Überlegungen muss dabei das zentrale Ziel sein, einen Beitrag zur Erreichung des hessischen Minderungsziels von 55 % gegenüber 1990 zu leisten.

Die zentralen Beiträge zur Erreichung dieses Ziels aus Sicht der Energieumwandlung sind dabei

- der Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung und
- die Umrüstung der Fernwärme auf erneuerbare Energien.

Ein dritter und entscheidender Hebel, der nicht durch die Energieumwandlung selbst geleistet werden kann,⁸ ist die generelle Senkung des Wärme- und Strombedarfs in den anderen Sektoren.

Entscheidend für ein *sachlich* sinnvolles Minderungsvorhaben ist die Berücksichtigung des Strombezugs. Wir haben den Strombezug daher *nachrichtlich* in die Berechnungen des Sektorziels einbezogen.

Bis zum Jahre 2050 hat Hessen das Ziel, die Wärme- und Stromerzeugung vollständig auf erneuerbare Energien umzustellen. Für die Zielbestimmung des Zwischenjahres 2030 wird zunächst zwischen den Teilsektoren Stromerzeugung und Fernwärme unterschieden und auf dieser Basis einzelne Sektorziele für den Anteil erneuerbarer Energien sowie für die Emissionen benannt. Anschließend werden die Teilsektorziele zu einem Sektorziel zusammengeführt.

Als Vorarbeit für die Ableitung der Teilziele werden nachfolgend zunächst vorliegende Trend- und Zielszenario-Studien für die Bundesebene und für Hessen verglichen und Schlussfolgerungen für Hessen gezogen. Als Sektorziel wird letztlich eine Minderung von 51 % gegenüber 1990 vorgeschlagen.

5.1.4.1 Stromerzeugung

Für die Ableitung des hessischen Sektorziels für die Energieerzeugung/-umwandlung müssen ökonomisch und technisch plausible Annahmen über die Stromnachfrage, die Entwicklung der landeseigenen Stromerzeugung und den Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung sowie den Strombezug getroffen werden. Das nachfolgend dargestellte Szenario ist nur eines von verschiedenen denkbaren Szenarien der künftigen Entwicklung; die Auswahl der Annahmen wurde daher so getroffen und erläutert, dass sie größtmögliche Plausibilität aufweisen.

⁸ Zwar könnte der Energiesektor über die Gestaltung der Preise auch die Nachfrage zu beeinflussen versuchen. Dies scheitert im liberalisierten Energiemarkt jedoch am Wettbewerb untereinander sowie mit dem Sektor „Strombezug“ sowie im Fall der Fernwärme an strukturellen Aspekten (u.a. fehlende Ausweichmöglichkeiten, Kosten von Wärmedämmung oder alternativen Heizungssystemen, soziale Aspekte, Trägheiten in der Umstellung, Mieter-Vermieter-Problematik u.a.m.).

Stromnachfrage

Für die Stromnachfrage wird angenommen, dass der Bruttostromverbrauch nur leicht von 34,3 TWh auf 36 TWh ansteigt, da den verbrauchssteigernden einige verbrauchssenkende Effekte entgegenwirken. Diese Annahme ist mit den meisten Szenarien kompatibel, die auf Bundesebene zu finden sind (z.B. UBA (2020) sowie Prognos et al. (2020a)). Begründet wird dies mit der empirisch immer wieder bestätigten Beobachtung eines autonomen, verbrauchsmindernd wirkenden Trends steigender Effizienz (zwischen 1,8 und zwei Prozent pro Jahr). Auch geht die Umstellung auf erneuerbare Energien mit der Abnahme des Eigenstromverbrauchs der fossilen Kraftwerke einher. Auf der anderen Seite hat die Elektrifizierung eine verbrauchssteigernde Wirkung, da die Umstellung auf Elektromobilität, Wärmepumpen und auch industrielle Prozesse den Stromverbrauch erhöhen. Auch die derzeit diskutierte Wasserstoffproduktion führt zu einer zusätzlichen Stromnachfrage.

Für das Zieljahr 2030, das in dieser Studie betrachtet wird, schlagen die verbrauchssteigernden Effekte jedoch noch nicht durch. Erst *nach 2030* dürfte sich daher entscheiden, ob und wie stark der Stromverbrauch letztlich zunehmen wird. In Hessen kommt als zusätzlicher Sonderfaktor die erwartete Ansiedelung weiterer Rechenzentren (GHD-Sektor) hinzu; diese sind mittlerweile zunehmend relevante Verbraucher geworden. Bereits jetzt sind etwa 40 internationale Rechenzentren allein in Frankfurt angesiedelt und verursachen etwa 20 % des Stromverbrauchs der Stadt (HMWEVW 2020a). Da auch hier technische Grenzen (z.B. des Anschlusses der Rechenzentren an das Verteilnetz) bestehen, kann die Annahme eines bis 2030 in etwa konstanten Bruttostromverbrauchs als plausibel gelten.

Stromerzeugung

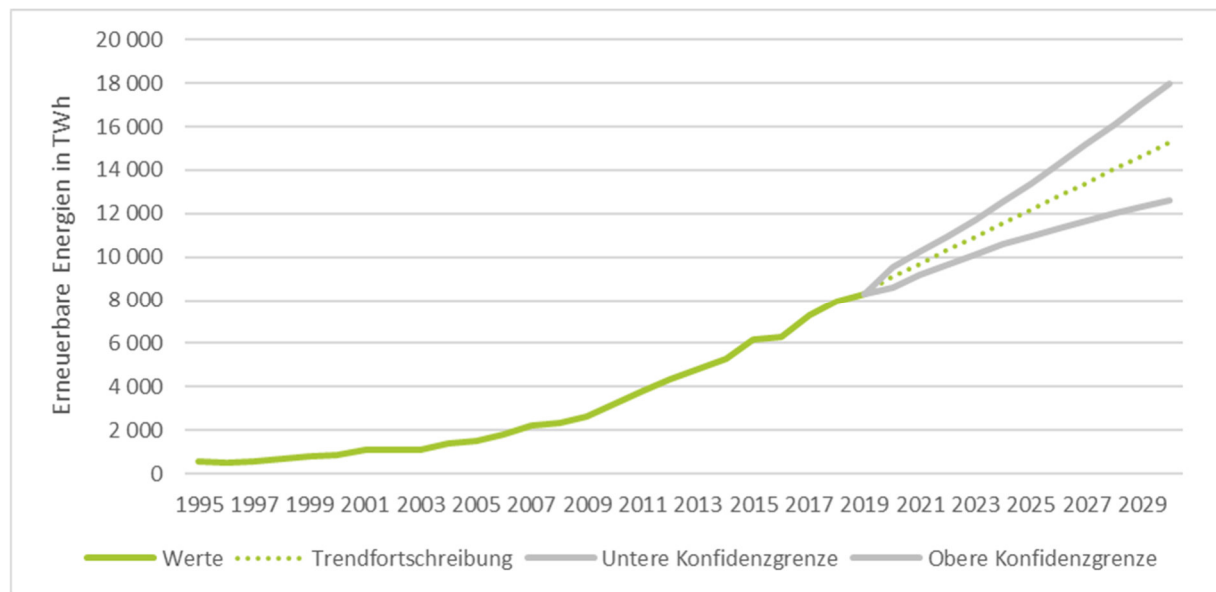
Für die Ableitung des Subsektorziels für den Strombereich wurde zunächst angenommen, dass die Kohlekraftwerke in Hessen gemäß den aktuellen Ankündigungen der Unternehmen im Trend vom Netz gehen. Sie werden durch Erdgaskraftwerke oder durch erneuerbare Energien in Hessen selbst ersetzt.

Der größte Hebel zur Dekarbonisierung der Stromerzeugung ist der Brennstoffwechsel hin zu erneuerbaren Energien. Auf *Bundesebene* ist im KSP 2050 für das Jahr 2030 das Ziel formuliert worden, die Emissionen um 61 % bis 62 % gegenüber 1990 zu senken; hierzu werden die erneuerbaren Energien laut Klimaschutzplan 2030 auf 65 % am Bruttostromverbrauch ausgebaut. Der aktuelle Stand für 2020 liegt bei 45,4 % am Bruttostromverbrauch (9 Mrd. kWh oder vier Prozent mehr als im Vorjahr). 2018 waren es erst 37,8 %.

Die Ausbauziele für die erneuerbaren Energien in Hessen werden von der hessischen Landesregierung bisher als Anteil am *Bruttostromverbrauch* gemessen; das Ziel für 2020 lag bei 25 %. Der Anteil lag 2018 bei 22 % und 2019 bei 24,2 %; das Ziel wurde also voraussichtlich erreicht.

Der Beitrag der erneuerbaren Energien zur hessischen *Bruttostromerzeugung* ist in den letzten Jahren kontinuierlich (und sogar leicht exponentiell) gestiegen. Insgesamt wurden im Jahre 2018 bereits 8,0 TWh (48 %) produziert; im Jahre 2019 liegt der Wert sogar bei 8,6 TWh (HMWEVW 2020a). Wird dieser Trend extrapoliert (Abbildung 1), dann dürfte der Beitrag im Jahre 2030 bei 15,3 TWh liegen. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der hessischen Erzeugung läge dann bei 65 % und damit auf dem bundespolitischen Zielniveau.

Abbildung 1: Historische und geschätzte Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Hessen



Quelle: LAK (2021); eigene Berechnungen.

Diese Prognose ist aus technisch-ökonomischer Sicht zwar plausibel; allerdings unterstellt sie äußerst optimistisch, dass die heutigen Hemmnisse des Ausbaus auf bundes- und landespolitischer Ebene zügig abgebaut werden. Der Trend ist – auch wenn er wirtschaftlich aufgrund der enormen Kostendegression der erneuerbaren Energien sinnvoll ist – somit keineswegs selbsterfüllend, sondern benötigt eine aktive landespolitische Flankierung. Insbesondere basieren die Trendfortschreibungen im Rahmen der vorliegenden Studien auf Daten bis zum Jahr 2018.

Die Ausbaudynamik insbesondere in Hessen hat zuletzt deutlich an Schwung verloren, und Hessen liegt aktuell auf einem der letzten Plätze des Zubau-Rankings der Bundesländer. Den statisch ermittelten Trend würde dieser Effekt nach unten verschieben, an der ökonomischen Plausibilität des verstärkten Ausbaus ändert dies jedoch nichts.

Ähnlich kann auch auf Bundesebene nicht davon ausgegangen werden, dass das bisherige Ausbauziel auf 65 % bis 2030 ohne weitere Aktivitäten zustande kommt. Die Hemmnisse, die diesem Ausbau im Wege stehen, sind jedoch primär weder technischer noch ökonomischer Natur, sondern liegen im Bereich der Flächenbereitstellung, der Genehmigungsverfahren, der zur Auktion zugelassenen Anlagenkapazitäten sowie der Akzeptanz bei Bürger*innen und Gemeinden. Um diese Hemmnisse zu überwinden, sind auf Bundes- wie auf Landesebene deutliche Initiativen zur Verbesserung der Situation erforderlich.

Die Zielbestimmung im Rahmen dieser Studie wurde daher auf die primär ökonomisch-technischen Potenziale abgestellt und ein unter diesen Bedingungen plausibles Ambitionsniveau vorgeschlagen.

Grundsätzlich plausibel ist es dabei, den Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix (Bruttostromverbrauch) bis 2030 wenigstens auf das derzeit bundesdurchschnittlich angestrebte Niveau von 65 % am Bruttostromverbrauch heben zu wollen.

Hessen hatte sich für das Jahr 2020 zwar nur das Ziel eines Anteils von 25 % erneuerbaren Stroms des verbrauchten Stroms gesetzt (HMWEVW 2021b). Der Anteil der erneuerbaren Energien an der eigenen Erzeugung liegt bereits bei rund 50 % und das genannte Ziel für den Verbrauch wird damit bereits erreicht. Eine Zielsetzung für den Ausbau, die diesen Anteil senken würde, erscheint ebenso wenig plausibel wie ein Ziel, das unter dem Bundesniveau liegt.

Das Ziel eines 65 %-Anteils der erneuerbaren Energien am Verbrauch sollte daher als Benchmark betrachtet werden, der *mindestens* erreicht werden sollte. Dies bedeutet, dass im Jahr 2030 mindestens 23,4 TWh (65 % von 36 TWh) des hessischen Bruttostromverbrauchs aus erneuerbaren

Energien gedeckt werden müssen. Dieser Anteil kann durch hessische Eigenerzeugung oder durch den Bezug von Strom aus dem bundesdeutschen Mix gedeckt werden, der den Zielen entsprechend im Jahr 2030 einen Anteil von 65 % erneuerbaren Stroms enthalten sollte.

Die ökonomisch-technischen Potenziale der erneuerbaren Energien im Stromsektor sind erheblich, so dass die Trendfortschreibung für 2030 bereits 15,3 TWh an erneuerbarem Strom erwarten lässt. Das sind 42 % des Bruttostrombedarfs. Mit dem im Trend erwarteten Ausbau der erneuerbaren Energien dürfte auch der Beitrag der hessischen Erzeugung zur Deckung des Bruttostromverbrauchs leicht gegenüber dem aktuellen Stand von rund 50 % steigen. Das liegt u.a. daran, dass für den Trend ein weitgehender Ersatz von Kohle durch ein Erdgas anzunehmen ist. Wir erwarten in diesem Trendszenario daher rund 23 TWh an hessischer Stromerzeugung, was rund 65 % des Landesverbrauchs deckt.

Die erneuerbaren Energien stellen dann – entsprechend dem bisherigen Ziel auf Bundesebene – gut 65 % der hessischen Stromerzeugung.

Insgesamt ergibt sich unter diesen Annahmen bereits im *Trend* eine Reduktion der THG-Emissionen aus der hessischen Stromerzeugung um 39 % gegenüber 1990; die CO₂-Emissionen des Stromsektors lägen dann 2030 bei vier Megatonnen.

Im *Klimaschutz-Szenario* müsste hingegen weniger Erdgas als im Trendszenario in der Stromerzeugung eingesetzt werden; infolgedessen sinkt zugleich die hessische Erzeugung gegenüber dem Trend auf etwa 60 % des Bruttostromverbrauchs, wovon aber 80 % (17,2 TWh) aus erneuerbaren Energien stammen können. Ein solcher forcierter Ausbau der erneuerbaren Energien würde Emissionen von 1,8 Mt CO₂ verursachen, was einer Minderung im Stromsektor um 73 % gegenüber 1990 entspricht.

Umfang und Emissionen des Strombezugs

Die Schätzung der Emissionen des hessischen Stromsektors 2030 nach gängiger Quellenbilanz setzt Annahmen über die Höhe des Bruttostromverbrauchs, vor allem aber über die Höhe der hessischen Stromerzeugung im Jahre 2030 voraus.

Der Anteil des in Hessen erzeugten Stroms am Bruttostromverbrauch lag 2018 bei rund 50 %. Im Zuge der Beendigung der Kohleverstromung gehen im *Trend* weitere Kapazitäten vom Netz. Diese dürften, soweit es sich um Kraftwerke mit Fernwärmeauskopplung handelte, teilweise durch Erdgas-KWK ersetzt werden (Beispiel: Planungen am Standort Staudinger). Teilweise wird die kohlebasierte Fernwärme aber auch durch erneuerbare Energien ersetzt, beispielsweise am Standort Kassel (Brennstoffe sind hier Altholz und Klärschlamm). Insgesamt könnte ein Trend des weiteren Kapazitätsabbaus in Hessen vermutet werden.

Der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien könnte dem entgegenwirken und den Anteil des in Hessen erzeugten Stroms insgesamt leicht steigen lassen. Diese Annahme steht und fällt selbstverständlich mit dem Umfang des Ab- und Zubaus von Erneuerbaren-Kapazitäten, was nicht allein in der Hand des Landes Hessen liegt.

Wie oben ausgeführt, kann nach dem Quellenprinzip in der Treibhausgasbilanzierung kein hessisches Klimaschutzziel für den Strombezug formuliert werden. Die hessische Verursacherbilanz schließt den Strombezug ein und zeigt damit nachrichtlich ein umfassenderes Bild der von Hessen verursachten Emissionen. Allerdings ist die konkrete Herkunft (Energieträgerbasis) des bezogenen Stroms nicht ermittelbar. Daher müssen die Emissionen des Strombezugs hilfsweise über den durchschnittlichen Emissionsfaktor des bundesdeutschen Strommixes ermittelt werden. So ergeben sich für das Jahr 2018 bei einem „Strombezug“ Hessens in Höhe von 17,4 TWh und einem durchschnittlichen Emissionsfaktor von 468 g CO₂/kWh weitere 8,1 Mt CO₂ stromverbrauchsbedingter Emissionen. Insgesamt müssen der Stromversorgung aus Verursachersicht für 2018 daher 12,9 Mt CO₂ zugerechnet werden.

Damit müsste dem Stromsektor aus dieser Gesamtsicht im *Trend* eine *Emissionssteigerung* gegenüber 1990 (damals 6,0 Mt CO₂) um 15 % attestiert werden. Bis 2030 dürften die spezifischen CO₂-Emissionen aus dem importierten Strombezug allerdings sinken. Analoge Auswirkungen hat die nachrichtliche Betrachtung des Strombezugs auf das *Klimaschutzszenario*: Unter der Annahme, dass auf Bundesebene das Sektorziel einer Reduktion um 61 bis 62 % bis 2030 erreicht wird, sowie unter der Annahme, dass die Erzeugung in Hessen leicht zunimmt, ergäben sich Emissionen in Höhe von etwa vier Megatonnen CO₂ für den Strombezug. Die Emissionsminderung des Stromsektors gegenüber 1990 läge dann im Zielszenario 2030 bei nur noch bei 42 % statt der oben ausgewiesenen 51%.

5.1.4.2 Fernwärmeerzeugung

Die Dekarbonisierung der Fernwärme in Deutschland, wie auch konkret in Hessen soll ebenfalls bis zum Jahre 2050 erfolgt sein. Ausgehend vom aktuellen Niveau des Fernwärme-Umwandlungsausstoßes (etwa 10,6 TWh) und dem Brennstoffmix mit einem Anteil der erneuerbaren Energien von rund 18 % im Jahre 2018 ist in der Trendanalyse festgestellt worden, dass der Fernwärmebedarf zunächst bis 2030 leicht wachsen dürfte. Erwartet wird ein Anstieg um gut elf Prozent auf etwa 11,7 TWh, aber auch der Anteil der erneuerbaren Energien am Fernwärme-Ausstoß steigt im Trend auf 26,5 % (von 1,9 TWh auf 3,1 TWh).

Analysen auf Bundesebene

Auf Bundesebene soll im Rahmen des KSPr 2030 mit dem Ziel der Emissionsminderung um 55 % im Vergleich zu 1990 ebenfalls die Dekarbonisierung der Wärmenetze vorangetrieben werden. UBA (2020) geht in den Analysen der dazu vorgesehenen Maßnahmen davon aus, dass hierdurch bereits in den Jahren 2020 bis 2030 einige zusätzliche Projekte im Bereich der Solarthermie-, Wärmepumpen- und Abwärmenetze veranlasst und außerdem auch Wärmeverluste im Bestandsnetz verringert werden, wodurch bundesweit eine Emissionsminderung von zwei Megatonnen CO₂ ausgelöst wird. Gleichzeitig führt die Weiterentwicklung und Modernisierung von kleinen KWK-Anlagen unter einem Megawatt sowie der Einsatz von Großwärmepumpen und Elektrodenkesseln zu einem leichten Anstieg der Emissionen um zwei Megatonnen CO₂ aufgrund des höheren Strombedarfs. Das heißt letztlich, dass aus dem Teilsektor Fernwärme bis zum Jahr 2030 in absoluten Beträgen höchstens ein kleiner Beitrag zur Minderung der Emissionen des Energieumwandlungssektors erwartet wird. Minderungswirksam ist hingegen der Ersatz von Kohle-KWK durch Erdgas-KWK, der von UBA (2020) als Teil der Maßnahme „Kohleausstieg“ abgebildet wird.

Prognos et al. (2020b) entwickelten in der Studie „Klimaneutrales Deutschland“ für Agora Energiewende et al. ein deutlich ambitionierteres Zwischenziel von -65 % bis 2030; der Fernwärmeerzeugung kommt darin eine doppelte Rolle zu (vgl. im Folgenden Prognos et al. 2020b). Zum einen müssten dafür die urbanen Wärmenetze stark ausgebaut werden, um die emissionsintensiveren Einzelheizungen zu ersetzen. Damit stiege der Fernwärmebedarf bis in die 2030er Jahre hinein; erst danach wird mit einem Rückgang des generellen Wärmebedarfs gerechnet. Zum anderen muss sich die Struktur der Fernwärmebereitstellung ändern. Interessant und Orientierung gebend ist dabei die in diesem Zielszenario erwartete Zusammensetzung für 2030: Während die Kohleverstromung bis 2030 eingestellt wird, dürfte der Anteil der Erdgas-KWK zunächst steigen; er liegt im Jahr 2030 bei 44,3 % der Fernwärmeerzeugung. Das ist vergleichbar mit der hessischen Situation im Trend, die den Ausstieg aus der Kohleverstromung bis 2028 vorsieht und auch die Erwartung umfasst, dass der Anteil von Erdgas vorläufig noch dominant sein dürfte.

Erst nach 2030 würden wasserstoffgefeuerte KWK-Anlagen in relevantem Maße in Betrieb genommen; der Beitrag liegt im Jahre 2030 daher erst bei drei Prozent. Auch wenn dies ein geringer Prozentsatz ist, muss hinterfragt werden, wie realistisch das ist. Denn ob und in welchem Umfang Wasserstoff im Wärmesektor längerfristig überhaupt wirtschaftlich zum Einsatz kommen kann, ist

insgesamt bislang hoch umstritten. Für andere neue Wärmeerzeuger (Solarthermie, Großwärmepumpen, Elektrokessel und tiefe Geothermie) wird hingegen angenommen, dass der Markthochlauf in den 2020er Jahren beginnt, so dass sie 2030 bereits 22 % der Fernwärme bereitstellen würden. Wenig Potenzial wird allgemein im Ausbau von Bioenergie gesehen; dies spiegelt sich auch im stabilen Anteil von rund 16 % an der Fernwärmebereitstellung. Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Fernwärmeerzeugung steigt in diesem Szenario von 17,8 % im Jahr 2018 auf 41,5 % im Jahr 2030 (Prognos et al. 2020b). Dieser ambitioniert hohe Anteil liegt eher am oberen Rand der plausiblen Annahmen.

Das Leipziger Institut für Energie (2016) erwartet für die Fernwärme in Hessen hingegen bereits im Trend einen Rückgang des Fernwärmeverbrauchs ab 2020, der sich im Zielszenario noch einmal beschleunigt. Dieses Szenario erscheint vor dem Hintergrund der hier angestellten Überlegungen wenig plausibel und wird nicht weiter betrachtet.

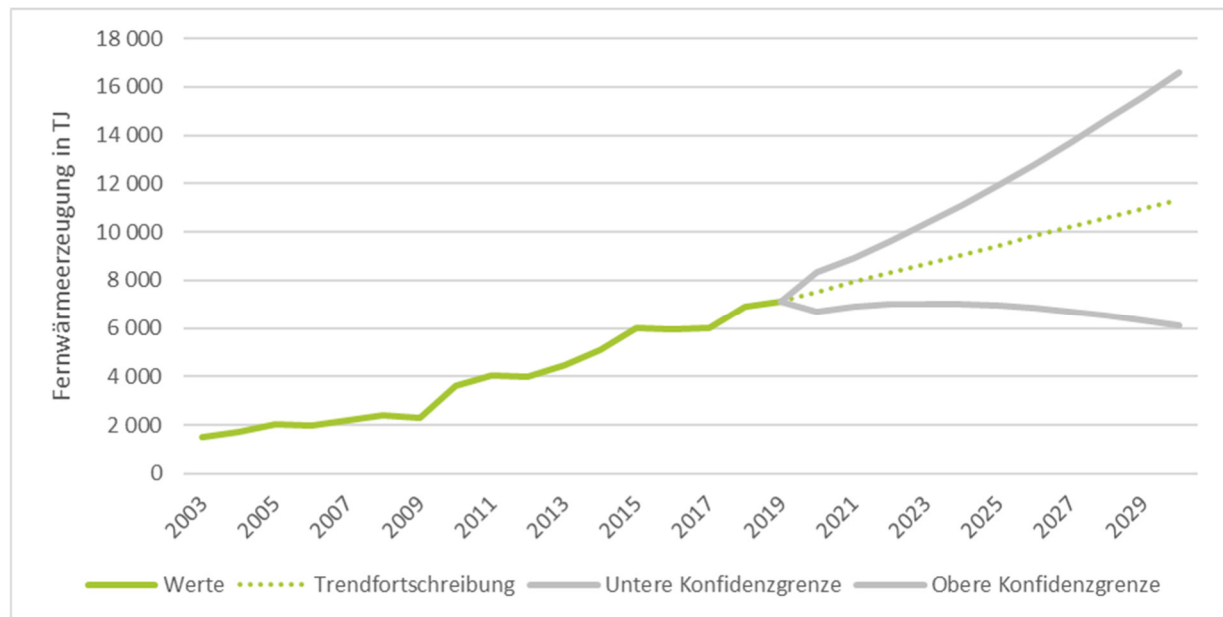
Ableitung des Fernwärmeziels für Hessen

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen schlagen wir für Hessen ein ambitioniertes, aber nicht überambitioniertes Zielszenario für die Fernwärmeerzeugung vor.

Im *Trend* kann dabei von einem leichten Ausbau der Fernwärme bis 2030 ausgegangen werden, d.h. eine weitere Zunahme der Fernwärmeanschlüsse und im Gegenzug eine Abnahme der Einzelfeuerungsanlagen. Unter Fortschreibung der aktuellen Ausbaudynamik dürften bis 2030 rund 11,8 TWh Fernwärme erzeugt werden; das sind etwa elf Prozent mehr als 2018.

Ein wachsender Anteil der Fernwärme stammt zugleich aus erneuerbaren Energien. Glaubt man hier dem rechnerischen Trend, dann läge der Beitrag im Jahre 2030 zum Umwandlungsausstoß bei 11.346 Terajoule (TJ). Das wäre gegenüber dem Stand im Jahre 2019 (7.122 TJ) ein Anstieg um 59,3 % auf einen Anteil von 26,5 %. Auch dieser Wert kann – analog zum Beitrag der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung – als optimistisch gelten.

Abbildung 2: Historische und geschätzte Beiträge der erneuerbaren Energien zur Fernwärmeerzeugung in Hessen



Quelle: LAK (2021); eigene Berechnungen.

Die kohlebefeuerte Fernwärme im Bestand wird im Zuge der Stilllegung der verbleibenden Kohlekraftwerkskapazitäten durch Erdgas oder erneuerbare Energien ersetzt. Auch der Trend der Umstellung auf erneuerbare Energien dürfte sich fortsetzen. Dies führt bis 2030 zu einem Anteil der Erneuerbaren von 27 % oder 3,1 TWh am Umwandlungsausstoß der Fernwärme. Im Trend würden die Emissionen der Fernwärme damit um etwa 23 % gegenüber 2018 sinken, sich gegenüber 1990 jedoch fast versiebenfachen, da die Fernwärme im Jahre 1990 mit Emissionen in Höhe von lediglich 254 Kilotonnen (kt) CO₂ bilanziert wird. Diese „Zunahme“ ist ein Effekt der statistischen Erfassungsprinzipien. Der Ausbau der KWK begann erst damals und die Umrüstung des Gebäudesektors auf Fernwärme führt aus der Systemsicht insgesamt zu einer *höheren* Effizienz und damit zu *sinkenden* Emissionen in der Wärmeversorgung. Diese verbleibenden Emissionen werden anschließend jedoch nicht mehr im Gebäudesektor, sondern im Energieumwandlungssektor verbucht und führen dort zur oben erwähnten Zunahme der Emissionen.

Der Fernwärmebedarf hängt insgesamt grundsätzlich von den wärmetechnischen Entwicklungen im Gebäudebereich ab. Diese Modernisierung wird zurzeit ambitioniert durch Förderprogramme vorangetrieben. Es könnte also auch ein leicht sinkender der Wärmebedarf im Gebäudebereich im Zuge der Energiewende-Bestrebungen angenommen werden.

Im *Zielszenario* wird daher angenommen, dass der Wärmebedarf im Gebäudebereich etwas weniger wächst als im Trend (statt auf 11,8 TWh nur auf elf Terawattstunden bis 2030), da im Gebäudebereich Maßnahmen ergriffen werden, die den Wärmebedarf zumindest etwas reduzieren. Für den Anteil der erneuerbaren Energien an der Fernwärmeversorgung werden des Weiteren im Zielszenario 35 % bis 2030 vorgeschlagen. Bei einem solchen forcierten Ausbau der erneuerbaren Energien würden 4,1 TWh durch erneuerbare Fernwärme erbracht werden.

Noch höhere Anteile bis hin zu 100 % erneuerbarer Fernwärme müssen längerfristig (nach 2030) für die vollständige Dekarbonisierung der Fernwärme angestrebt werden. Allerdings sind hierfür grundlegendere Überlegungen erforderlich. Denn solange Fernwärme auch aus Müllheizkraftwerken (MHKW) kommt, ist eine Umstellung auf 100 % erneuerbare Energien quasi nicht möglich. Denn Abfälle werden bei der Energiebilanzierung nur zu 50 % als erneuerbare Energien angesetzt; die anderen 50 % werden als nicht-erneuerbar gewertet. Würden alternativ die MHKW abgelöst, bräuhete man eine Kompensation bei dem nunmehr fehlenden Anteil an erneuerbaren Energien.

Bei Erreichung dieser Annahmen kann überschlägig mit einer Emissionsminderung der Fernwärmebereitstellung von 2,2 Mt CO₂ im Jahre 2018 auf 1,4 Mt CO₂ im Jahre 2030 gerechnet werden. Der fossile Anteil der Fernwärme wurde dabei mit einem für erdgasbasierte KWK typischen spezifischen Emissionsfaktor von ca. 200 g CO₂/kWh_{th} bewertet.

Gegenüber dem Trend (2030 = 1,7 Mt CO₂) wäre dies eine Minderung um 16,5 %. Gegenüber 2018 würden die Emissionen um 36 % sinken. Gegenüber dem Basisjahr 1990 *erhöhen* sich die Emissionen allerdings von 254 kt CO₂ erheblich, wenn auch „nur noch“ auf das knapp sechsfache Niveau (gegenüber dem siebenfachen Niveau, das im Trend erreicht würde). Diese statistischen Effekte müssen bei der Bewertung der Sektorziele logisch und argumentativ eingeordnet werden.

5.1.4.3 Zusammenfassung zum Sektorziel Energieerzeugung/ umwandlung

Die Ausführungen zum Trend und zu Teilzielen für die Stromerzeugung und die Fernwärme lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien kann weiter ausgebaut und ein ambitionierter Erneuerbaren-Anteil von 80 % an der hessischen Stromerzeugung angestrebt werden. Dies könnte eine Erzeugung aus erneuerbaren Energien in Höhe von etwa 17,2 TWh bedeuten, also etwas mehr als eine Verdopplung gegenüber 2018.
- Neue Erzeugungsanlagen sind grundsätzlich emissionsneutral zu errichten. Bestehende mit Kohle befeuerte Anlagen werden bis 2030 im Trend überwiegend auf Erdgas oder besser gleich auf erneuerbare Energien und biogene Energieträger umgerüstet.
- Für den Mix des Strombezugs (und damit für den Emissionsfaktor) wird angenommen, dass dieser den Bundeszielen einer Reduktion der Emissionen um 61 % bis 62 % gegenüber 1990 bei relativ gleichbleibendem Strombedarf folgt.
- In der Fernwärmeversorgung erscheint aus Effizienzgründen ein nur leichter Ausbau auf elf TWh plausibel.
- Die Dekarbonisierung der Fernwärme sollte ambitioniert vorangetrieben werden; angestrebt werden könnte ein Anteil von 35 % im Jahre 2030. Ein höheres Erneuerbaren-Ziel für die Fernwärme im Jahre 2030 erscheint aus heutiger Sicht überambitioniert.

Auf Basis dieser Setzungen und Annahmen kann

- für den hessischen Stromsektor ein Emissionsminderungsziel von 73 % gegenüber 1990 angesetzt werden,
- für den hessischen Fernwärmesektor eine Minderung um 36 % gegenüber 2018 bzw. 16,5 % gegenüber dem Trend angesetzt werden (die beinahe Versechsfachung gegenüber 1990 wäre hier kein geeigneter Vergleichsmaßstab),
- und für den hessischen Energiesektor insgesamt nach Quellenprinzip eine Minderung um 51 % angesetzt werden.

Tabelle 9: Minderungsziel für Emissionen aus der Energieerzeugung/-umwandlung in Hessen

	1990	2018	2030	1990 2030
	in Mt CO ₂	in Mt CO ₂	in Mt CO ₂	in % gegenüber 1990
Stromerzeugung	6,6	4,1	1,8	-73%
Fernwärme	0,3	2,2	1,4	+467%
Sonstiges ¹⁾		0,3	0,2	
Gesamt (Hessen)	6,9	6,7	3,4	-51%
Nachrichtlich: Strombezug	6,0	8,1	4,0	-33%
Gesamt (Verursacherbilanz)	12,9	14,8	7,4	-42%

Strombezug bei 60 % d. Bruttostromverbrauchs; ¹⁾ Sonstige Energieerzeuger, Energieverbrauch im Umwandlungsbereich.

Quelle: Historische Daten: HSL (2020a) und LAK (2021); eigene Berechnungen. Abweichungen der Summen und Prozentzahlen ergeben sich durch Rundungsfehler.

Die ergänzenden Angaben nach Verursacherbilanz für den Strombezug dienen dabei in erster Linie als Information, um das Bild um die von Hessen „importierten“ Emissionen zu vervollständigen und damit auch eine höhere klimapolitische Konsistenz der abgeleiteten Empfehlungen zu erreichen.

Insgesamt muss konstatiert werden, dass ein sektorales Emissionsminderungsziel für den Energieumwandlungssektor für sich allein genommen nur begrenzt Orientierung in der Energiewende bieten kann. Die Kombination mit Ausbauzielen für die erneuerbaren Energien und die Dekarbonisierung der Fernwärme ist an dieser Stelle zielführender und für die Frage der Erreichbarkeit von Emissionsminderungen entscheidend. Die Optionen zur Erreichung und deren erwartete Wirksamkeit sowie Anknüpfungspunkte für die hessische Landesregierung werden in den nachfolgenden Abschnitten dargelegt.

5.1.5 Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Energieerzeugung/umwandlung und Handlungskompetenzen Hessens

In diesem Abschnitt werden zunächst die Maßnahmen auf Bundesebene zusammengefasst, dann vorliegende Analysen zur Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen ausgewertet, um die zentralen Hebel für mehr Klimaschutz herauszuarbeiten. Anschließend werden die Handlungsmöglichkeiten sowie Handlungsempfehlungen für das Land Hessen dargestellt.

Insgesamt zeigt die Analyse, dass der größte Hebel zur Emissionsminderung im Energiesektor beim Brennstoffwechsel hin zu erneuerbaren Energien liegt. Deren Ausbau ist zu einem erheblichen Teil von Maßnahmen auf europäischer Ebene (insb. der EU-Emissionshandel) sowie Bundesebene (insb. das EEG) abhängig und kann nicht vom Land Hessen allein vollbracht werden. Jedoch zeigt die nachfolgende Analyse auch, dass auch auf Landesebene erheblicher Handlungsbedarf und auch Handlungsmöglichkeiten bestehen, um die dafür notwendigen Investitionen zu ermöglichen.

5.1.5.1 Maßnahmen und deren Wirksamkeit

Im Sektor Energieumwandlung und -verteilung liegt die Hoheit über rahmensetzende Maßnahmen mit Wirkung auf die Energiebereitstellung und die Emissionen überwiegend – aber nicht ausschließlich – in der Federführung des Bundes und der EU. Die zentralen, rahmensetzenden Maßnahmen auf Bundes- und EU-Ebene, um die klimapolitischen Ziele zu erreichen, sind dabei:

- Die europäische CO₂-Bepreisung durch den EU-Emissionshandel seit 2005 sowie das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) auf Bundesebene seit 2021,

- die mittlerweile gesetzlich verankerte Beendigung der Kohleverstromung in Deutschland bis spätestens 2038 durch das Kohleverstromungsbeendigungsgesetz mit einem konkret bezifferten Zwischenziel für 2030,
- die Steuerung des Ausbaus der Erneuerbaren u.a. durch das EEG und die Durchführung der Ausschreibungen (Bundesnetzagentur) mit dem gesetzlich verankerten Ziel des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf 65 % am Bruttostromverbrauch bis 2030 (dessen Erhöhung zurzeit in der Diskussion ist),
- die gesetzlich verankerte Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung sowie deren Modernisierung, inkl. der Förderung der Umstellung auf Erdgas,
- die gesetzlich unterlegte Förderung der Umstellung von Wärmenetzen auf erneuerbare Energien und unvermeidbare Abwärme im Rahmen des Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetzes (EEWärmeG),
- die gezielte Einrichtung von Reallaboren der Energiewende, die als Innovationsnischen dienen sollen, und
- der gesetzliche Rahmen sowie die Förderung der Energieeffizienz, angereizt z.B. durch den CO₂-Preis und infolgedessen steigende Kraftstoffpreise nach Inkrafttreten des BEHG zum 1.1.2021, sowie durch gezielte Maßnahmen im Rahmen der Effizienzstrategie 2050 oder die Weiterentwicklung des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE).

Entscheidend für die erreichbare Emissionsminderung bis 2030 dürften dabei die bislang unzureichenden Beschlüsse zum Kohleausstieg, zum Erneuerbaren- und zum KWK-Ausbau sein.

Begleitet werden diese Maßnahmen durch verschiedenste *partizipativ* ausgerichtete Maßnahmen, darunter Dialogformate wie den Dialogprozess „Roadmap Energieeffizienz 2050“, den Bürgerdialog Stromnetz, Forschungsprojekte, Digitalisierung u.a.m. Diese Maßnahmen werden im Monitoring des KSPr 2030 sowie des KSG 2019 bzw. KSG 2021 auch beobachtet.

Für Hessen ist dabei relevant, ob sie auch auf Landesebene wirksam werden. Die Abschätzung der Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen erfordert komplexe Modellierungen und Sensitivitätsrechnungen, die im Rahmen der vorliegenden Studie nicht vorgesehen waren. Zur Plausibilisierung wurden stattdessen vorliegende Studien verwendet. Für Hessen liegen nur wenige Abschätzungen zur Entwicklung bis zum Jahre 2030 mit und ohne Maßnahmen vor. Das Leipziger Institut für Energie (2016) schätzt in der Vorstudie zum hessischen IKSP 2025 die wahrscheinliche Entwicklung der klimarelevanten Indikatoren ab und vergleicht diese mit dem Zielszenario einer Emissionsminderung um 55 % bis 2030 im Vergleich zu 1990 sowie einer Dekarbonisierung bis 2050. Diese Analyse wurde ebenfalls zur Plausibilisierung der hier getroffenen Aussagen herangezogen. Hauptsächlich aber stützen sich die Ausführungen auf vorliegende Studien zur bundesweiten Entwicklung.

Dabei wurden zwei wesentliche Studien mit Abschätzungen zur Entwicklung bis zum Jahre 2030 herangezogen (UBA 2020, Prognos 2020a), die jeweils eine Analyse des Trends ohne weitere Klimaschutzmaßnahmen enthalten. Für die Trendabschätzungen wird dabei vom Stand klima- und energiepolitischer Maßnahmen zu einem jeweils bestimmten Stichtag ausgegangen. Für die Bundesebene wurden in diesen Studien des Weiteren die Wirkungen des KSPr 2030 der Bundesregierung abgeschätzt.

Die Schätzungen der Bundesregierung im KSPr 2030 gehen von folgendem Ausbau der Energieerzeugung im Bereich Wind, PV und Biomasse/Biogas aus (in Klammern: die Annahmen aus dem Projektionsbericht 2019 aus UBA 2020):

- Wind an Land: 140-145 TWh bei einer installierten Leistung von 67-71 Gigawatt (GW) (64,5 GW)

- PV: 90 TWh und 98 GW installierter Leistung (73,7 GW)
- Wind auf See: 79.84 TWh bei einer installierten Leistung von 20 GW (15 GW)
- Biomasse/Biogas (8,5 GW) und Wasserkraft (5,7 GW) verharren auf mehr oder weniger auf dem heutigen Niveau.

Die Szenarioanalysen von UBA (2020) zum deutschen KSPr 2030 gehen davon aus, dass die Ausbauziele auf einen Anteil von 65 % erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch fast erreicht werden. Letzterer bleibt den Schätzungen nach insgesamt auf vergleichbarem Niveau wie 2020 (von 584 auf 585 TWh in 2030; UBA 2020). Dies ist das Ergebnis gegenläufiger Trends. Einerseits sinkt der Stromverbrauch aufgrund von Effizienzsteigerungen in den Bereichen Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, und auch der Stromverbrauch in Raffinerien (aufgrund des Rückgangs der Nachfrage nach fossilen Energieträgern wird dort weniger produziert) sowie im Kraftwerkssektor selbst (sinkender Eigenverbrauch, da weniger thermische Kraftwerke im Einsatz). Andererseits wird erwartet, dass der Anteil neuer Stromanwendungen (Power-to-X, Elektromobilität, Wärmepumpen etc.) bereits bis 2030 – wenn auch nur leicht – steigt. In der Summe erwartet UBA (2020) gegenüber 2020 einen leicht rückläufigen Trend für Erzeugung und Verbrauch; auch gegenüber 1990 (550 TWh) liegt der bundesweite Bruttostromverbrauch in 2030 der Studie zufolge nur geringfügig höher.

Die installierte elektrische Leistung zur Deckung des Stromverbrauchs steigt im gleichen Zeitraum deutlich, da die Vollaststunden erneuerbarer Energien unter denjenigen konventioneller fossiler Kraftwerke liegen. Sie beträgt im Jahr 2030 demzufolge 255,5 GW (2020=208 GW), wobei der stärkste Zuwachs bei PV (Verdopplung), Offshore-Wind (von 8,4 auf 20,3 GW) und Onshore-Wind (von 55,6 auf 69 GW) erwartet wird (UBA 2020). Die Studienautor*innen weisen darauf hin, dass es sich um ein technisch-ökonomisches Zielszenario handelt und die Hemmnisse des Ausbaus der erneuerbaren Energien wie die 1.000-Meter-Regelung bei Onshore-Winderzeugung und Widerstände sowie Genehmigungsprobleme nicht berücksichtigt wurden.

Der Kohleausstieg und der Ausbau der erneuerbaren Energien sind nach Ansicht der Studienautor*innen bei Realisierung die „wirksamsten“ Maßnahmen (UBA 2020) im Hinblick auf die Minderungswirkungen. Die Bewertung der Einzelmaßnahmen ergibt demnach, dass der schrittweise Ausstieg aus der Kohleverstromung nach den Empfehlungen der Kommission „Wachstum, Strukturwandel, Beschäftigung“ die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 78 Mt CO₂ senken könnte; der Ausbau der erneuerbaren Energien auf 65 % des Verbrauchs könnte weitere 17 Mt CO₂ an Minderung erbringen (UBA 2020).

Hingegen bewirkt die KWK-Modernisierung aufgrund der statistischen Erfassung im Umwandlungssektor einen Anstieg der Emissionen im Stromsektor, da der Einsatz von kleinen dezentralen Erdgas-KWK-Anlagen zurückgeht (zugunsten des Einsatzes von größeren, effizienteren Anlagen).

Die Umstellung der Wärmenetze führt nach Einschätzung von UBA (2020) zu einer vergleichsweise „geringen“ Emissionsminderungswirkung. Für die im Vergleich zu Einzelheizungen effizientere Fernwärme (und für industrielle KWK-Wärme) erwartet die Studie dabei insgesamt eine wachsende Bedeutung bei einem um gut 13 % steigenden Energieeinsatz, der überwiegend durch zusätzliches Erdgas gedeckt wird, während biogene Energieträger und Müll auf konstantem Niveau bleiben und Geothermie sowie Solarthermie, auf niedrigem Niveau startend, leicht wachsen (UBA 2020).

Im Ergebnis sinken die gesamten THG-Emissionen der „Energiewirtschaft“ im Referenzszenario von 466,4 Mt CO₂ auf 269 Mt CO₂ (minus 42,3 %) und im Szenario „KSPr Jan 2020“ auf 186,1 Mt CO₂. Das sind 60,1 % weniger als 1990 (UBA 2020). Der Sektor insgesamt erreicht nach diesen Analysen fast das im KSPr 2030 gesetzte Ziel von minus 61-62 %.

Im Bereich der öffentlichen Elektrizitäts- und Wärmeversorgung (also dem wesentlichen Bestandteil der „Energiewirtschaft“) liegt der Rückgang gegenüber der Referenz bei 34 % (238,1 Mt CO₂

gegenüber 157,7 Mt CO₂ in der Referenz) und gegenüber 1990 bei 60,1 %. Bis 2020 sind die THG-Emissionen bereits um rund 35 % gegenüber 1990 zurückgegangen.

5.1.5.2 Handlungsmöglichkeiten Hessens

Die Ziele der Emissionsminderung können im Sektor Energieerzeugung/-umwandlung ganz grundsätzlich vor allem durch den Brennstoffwechsel hin zu erneuerbaren Energien erreicht werden. Energieeffizienz kann aufgrund der weitgehend ausgereizten thermischen Kraftwerkstechnik kaum weitere Beiträge leisten; Energieeffizienz auf der Nachfrageseite wird in den anderen Kapiteln betrachtet. Technisch-ökonomische Hebel für den Brennstoffwechsel sind – wie oben genannt – insbesondere

- die marktgetriebene und altersbedingte Beendigung der Kohleverstromung, die in Hessen für das Jahr 2028 erwartet wird,
- der Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, insbesondere der PV und der Windenergie, und
- die Umstellung der Fernwärmeversorgung prioritär auf erneuerbare Energien.

Für das Gelingen dieser zentralen Maßnahmen sind selbstverständlich die rechtlichen Grundlagen von Bedeutung, aber auch die Beratung und finanzielle Förderung sowie die Gestaltung der lokalen Verfahren.

Die hessische Landesregierung hat den Klimaschutz (und die Klimaanpassung) als ein zentrales Handlungsfeld der Landespolitik etabliert und mit dem IKSP sowie den gesetzlich festgelegten Zielen des Energiegipfels klare Leitplanken gesetzt. Sowohl das Energiemonitoring als auch das Monitoring des IKSP liefern eine wertvolle Datengrundlage für die Beurteilung der Wirksamkeit und Angemessenheit der ergriffenen Maßnahmen.

Im Vergleich zu anderen Bundesländern steht Hessen damit gut da; zu empfehlen ist an dieser Stelle die stetige Überprüfung und Weiterentwicklung des Maßnahmenkatalogs.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien stockt in Hessen und muss daher aktiv betrieben werden. Das Mengengerüst wird auf Bundesebene durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gesteuert; durch Änderungen im Baugesetzbuch und im EEG oder länderübergreifende Gesetzesvorschriften könnte ein bundesweit verbesserter Rahmen geschaffen werden. Die anhaltende Unterzeichnung der Ausschreibungen deutet zugleich darauf hin, dass sich die Bedingungen der Projektentwicklung in den Regionen selbst – im Bundesländervergleich vor allem in Hessen – ungünstig entwickelt haben.

Hier muss auf Landesebene gegengesteuert werden; konkret könnten *erstens* die Flächenbereitstellung und Attraktivität erhöht (z.B. durch Ausweisung von zwei statt der bisher 1,85% Windvorrangflächen; vorteilhaftere Regelung der Mindestabstände; Modifikation der Freiflächensolarverordnung; PV-Verpflichtung für Neubauten, Flächensynergien durch Agri-PV u.a.m.), *zweitens* ein attraktiverer Repowering-Gesetzesrahmen entwickelt, und *drittens* bundesweite Standards auf Basis der Bundesländerinitiative sowie einheitliche Kompensations- und Beteiligungsmodelle für betroffene Kommunen und Bürger angestrebt werden.

Insgesamt liegt der Handlungsspielraum für das Land Hessen zur Zielerreichung im Sektor Energieumwandlung insbesondere in der Schaffung von günstigeren Bedingungen für den Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung sowie der Dekarbonisierung der Wärmenetze.

Auch sollten auf Landesebene unterstützende und risikoreduzierende Maßnahmen umgesetzt werden, wie ein besseres Angebot von Beratungsdienstleistungen, eine zügige Genehmigung von Wind- und Solarstromanlagen, die gezielte Nutzung der landeseigenen Liegenschaften zur Errichtung von Wind- und Solarstromanlagen sowie die Übernahme von finanziellen Risiken (Bürgschaften). Die verschiedenen Ansatzpunkte werden nachfolgend nochmals einzeln konkretisiert.

Das Hessische Energiegesetz (HEG) vom 21. November 2012 (GVBl. S. 444), geändert durch das Gesetz vom 5. Oktober 2017 (GVBl. S. 294), tritt mit Ablauf des 31. Dezember 2022 außer Kraft. Die Geltungsdauer des Gesetzes sollte nicht um weitere sieben Jahre ohne Anpassungen verlängert werden. Eine Novelle des HEG bietet vielfältige Möglichkeiten, die o.g. Klimaschutzaspekte zu adressieren, die in andern Bundesländern in Klimaschutzgesetzen verankert sind.

Erneuerbare Stromerzeugung: Wind

Insbesondere bei der landesspezifischen Gestaltung und Umsetzung von Verordnungen und Verfahren bestehen große Handlungsspielräume.

Zentral ist dabei die *Raumordnung*, z.B. durch die Ausweisung geeigneter Flächen. Die hessische Landesregierung strebt dazu zum einen die Ausweisung von *Windvorrangflächen* in Hessen in Höhe von zwei Prozent der Landesfläche an; außerhalb dieser Flächen ist der Zubau von Windenergieanlagen und auch das *Repowering* bestehender Anlagen unzulässig.

Angekündigt hatte die aktuelle Landesregierung im Koalitionsvertrag 2019-2024, dass Windkraft im Wald ermöglicht und Flächen im Eigentum des Landes bereitgestellt werden sollen, wobei die Kommunen angemessen an den Pachteinahmen beteiligt werden sollen. Das stärkste Risiko für das Erreichen der hessischen Minderungsziele ist ein zu geringer Ausbau der erneuerbaren Energien aufgrund von rechtlichen Unklarheiten. Das gilt in besonderem Maße für die Windenergie. So weist das Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) aktuell 99 (321 MW) beklagte Windenergieanlagen aus (Tabelle 10). Weitere 289 Anlagen (1.326 MW) befinden sich im Genehmigungsverfahren.

Tabelle 10: Aktuelle Anzahl und elektrische Leistung der Windenergieanlagen in Hessen (Stand 18.01.2021)

Regierungspräsidium	In Betrieb		Vor Inbetriebnahme		Im Genehmigungsverfahren		Beklagte Anlagen	
	Anzahl	MW	Anzahl	MW	Anzahl	MW	Anzahl	MW
Darmstadt	221	521	1	4	56	268	50	159
Gießen	475	931	10	51	112	502	9	28
Kassel	428	787	26	91	121	556	40	134
Hessen	1.124	2.239	37	146	289	1.326	99	321

Quelle: HLNUG (2021), eigene Darstellung.

Hessen hatte nach Information der Fachagentur Windenergie bereits im Mai 2010 Handlungsempfehlungen zu Abständen von raumbedeutsamen Windenergieanlagen zu schutzwürdigen Räumen und Einrichtungen veröffentlicht. Seit dem Inkrafttreten des Energiezukunftsgesetzes im November 2012 sind Naturschutzbelange bei der Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen in Hessen zu berücksichtigen.

Seither sind verschiedene Maßnahmen ergriffen worden, um die Akzeptanz zu verbessern. Seit September 2018 existiert ein Verfahrenshandbuch zum Vollzug des Bundesimmissionsschutzgesetzes bzw. Durchführung von Genehmigungsverfahren bei Windenergieanlagen (Fachagentur Windenergie 2021a, 2021b). Auch die zum 1. Januar 2021 in Hessen in Kraft getretenen Verwaltungsvorschrift Naturschutz/Windenergie 2020 sowie das Artenhilfsprogramm für windkraftsensiblen Arten (HMuKLV 2021b) sollen dazu beitragen, die Akzeptanz zu verbessern und zu zeigen, dass Energiewende und Naturschutz bzw. Artenschutz vereinbar sind.

Im Juni 2018 wurde zudem die Dritte Verordnung zur Änderung der Verordnung über den Landesentwicklungsplan (LEP) Hessen beschlossen, der einige windenergierelevante Auszüge enthält. Darin wird u.a. der Mindestabstand zu bestehenden und geplanten Siedlungsgebieten auf 1.000 m festgelegt und Naturschutzgebiete ausgeschlossen (Kapitel 5.3 Energie). Auch die nachfolgenden drei hessischen Teilregionalpläne sind mittlerweile genehmigt und in Kraft (HMWEVW 2020a):

- Nordhessen: 169 Gebiete mit einem Flächenanteil von zwei Prozent;
- Mittelhessen: 127 Gebiete mit einem Flächenanteil von 2,2 %;
- Südhessen: 122 Gebiete mit einem Flächenanteil von nunmehr 1,5 % (erst im Juli 2021 war hier über sogenannte Weißflächen entschieden und weitere 0,1%-Punkte ausgewiesen worden).

Insgesamt sind damit ca. 1,85 % der Landesfläche Hessens für die Windkraftnutzung ausgewiesen; die angestrebten zwei Prozent werden in Hessen also nicht erreicht.⁹

Um den notwendigen Ausbau der Windenergie zu beschleunigen, werden auf Bundesebene zurzeit etliche mögliche und noch zu prüfende Vorschläge diskutiert, darunter

- eine Neufassung der sogenannten Konzentrationszonenplanung im Baugesetzbuch, um mehr qualifizierte Flächen für den Bau von Windenergieanlagen verfügbar zu machen (Stiftung Klimaneutralität 2021a), und
- eine grundlegende Reform des Zulassungsrechts mit einer deutlichen Beschleunigung der Genehmigungsverfahren; dazu machte u.a. die Stiftung Klimaneutralität zuletzt einen Vorschlag für ein „Windenergie an Land“-Gesetz (WindLandG) (Stiftung Klimaneutralität 2021b).

Notwendig ist auch eine Intensivierung der Bundesländerinitiative zur Verwendung einheitlicher Standards bei Genehmigungsverfahren von Windkraftanlagen, die schon im Mai 2020 diskutiert wurde. Der Standardisierungsprozess ist dabei wesentlich von Hessen als Vorsitzland der Umweltministerkonferenz angetrieben worden. Zugleich müsste geprüft werden, wie die Abstandsregelung in Hessen so geregelt gefasst werden kann, dass der Ausbau nicht unnötig gehemmt wird.

Diese und weitere Vorschläge, z.B. zum Artenschutz, dürften in der kommenden 20. Legislaturperiode auf Bundesebene den Diskurs und dann auch die nationale Gesetzgebung beeinflussen; sie haben dann auch Relevanz für die hessische Gesetzgebung sowie Genehmigungsverfahren.

Eine genauere Betrachtung möglicher Standorte und Maßnahmen kann zur Ableitung eines Zubauziels, ausgedrückt in GW installierter Windenergieleistung, führen. Dies war im Rahmen des Gutachtens nicht möglich, die Schätzung der Studienautor*innen ist jedoch, dass sich dieses Ziel nicht unter 500 MW Zubau pro Jahr und damit insgesamt nicht unter 5 GW bis 2030 bewegen sollte.

Erneuerbare Stromerzeugung: Photovoltaik

Die Potenziale zum Ausbau der Stromerzeugung aus solarer Strahlungsenergie in Hessen sind ebenfalls noch nicht ausgeschöpft. Auch hier geht es *erstens* um die Bereitstellung von Flächen sowie Möglichkeiten, um den Ausbau konkret voranzutreiben und Flächenkonflikte zu vermeiden.

- Flächensynergien zum Beispiel mit der landwirtschaftlichen Nutzung sind aktiv zu erschließen (sogenannte Agri-PV).

⁹ In dem Wert von 1,85% der Landesfläche ist die im Juli 2021 neu ausgewiesene Fläche in Höhe von 0,1% der Fläche des Regierungsbezirks Südhessen noch nicht enthalten.

- Bezüglich der Freiflächensolarverordnung in Hessen könnte geprüft werden, inwieweit die Begrenzung auf 35 MW jährlich sinnvoll ist.

Für den Ausbau der PV hat Hessen in der hessischen **Freiflächensolarverordnung** vom 30.11.2018 festgelegt, dass nicht nur Konversionsflächen am Rand von Autobahnen und Eisenbahnen, sondern auch so genannte benachteiligte landwirtschaftliche Flächen zur Errichtung von Solarstromanlagen genutzt werden können, allerdings mit einer Mengenbegrenzung; demnach dürfen pro Jahr Freiflächenanlagen mit insgesamt 35 MW in benachteiligten Gebieten gebaut werden.

Damit nutzt nach Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz auch Hessen die Länderöffnungsklausel im EEG 2017. Ziel ist es, dass Hessen genügend Flächen zur Teilnahme an den Ausschreibungen der Bundesnetzagentur ausweisen kann; in den letzten Jahren waren aufgrund der Flächenrestriktion nur wenige hessische Projekte zum Zuge gekommen.

Zweitens sollten Anreize für den stärkeren individuellen, dezentralen Ausbau von PV-Systemen überprüft und gestärkt werden. Zu prüfen wäre

- die Einführung einer PV-Pflicht für neue Nichtwohngebäude, wie sie z.B. in Baden-Württemberg in der Novelle des KSGs vom Oktober 2020 beschlossen wurde,
- insgesamt eine gesetzlich verankerte Privilegierung von PV im Außenbereich,
- eine gesetzliche Stärkung der Erneuerbaren-Selbstversorgung (auch zur Entlastung der Verteilnetze), und
- eine intensivere Förderung von Bürgergesellschaften zum Ausbau von PV im Gebäudebereich (Deutsche Energie-Agentur GmbH [dena] 2021a).

Insgesamt kann nach einer Ermittlung der konkreten Potenziale für Aufdach- und Freiflächenanlagen ein Zubauziel abgeleitet werden, das sich im Bereich von 500 MW pro Jahr bewegen dürfte. Bis 2030 kämen auf diese Weise (gerechnet ab 2021) rund 5 GW an neuen PV-Flächen hinzu.

Dekarbonisierung der Wärmenetze

Für die Klimaschutzziele 2050 muss die Dekarbonisierung der Wärmenetze aktiv vorangetrieben werden. Es gilt die Anschlussdynamik aufrechtzuerhalten, und andererseits zu verhindern, dass neue fossile Fernwärmeerzeugungsanlagen errichtet werden. Hierzu kann auf den vorhandenen Maßnahmen des Bundes aufgesetzt werden.

Die Dekarbonisierung des Wärmesektors gestaltet sich prinzipiell schwierig, weil der fossile Energieträgereinsatz im Wärmesektor nur schwer direkt durch CO₂-freie Energieträger zu ersetzen ist. Deshalb ist eine Differenzierung der Strategie nach der (notwendigen) Vorlauftemperatur der Netze notwendig.

Für Netze, deren Abnehmer*innen auf hohe Temperaturen angewiesen sind und die viel Energie verbrauchen, verbleiben lediglich die Optionen Power-to-Gas (Umwandlung erneuerbaren Stroms zu Gas), Bioenergie und Power-to-Heat (Nutzung erneuerbaren Stroms zur Wärmeproduktion, z.B. mit Wärmepumpen). Allerdings ist das für die Wärmeversorgung in Fernwärmenetzen verfügbare Biogas perspektivisch als äußerst begrenzt zu bewerten. Insgesamt sollte die Umrüstung auf Niedrigenergie-Netze angestrebt werden (vgl. Arepo Consult & LITE 2020).

Auch kann das Bundesförderprogramm Wärmenetzsysteme 4.0 genutzt werden. Beispiele für Wärmenetze mit hohen Anteilen an erneuerbaren Energien sind noch rar und vor allem in Dänemark zu finden. In Hessen hatten bis Anfang 2020 neun Kommunen und Unternehmen Machbarkeitsstudien

im Rahmen des Förderprogramms „Wärmenetze 4.0“ erstellt.¹⁰ Für eine der Machbarkeitsstudien wurde ebenfalls eine Ausführungsförderung beantragt, diese wurde allerdings vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) nicht bewilligt (Arepo Consult & LITE 2020). Nach eigenen Angaben haben u.a. die Gemeindewerke Großkrotzenburg und die Stadtwerke Hanau eine Machbarkeitsstudie durchgeführt. Eine weitere Studie aus Hessen liegt für Wetzlar/Lahn-Dill-Kreis vor.

Die Dekarbonisierung der Fernwärmenetze benötigt ein Maßnahmenbündel, das unter anderem enthalten muss:

- Datenaufnahme für alle (fossil befeuerten) Wärmenetze in Hessen und Wärmekataster für Abwärme;
- Förderung für Planungs- und Beratungsleistungen auf dem Weg zum Nullemissionswärmenetz;
- Möglicherweise Unterstützung beim Kompetenzaufbau bei Wärmenetzbetreibern und Stadtwerken durch ein Netzwerk oder eine andere Art der Kompetenzplattform;
- Möglicherweise Investitionsbeihilfen (in Ergänzung zu den Bundeshilfen im Rahmen des o.g. Förderprogrammes);
- Gesetzliche Vorgaben oder Verwaltungsleitlinien zur Beendigung des Ausbaus von fossilen Kapazitäten für Wärmenetze (z.B. Wegfall oder starke Einschränkung der Genehmigungsfähigkeit von Gasanlagen) und Nutzung regenerativer Energiequellen oder Abwärme;
- Verknüpfung von Maßnahmen der Fernwärmeumstellung mit solchen zur Heizungsmodernisierung, Förderung von Quartiersansätzen u.a.m.;
- Bis hin zu einer Pflicht zur kommunalen Wärmeplanung, wie sie beispielsweise in Baden-Württemberg im Zuge der Novelle des dortigen KSG im Oktober 2020 eingeführt wurde.

Dieses Maßnahmenbündel müsste und kann wesentlich vom Land vorangetrieben werden.

Stärkung administrativer und juristischer Prozesse

Offensichtlich wird die Ausbaudynamik der erneuerbaren Energien auch durch langsame Fortschritte in den Genehmigungsprozessen und bei der Bearbeitung von Beschwerden und Klagen eingeschränkt. Die Beschleunigung kann durch die oben aufgezählten Änderungen in den Genehmigungsvorschriften vorangebracht werden.

Ein wichtiger Engpass liegt jedoch auch in der geringen Personaldecke in den zuständigen Behörden. Eine bessere Ausstattung von Verwaltungen und einschlägigen Gerichten könnte hier die Verfahrensgeschwindigkeit beschleunigen, so dass die wirtschaftlichen Chancen der erneuerbaren Energien in Hessen besser genutzt werden können.

Weitere unterstützende Maßnahmen

Aufbauend auf der Gesetzgebung des Bundes kann Hessen bei der landesspezifischen Gestaltung von Verfahren (z.B. Genehmigungen, Raumordnung) und bei flankierenden Maßnahmen im o.g. Dreiklang des **Informierens, Beratens und Förderns (sowie Forderns)** die Erreichung der Klimaziele unterstützen.

¹⁰ Für die Machbarkeitsstudien besteht keinerlei Veröffentlichungspflicht und die Fördernehmer*innen werden nicht veröffentlicht.

Im Rahmen des IKSP 2025 werden bereits eine ganze Reihe von Maßnahmen zur Förderung des Ausbaus der erneuerbaren Energien im Strom- und Wärmebereich vorgeschlagen. und sind zu großen Teilen umgesetzt worden. Dazu zählen beispielsweise

- die Einrichtung der Landesenergieagentur (LEA) (als zentrale Anlaufstelle und Kompetenzzentrum in allen relevanten Fragen),
- die Verankerung von Klimaschutzzielen in der Städtebauförderung (im Hinblick auf Wärmenetze von Bedeutung),
- die Unterstützung hessischer Kommunen zur verstärkten Inanspruchnahme des Programms der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zur energetischen Stadtsanierung (ebenfalls im Hinblick auf Wärmebedarfe relevant),
- die Verankerung von Klimaschutzzielen in der Landes- und Regionalplanung (relevant im Hinblick auf die Flächennutzungskonzepte und Flächenverfügbarkeit für Wind- und Solarprojekte),
- die Unterstützung von Wärmenetzbetreibern bei der Entwicklung von Konzepten zum Brennstoffwechsel von Kohle zu Erdgas, Biomasse und biogenen Reststoffen bei Heizwerken und KWK-Anlagen,
- die Entwicklung von Strategien und Maßnahmen für eine klimafreundliche Wärmeversorgung unter stärkerer Nutzung des Potenzials von Abwärme und erneuerbarer Wärme bei der kommunalen Wärmewende,
- die Stärkung der Vorbildfunktion der öffentlichen Hand u.a. mit dem Investitionsprogramm „Fit für den Klimawandel“ für Hochschulen und Universitäten, dem Projekt „CO₂-neutrale Landesverwaltung“ und der Teilnahme am Bundesprogramm „Energieeffizienter Campus“,
- Programme und Initiativen u.a. zur energetischen Sanierung, zum klimaneutralen Gebäudebestand 2050 bei Wohnungsbaugesellschaften, eine Kampagne Solaranlagen an Gebäuden sowie
- energieeffiziente Rechenzentren,

um nur einige energierelevanten Maßnahmen des IKSP zu nennen. Diese Initiativen zeigen auf, dass Hessen in der Identifikation von Ansatzpunkten sehr weit gediehen ist; eine exakte Quantifizierung der (zusätzlichen) Wirkung dieser Maßnahmen ist indes schwierig und findet sich daher nur stellenweise im Monitoringbericht.

Zeitgleich sollte die Perspektive nach 2030 aktiv angegangen werden. Dabei geht es beispielsweise um die Schaffung, Pilotanwendung und Nutzung von Flexibilitäten in der hessischen Strom- und Wärmeversorgung. Das betrifft die Nutzung von Wasserstoff genauso wie die Entwicklung von Speicherkapazitäten, das Erschließen von Lastmanagement-Kapazitäten sowie von Abwärme-Potenzialen in Rechenzentren und Industriestandorten, aber auch die Digitalisierung zur verbesserten Steuerung und Auslastung der Verteilnetze.

5.2 Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen

5.2.1 Methodische Vorbemerkung

Der zweite Sektor des KSP 2050 wird als „Gebäude“ bezeichnet. Für diesen Sektor besteht eine Minderungsverpflichtung von 67-66 %. Im KSG 2021 werden die zulässigen Restemissionen für „Gebäude“ mit 67 Mt CO₂-Äqu. gesetzt; das sind drei Megatonnen CO₂-Äqu. weniger als im KSG 2019. Zur Verwertung gemäß der hessischen Treibhausgasbilanz wird dieser Sektor im Folgenden mit dem dortigen Sektor „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen“ gleichgesetzt. Emissionen aus diesem Sektor stammen zum allergrößten Teil aus Gebäuden, und zwar aus dem Einsatz von Kohlen, Mineralölprodukten und Erdgas.

5.2.2 Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU , Bundes und Landesebene

EU-Ebene

Die Ziele der EU im Gebäudebereich beziehen sich insbesondere auf die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden. Sie erkennt in der Renovierung bestehender Gebäude die Möglichkeit, die CO₂-Emissionen der EU insgesamt um rund fünf Prozent zu verringern. Dazu hat sie sich das Ziel einer Verbesserung der Energieeffizienz von mindestens 32,5 % bis 2030 gesetzt. Von besonderer Bedeutung für die Erreichung dieses Ziels sowie des Ziels der Klimaneutralität bis 2050 war die Überarbeitung der Richtlinien 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD) und die Energieeffizienz-Richtlinie 2012/27/EU (Energy Efficiency Directive, EED).

Die Hauptelemente dieser Strategie sind 1) der verstärkte Fokus auf die Langfriststrategien im Renovierungsbereich in den Ländern, 2) Niedrigstenergiegebäude, 3) Ausweise über die Gesamtenergieeffizienz, und 4) ein Sektor- und übergreifender Ansatz in neuen Gebäuden (Smart meter/homes, Elektromobilität, Gesundheitsschutz) (EK 2020a).

Bundesebene

Die Bundesrepublik hat ebenfalls mehrere Minderungsziele für den Gebäudebereich. Das KSP 2050 sah bis 2030 die Minderung der Emissionen dieses Bereichs um 67-66 % gegenüber 1990 vor. Daneben gibt es das ältere Ziel eines „nahezu klimaneutralen Gebäudebestands“ im Jahr 2050; nach Berechnungen des Bundeswirtschaftsministeriums impliziert dies eine Minderung des Gesamtenergiebedarfes im Gebäudebestand von rund 80 % gegenüber dem Jahr 2008 (BMW 2015). Nach dem KSG (2019) muss der Gebäudesektor seine Emissionen auf 70 Mt CO₂ reduzieren. Das bedeutet gegenüber 2020 eine Reduktion um knapp 41 % oder 66,7 % gegenüber 1990. Mit dem KSG 2021 wurde dieses Ziel noch einmal auf 67 Mt CO₂ verschärft, was einer Reduktion gegenüber 1990 um 68,1 % entspricht.

Federführend für Gesetzgebung und Förderprogramme auf Bundesebene sind grundsätzlich das BMWi für die Energieeffizienz sowie das Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat (BMI). Das BMU ist für klimapolitische (Querschnitts-)Instrumente zuständig.

Hessen

Für das Bundesland Hessen gibt es bisher kein klimaspezifisches Ziel. Das formulierte Ziel bezieht sich vielmehr auf die energetische Modernisierung von Gebäuden. Die hessische Landesregierung strebt an, die Sanierungsrate im Gebäudebestand auf mindestens 2,5 % bis 3 % zu heben (HMWEVW 2018, LEA 2021a). Ein konkretes Minderungsziel für den Energieverbrauch wurde bisher

nicht festgelegt. Eine Förderrichtlinie vom 02.12.2015 fördert die Umsetzung des hessischen Energiegesetzes vom selben Tag.

5.2.3 Energieverbrauch im Sektor Haushalte, GHD in Hessen (Stand)

Der Endenergieverbrauch im Sektor Haushalte, GHD belief sich im Jahr 2018 insgesamt auf 287 Petajoule (PJ), was 36,1 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Hessen entspricht. Davon entfielen knapp zwei Drittel (184,1 PJ) auf private Haushalte und ein Drittel auf Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (102,9 PJ) (LAK 2021). Auf Bundesebene ist die Verteilung zwischen diesen beiden Segmenten dagegen eher ausgeglichen. Der Stromverbrauch des Sektors insgesamt ist beträchtlich, die angegebenen Emissionen stammen jedoch aus der Anwendung von fossilen Brennstoffen, die fast ausschließlich für Wärmebereitstellung genutzt werden, die im Folgenden diskutiert werden.

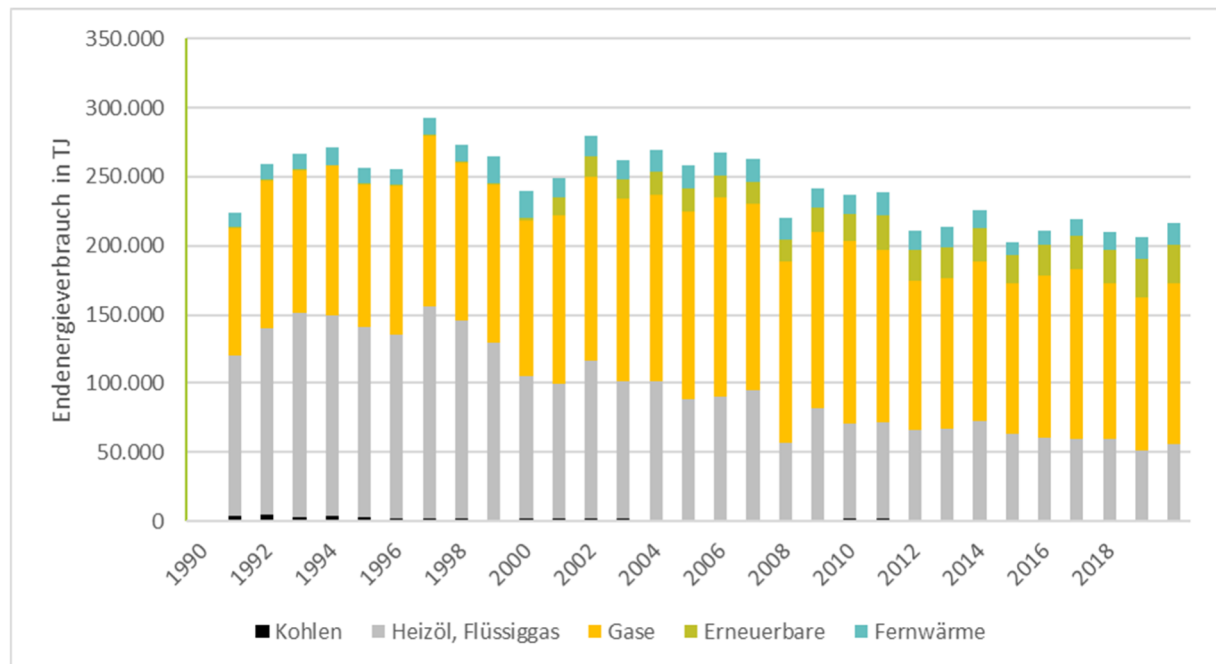
Deutschlandweit stammen im Haushaltssektor noch zehn Prozent und im Sektor Haushalte, GHD in Hessen noch fast 40 % der Emissionen aus Ölheizungen (IWU 2018, LAK 2021).¹¹ Nach IWU (2018) sind 3,4 % der Gebäude und 7,6 % der Wohnungen an die Fernwärme angeschlossen, im Vergleich zu 6,4 % bzw. 16,6 % bundesweit. In Bezug auf den sektorweiten Gesamtenergieverbrauch wird im GHD-Sektor in Hessen im Vergleich mehr Erdgas als bundesweit genutzt (35 % am Endenergieverbrauch in Hessen, 28 % deutschlandweit). In absoluten Zahlen liegt der Gesamtverbrauch im GHD-Sektor in Hessen jedoch deutlich niedriger als im Haushaltssegment. Über alle Energieanwendungen hinweg steht im GHD-Bereich die Nutzung von Strom im Vordergrund (in Hessen 44 %, bundesweit 41 %).

Der **Wärmebedarf**¹² im Sektor Haushalte, GHD in Hessen, zu dem auch die öffentlichen Gebäude sowie militärische Dienststellen gehören, war in den letzten 30 Jahren im Allgemeinen rückläufig, auch wenn der – vergleichsweise niedrige – Stand des Jahres 1990 erst im Jahr 2007 und dann erst wieder im Jahr 2011 erreicht wurde (Abbildung 3). Deutlich zu sehen ist der Anstieg der Beiträge von Fernwärme und erneuerbaren Energien sowie die verschwindende Relevanz von Kohlen in der Wärmebereitstellung.

¹¹ Hier sei darauf hingewiesen, dass beim Datenabruf aus der Datenbank des LAK Energiebilanzen im März 2021 für den Verbrauch von extraleichtem Heizöl im Bereich GHD der Wert von null Terrajoule angegeben wurde. Die Studienautor*innen halten diesen Wert nicht für plausibel, gehen aber davon aus, dass dies für die Erwägungen im Folgenden eine eher untergeordnete Rolle spielt.

¹² Zu beachten ist die Unterscheidung zwischen dem Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser, über den im Folgenden berichtet wird und der für die Emissionen aus diesem Sektor verantwortlich ist, sowie dem sogenannten gebäuderelevanten Energiebedarf, der z.B. im Rahmen des Energiewendemonitoringberichtes ebenfalls diskutiert wird, und zusätzlich Bedarf für Elektrogeräte, Beleuchtung und Raumkühlung mit einbezieht. Diese Bedarfe sind im Allgemeinen durch Stromanwendungen verursacht, die in diesem Sektor nicht zu direkten Emissionen führen. Ihre Reduktion ist sehr wichtig, um die Ziele im Umwandlungssektor zu erreichen, jedoch nicht im hier betrachteten Sektor.

Abbildung 3: Endenergieverbrauch Haushalte, GHD zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser in TJ (nicht temperaturbereinigt)¹³



Quelle: Eigene Berechnung und Darstellung, basierend auf Daten aus LAK (2021).

Trotz der Steigerung der Effizienz von Gebäuden und Heiztechnik wurde erst ab dem Jahr 2007 die Marke von 250 PJ dauerhaft unterschritten. Seit 2010 pendelt der fossile Endenergieverbrauch um einen Wert von 210 PJ, was nicht sehr deutlich unter dem Endenergieverbrauch von 1990 liegt (LAK 2021). Auch die temperaturbereinigten Daten des hessischen Energiemonitoringberichts (HMWEVW 2020) zeigen, dass nach einer Effizienzerhöhung im ersten Jahrzehnt dieses Jahrtausends die Endenergieverbräuche für Raumwärme und Warmwasser zumindest der privaten Haushalte auf einem Plateau angekommen sind. So ist der spezifische temperaturbereinigte Endenergieverbrauch pro Quadratmeter Wohnfläche zwar zwischen 1990 und 2015 um ein Drittel zurückgegangen, dieser Trend wird aber durch die steigende Wohnfläche pro Einwohner*in so weit kompensiert, dass die Nettoeinsparung insgesamt seit 1990 nur noch 20 % betrug.

Das ist zwar bereits deutlich besser als die Werte, auf denen die Zielvorgaben des IKSP beruhen. Hier hatte sich bis 2014 eine erwartete Reduktion des Endenergieverbrauchs von nur 6,5 % ergeben (HMUKLV 2017). Auf dieser Basis war für die Zielvorgaben des IKSP 2025 eine Reduktion um 14,6 % bis 2025 und von 20,6 % bis 2030 angestrebt worden. Nachdem die Energieeffizienzgewinne bereits 2015 erreicht wurden (HMWEVW 2020a), kann das Ziel bis 2030 also deutlich ambitionierter gesetzt werden, auch wenn der Endenergiebedarf in den letzten Jahren stagnierte.

Auch im Bereich der Energieträgersubstitution – von fossilen Energieträgern durch Solarthermie, Geothermie, Bioenergie oder Strom – existiert eine noch steigerbare Dynamik in Hessen. Während im Jahr 2005 erneuerbare Energien (Solarenergie, Biomasse, sonstige erneuerbare Energien) etwa 15,8 PJ Wärme bereitstellten, was einem Anteil von sechs Prozent entsprach, war dieser Anteil im Jahr 2018 bereits auf 13 % gestiegen (Werte berechnet auf Basis von Daten aus LAK 2021).

¹³ Die CH₄- und N₂O-Emissionen aus diesen Sektoren sind – der THG-Bilanz Hessens folgend – nicht in dieser Darstellung enthalten, weisen aber eine parallele Entwicklung auf, so dass eine Reduktion der CO₂-Emissionen sich proportional für diese Treibhausgase auswirken wird. Die erwartete Entwicklung für die energiebedingten CH₄- und Lachgasemissionen wird in Abschnitt 5 diskutiert.

Die Studie „Datenerhebung Wohngebäudebestand“ (IWU 2018), eine der detailliertesten Analysen der bundesdeutschen und hessischen Situationen, stellt zwar insgesamt eine sehr ähnliche Struktur und Dynamik von Wärmeschutz und Wärmeversorgung in Hessen und Deutschland fest, zieht aber einen Vergleich zum **Modernisierungsfortschritt** zwischen der Bundesebene und der hessischen Landesebene. Über alle Wohngebäude betrachtet liegt die jährliche Modernisierungsrate in beiden geographischen Bezugsräumen bei 0,99 %. Aber im Altbau (bis Baujahr 1978) liegt sie in Hessen bei 1,33 % und damit leicht unter dem deutschen Durchschnitt von 1,43 %, und insgesamt liegt der erreichte Stand der Modernisierung im Altbau in Hessen (mit 31 %) etwa ein Zehntel hinter dem Bundesschnitt (34,8 %). Auch beim Austausch von Heizungssystemen hinkt Hessen leicht hinterher: In Hessen werden 2,8 % der Wärmeerzeugungsanlagen pro Jahr ausgetauscht (2,93 % im Altbau älter als 1978), in Deutschland 3,05 % (bzw. 3.27 % im Altbau). Auf dieser Basis kann Hessen überdurchschnittlich von einer Beschleunigung der Dynamik in diesem Bereich profitieren, wenn hier direkt erneuerbare Systeme gewählt werden. Für das Jahr 2016 hebt IWU (2018) allerdings hervor, dass bisher in 85 % der Fälle beim Ersatz von Wärmeerzeugungsanlagen leider noch fossile Systeme verwendet werden.

Es liegen kaum gesicherte hessenspezifische Informationen zur Struktur von **Nichtwohngebäuden** und mischgenutzten Gebäuden z.B. zu Energieverbräuchen und -versorgung, Sanierungs- oder Neubauraten oder Alters- und Nutzungsstrukturen vor. Statistisch werden solche Daten nicht erhoben und die hessenspezifischen tiefergehenden Betrachtungen fokussieren auf Wohngebäude. Die Energieverbrauchsstatistik zeigt aber Unterschiede in der Energieverbrauchsstruktur zwischen Haushalten und GHD, die z.B. nach Expertenrat Klimaschutz (2021) für den KSG-Sektor Gebäude und auch für den hier diskutierten Sektor GHD für Hessen verwendet werden können. Heizöl und Flüssiggas spielen im Bereich GHD in Hessen eine untergeordnete Rolle, entsprechend wird hier mehr Erdgas eingesetzt.

5.2.4 Treibhausgasemissionen im Sektor Haushalte, GHD in Hessen

Im Jahr 2018 emittierte der Sektor Haushalte, GHD¹⁴ in Hessen 10,4 Mt CO₂. Gegenüber 1990 – einem Basisjahr mit relativ niedrigem CO₂-Ausstoß - wurde damit in Hessen eine Minderung um 32 % (4,9 Mt CO₂) erreicht (LAK 2021). Die Werte können zwischen einzelnen Jahren stark schwanken:¹⁵ Im Jahr 2018 waren die Emissionen auf dem bisher niedrigsten Stand. Gegenüber dem bisher höchsten Stand im Jahr 1996 lagen sie damit im Jahr 2018 bereits 8,6 Mt CO₂ bzw. 45 % niedriger (LAK 2021). Die hier genannten Werte beinhalten auch CO₂-Emissionen aus Otto-, Diesel- und Flugturbinenkraftstoffen, die nach Auskunft des HSL im Teilbereich GHD der Land- und Forstwirtschaft und dem Militär zuzurechnen sind. Im Teilbereich der Haushalte werden diese drei Kraftstoffarten nicht bilanziert. Im Folgenden und zur Ableitung des Sektorziels wird – auch in Analogie zum KSG – nur auf die Emissionen zur Wärmebereitstellung in Gebäuden eingegangen.

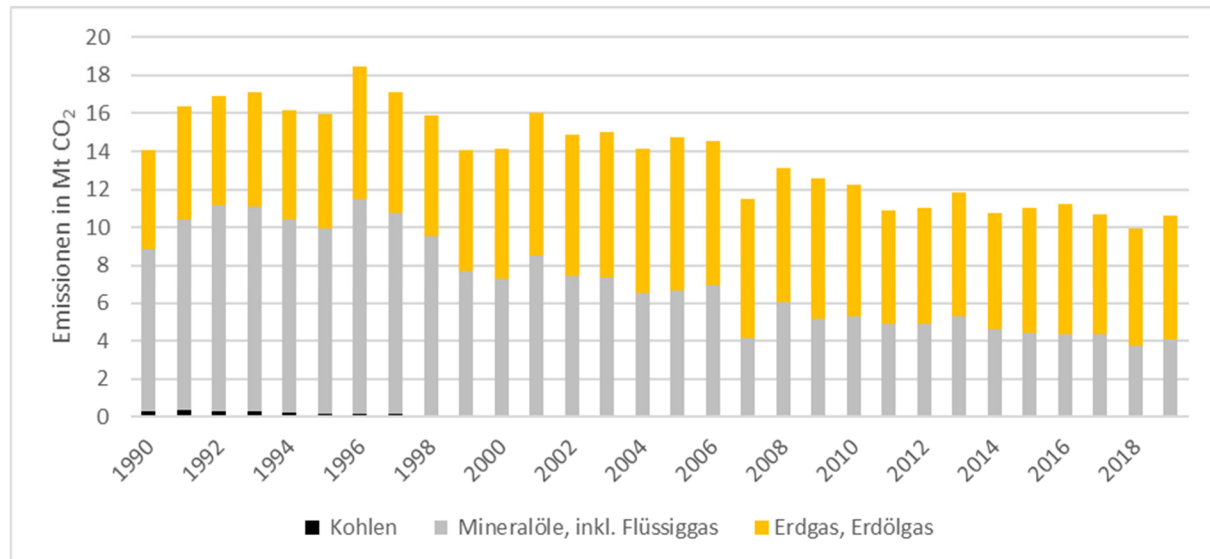
Etwa 60 % der CO₂-Emissionen zur Wärmeerzeugung im Gebäudebereich waren 2018 auf den Einsatz von Erdgas zurückzuführen und 40 % auf Heizöl, das in Hessen eine deutlich größere Rolle spielt als im gesamtdeutschen Durchschnitt. In Hessen wurden 2018 33,3 % der Wohngebäude und 27,3 % der Wohnungen mit Öl beheizt (Abbildung 4). Deutschlandweit sind es nur 27,5 % der

¹⁴ Der Sektor Haushalte, GHD in der Treibhausgasbilanz umfasst nach Definition des LAK Energiebilanzen private Haushalte, Anstaltshaushalte, Gewerbe- und Handwerksbetriebe mit weniger als 20 Beschäftigten, soweit sie nicht in der Gewinnung von Steinen und Erden, im Bergbau und Verarbeitendem Gewerbe erfasst sind, Betriebe der Energie- und Wasserversorgung (ohne Umwandlungsbereich), Betriebe des Baugewerbes, Land- und Forstwirtschaft (energiebedingte Emissionen einschließlich Verkehrsverbrauch), Kreditinstitute, Versicherungs- und Handelsunternehmen, private und öffentliche Dienstleistungsunternehmen und Einrichtungen (z.B. Banken, Versicherungen, Wäschereien, Krankenhäuser, Behörden, Deutsche Post AG), sowie militärische Dienststellen.

¹⁵ Eine Temperaturbereinigung wäre zwar statistisch möglich, den Studienautor*innen standen jedoch keine temperaturbereinigten aktuellen Zahlen zur Verfügung.

Wohngebäude und 21,5 % der Wohnungen (IWU 2018). Das bedeutet, dass der Wohngebäudebestand in Hessen im Vergleich zum Bundesgebiet – bei ansonsten vergleichbaren Gebäudestrukturen – deutlich emissionsintensiver beheizt wird. Im GHD-Bereich spielt die Ölheizung in Hessen dagegen eine nur untergeordnete Rolle.

Abbildung 4: Emissionen aus dem Gebäudebestand in Hessen (in Mt CO₂)



Hinweis: Zur Berechnung und Darstellung der Emissionen aus Gebäuden wurde auf die veröffentlichten Endenergieverbräuche in Bezug auf Mineralöle, Kohlen und Gase des LAK Energiebilanzen zurückgegriffen, die anhand der jahresbezogenen UBA-Emissionsfaktoren in CO₂-Emissionen konvertiert wurden.

Quelle: Eigene Berechnungen und eigene Darstellung basierend auf Endenergieverbrauchsdaten von LAK (2021) sowie CO₂-Emissionsfaktoren aus UBA (2016) für die Jahre 1990 bis 2014 (für die Folgejahre 2015-2018 wurde der Mittelwert der Jahre 1990 bis 2014 verwendet).

5.2.5 Ableitung des Sektorziels Haushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

Bei einer direkten Übertragung des Sektorziels für Gebäude auf Bundesebene (66 % gegenüber 1990) auf Hessen dürfte der Sektor Haushalte, GHD in Hessen im Jahr 2030 noch 5,2 Mt CO₂ emittieren. Er müsste also knapp 10,1 Mt CO₂ gegenüber 1990 oder ca. 5,2 Mt CO₂ gegenüber 2018 reduzieren.

Als Sektorziel wird letztlich eine Minderung von 70 % gegenüber 1990 vorgeschlagen.

Die THG-Bilanz in Hessen wird von der Dynamik, die durch die Bundesziele und die auf Bundesebene definierten bzw. noch zu definierenden Maßnahmen, die auf Sanierung und energetische Modernisierung abstellen, stärker profitieren als im deutschen Durchschnitt, da hier aufgrund des Rückstandes bei der energetischen Modernisierung ein höheres Potenzial vorhanden ist.

Signifikante Reduktionen des Treibhausgasausstoßes sind grundsätzlich durch drei Hebel möglich: *Erstens* besteht in Hessen die Möglichkeit des Aufholens auf das Bundesniveau in Bezug auf den Modernisierungsstatus des Altbaubestandes. *Zweitens* kann die Quote der energetischen Modernisierung erhöht werden, wie im Koalitionsvertrag vorgesehen. Dieser Ansatz ist nicht nur aufwändig, sondern wurde in den letzten 20 Jahren wiederholt mit nur eingeschränktem Erfolg verfolgt, vor allem auch auf Bundesebene. Am schnellsten können nach Einschätzung der Studienautor*innen – *drittens* – die Emissionen durch den Einsatz von erneuerbaren Energien, Strom

und Fernwärme gesenkt werden.¹⁶ Mit einer auf Klimaschutz fokussierten Kombination und Lenkung dieser drei Trends wird ein Sektorziel von 70 % erreichbar, das aus technisch-ökonomischer Perspektive zudem erstrebenswert ist.

Im Teilbereich GHD erscheint ebenfalls ein starker Ausbau der erneuerbaren Energien sinnvoll und notwendig. Im Teilbereich der Haushalte können höhere Beiträge geleistet werden.

Die **energetische Modernisierung** kann dazu einen Beitrag leisten. IWU (2018) stellt in Hessen bereits für den Zeitraum 2010-2016 eine gegenüber der vorhergehenden Dekade beschleunigte Modernisierungsquote fest. Sie lag sowohl deutschlandweit also auch in Hessen bei 0,99 % ($\pm 0,04$ %) pro Jahr (IWU 2018). Die Ziele der Bundesregierung machen eine weitere Erhöhung der Quote erforderlich. Der hessische Koalitionsvertrag enthält bereits das Ziel der Erhöhung der „Sanierungsquote“ auf zwei Prozent (Hessische Landesregierung 2019). Auch bei diesen Sektoren ist zu beachten, dass die Bundesebene nach Maßgabe der Entscheidungen der Europäischen Union wesentliche Maßnahmen ergreifen wird, und die Entscheidungskompetenz von Hessen hier unterstützend zum Einsatz kommt.

Um diese Zahl zu erreichen, bietet es sich an, die Tiefe der Modernisierungsmaßnahmen, die aktuell bereits stattfinden, zu intensivieren. So wird z.B. aktuell in 60 % der Modernisierungsfälle nur eine von vier möglichen Maßnahmen des Wärmeschutzes durchgeführt (IWU 2018). Eine Kombination mit weiteren Maßnahmen kann in den meisten Fällen die THG-Einsparung pro Sanierungsfall und damit indirekt auch die Sanierungsquote erhöhen, die ja ein rechnerisches Komposit aus Einzelmaßnahmen ist.

IWU (2018) weist jedoch auch darauf hin, dass die Erhöhung der Modernisierungsquote „nicht das primäre Ziel für die Wärmeversorgung sein“ kann (S.149). Die effektivste Maßnahme für den Klimaschutz ist in jedem Fall – mit oder ohne Sanierung – der **Ersatz von Heizsystemen** durch CO₂-freie Heizsysteme.

Aktuell werden in Hessen bereits 2,8 % der Systeme pro Jahr ausgetauscht (IWU 2018). Eine Erhöhung der Häufigkeit dieser Austauschmaßnahmen z.B. um 50 % auf 4,2 % pro Jahr, verbunden mit einem Einbau von Heizungen, die erneuerbare Energien oder Strom nutzen, würde das Ziel der Bundesregierung (67 % Reduktion) in Hessen erreichbar werden lassen. Bei einer um 65 % erhöhten Beschleunigung der Heizungsaustauschraten, die zu einer Austauschrate von 4,6 % pro Jahr und Ersatz durch erneuerbare Energien oder Strom führt und unter der Annahme, dass die aktuelle Rate an energetischer Modernisierung von *einem Prozent* beibehalten wird und ab sofort keine fossilen Heizungssysteme mehr eingebaut werden, resultiert eine THG-Vermeidung um 70 % im Vergleich zu 1990.

Die Szenarienkalkulation hat ergeben, dass das der Heizungsaustausch in Bezug auf die Klimaschutzwirkung deutlich effektiver ist als die im Koalitionsvertrag vereinbarte Verdopplung der Sanierungsquote auf *zwei Prozent*. Deren Umsetzung erhöht das erreichbare Sektorziel lediglich um einen Prozentpunkt auf 71 %.¹⁷ Auf der anderen Seite macht Erhöhung der Sanierungsquote um 100 % die Mobilisierung von einer viel größeren Anzahl an Hausbesitzer*innen zu einer sehr viel höheren Anzahl von Einzelmaßnahmen notwendig als die Erhöhung der Heizungsaustauschquote um 65 %. Es lässt sich also schlussfolgern, dass der wirksamere Hebel zur Emissionsminderung in diesem Sektor im Ersatz von Ölheizungen (und später Gasheizungen) durch CO₂-freie bzw. strombasierte Heizungssysteme (erneuerbare Wärme, Strom oder Fernwärme) liegt. Diese – für die

¹⁶ Auf – aus der Sicht der Studienautor*innen – extreme Maßnahmen wie einer Verringerung des Wohnraumes pro Kopf bzw. des beheizten Wohnraumes pro Kopf, wie sie von anderen Experten vorgeschlagenen werden, wird hier auf der Basis von Plausibilitätsbetrachtungen nicht weiter eingegangen.

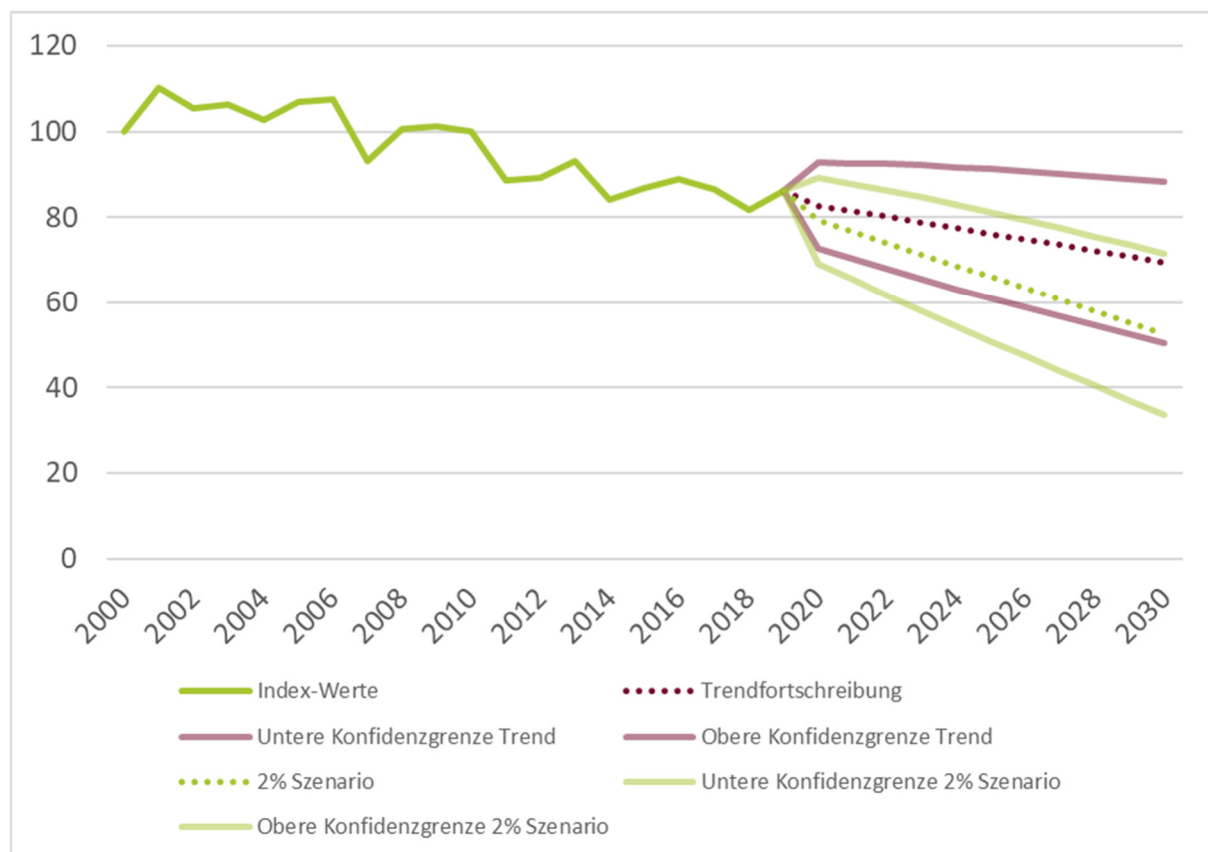
¹⁷ Rechnerisch ergibt sich aus dieser Kalkulation sogar ein mögliches Sektorziel von 70,8 %. Bei einer Sanierungsquote von 2,5 % wäre ein Sektorziel von 72,6 % möglich.

Entscheidung über wirksame Maßnahmen und Instrumente zentrale – Schlussfolgerung wird im Folgenden näher erläutert.

Entwicklung des Endenergiebedarfs und der Emissionen im Trend

Abbildung 5 illustriert eine Fortschreibung der oben beschriebenen Trends aus dem Monitoringbericht zum IKSP (HMUKLV 2020a). Hier wurde das im Projekt genutzte Trendfortschreibungsverfahren (vgl. Kapitel 2) auf die Daten aus dem Monitoringbericht angewandt. Die Ergebnisse illustrieren, dass der Endenergieverbrauch bei Trendfortschreibung bis 2030 auf ca. 40 % des Wertes von 1990 sinken könnte.¹⁸

Abbildung 5: Fortschreibung der Daten aus dem Monitoringbericht zum hessischen IKSP (hier: Haushaltswärme-Endenergieverbrauch), (Index 2000 = 100)



Quelle: HMUKLV (2020a), eigene Berechnungen.

Der Monitoringbericht zum IKSP (HMUKLV 2020a) erwähnt, dass bereits im Koalitionsvertrag 2018 eine Verdopplung der Sanierungsrate bis 2025 als Ziel vereinbart wurde. Entsprechende Maßnahmen, die ergriffen wurden, haben sich im Trend bisher noch nicht niederschlagen können, so dass die Fortsetzung des Trends in der Energieeffizienz trotz der Stagnation zwischen 2015 und 2018 plausibel ist.

Nicht ganz so positiv sieht diese Entwicklung aus, wenn man das Basisjahr 1990 zugrunde legt. Eine Trendanalyse zwischen 1990 und 2006 ergäbe sogar einen Trend nach oben.

Abbildung 5 enthält ein Fortschreibungsszenario auf der Basis der Angaben zum Monitoringbericht des IKSP (HMUKLV 2020a). Die Trendfortschreibung enthält immanent eine Fortsetzung des Trends

¹⁸ Der CO₂-Ausstoß 1990 war fast gleich dem CO₂-Ausstoß von 2000.

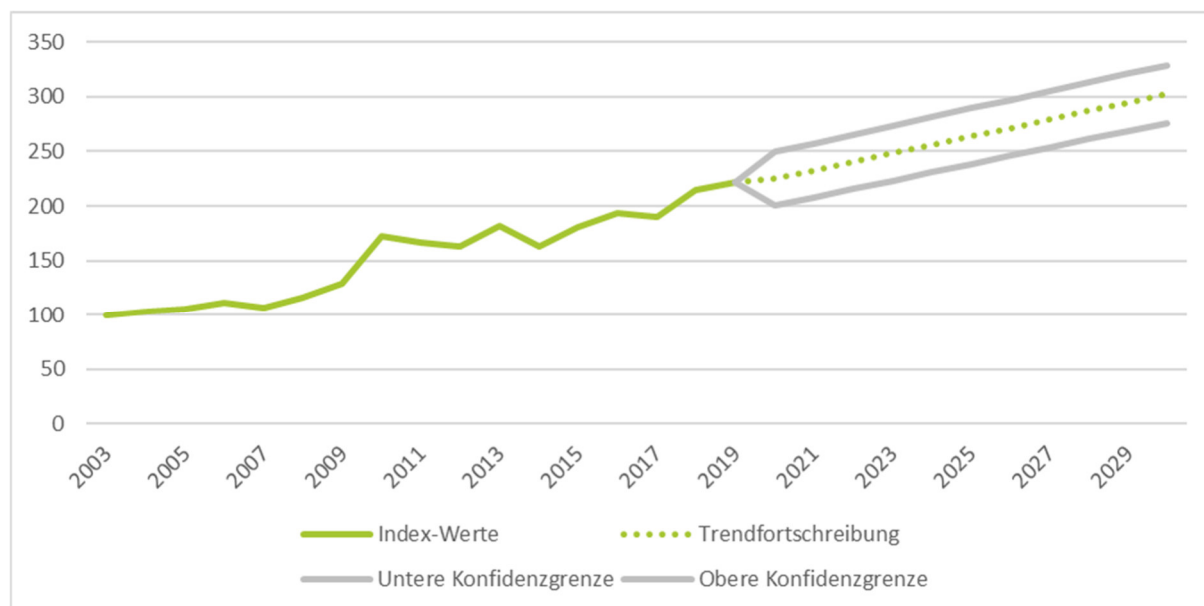
an der energetischen Sanierung von einem Prozent. In die Abbildung wurde ein zweites Szenario mit einer Modernisierungsquote aufgenommen, die ab 2024 sprunghaft auf zwei Prozent ansteigt, die also in Bezug auf die Modernisierungen ambitionierter wäre als der hessische Koalitionsvertrag, der ja einen graduellen Anstieg avisiert. In der wahrscheinlichsten Entwicklung in diesem Szenario würde der Energieverbrauch auf 53 % von 2000 reduziert, also 41,6 TWh.

Die Umrechnung in Treibhausgasemissionen benötigt eine Schätzung des dann vorhandenen Energieträgermixes. Grob abgeschätzt und unter Fortschreibung der aktuellen Trends¹⁹ werden im Jahr 2030 noch 26 % der Heizungen im Bestand auf Öl basieren und 49 % auf Erdgas. Das würde zu Treibhausgasemissionen von etwa sieben Megatonnen führen, also einer Minderung gegenüber 1990 von etwa 50 %.

Energieträgersubstitution

Auch im Bereich der Energieträgersubstitution – von fossilen Energieträgern durch Solarthermie, Geothermie, Bioenergie oder Strom – existiert eine gewisse Dynamik in Hessen. Während im Jahr 2005 erneuerbare Energien etwa 5,2 TWh Wärme bereitstellten, was einem Anteil von sechs Prozent entsprach, war dieser Anteil im Jahr 2017 auf 14 % gestiegen (HMUKLV 2020a). Mit dem im Rahmen dieser Analyse verwendeten Schätzverfahren ergibt sich, dass bei einer einfachen Trendfortschreibung bereits eine **Verdreifachung der auf Erneuerbaren basierenden Wärmenutzung** im Gebäudebestand zu verzeichnen sein wird (Abbildung 6).

Abbildung 6: Trendfortschreibung bei erneuerbarer Wärme in Haushalten (Index 2003 = 100)



Quelle: HMUKLV 2020a, eigene Berechnungen.

Die reine Trendfortschreibung entspricht also für die erneuerbare Wärme nur einer Erhöhung um 25 % zwischen 2019 und 2030. Eine Verdopplung der Nutzung erneuerbarer Wärme erfordert also einige Anstrengung, wird aber erleichtert durch die Entwicklungen in Bezug auf fossile Heizungen, da ab 2026 ein Verbot besteht neue Ölkessel einzubauen (BEHG, Ölheizungsverbot). In der Zukunft sollten zunehmend erneuerbare Energien und Wärmepumpen zum Einsatz kommen, auch wenn die gesetzlichen Rahmenbedingungen dies aktuell nicht fordern. Eine Verdreifachung der durch sie gelieferten Energie bis 2030 ist plausibel, insbesondere wenn zusätzlich zu den Bundesvorschriften

¹⁹ D.h. die Austauschrate von 2,8% und mit der Aufteilung der neuen Heizsysteme gemäß IWU (2018), allerdings ab 2026 ohne neue Ölheizungen.

und Bundesförderungen auch durch das Land Anreize oder gesetzliche Anforderungen in diese Richtung geschaffen werden.

Bereits ohne eine Erhöhung der Heizungsaustauschraten (heute liegt diese bei 2,8 % der Heizungssysteme in Hessen pro Jahr) würde der Heizungsaustausch durch erneuerbare Systeme allein (also ohne Berücksichtigung der Steigerung der Energieeffizienz durch die energetische Modernisierung) auf eine Einsparung von 48 % im Jahr 2030 gegenüber 1990 führen. Wenn diese Rate auf 4,2 % erhöht werden kann, würde die Einsparung an THG-Emissionen im Jahr 2030 auf 57 % gegenüber 1990 steigen. Wenn die Rate auf 4,6 % erhöht werden kann, würde die Einsparung an THG-Emissionen im Jahr 2030 auf 60 % gegenüber 1990 steigen.

Schätzung des kombinierten Effektes

Zusätzlich darf auch im restlichen Gebäudebestand die im Koalitionsvertrag angestrebte Sanierungsquote von zwei Prozent nicht vernachlässigt werden. Unter der – konservativen – Annahme, dass diese ab 2022 mit einer einprozentigen Reduktion des Endenergieverbrauchs einhergeht, kann mit dieser Kombination insgesamt ein Sektorziel von 70 % erreicht werden. Daher leistet die energetische Modernisierung ebenfalls einen wichtigen Beitrag, nicht zuletzt, um die wirtschaftliche Effizienz der Maßnahmen an den Gebäuden zu optimieren.

5.2.6 Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Haushalt, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und Handlungskompetenzen Hessens

5.2.6.1 Bisherige Maßnahmen

Maßnahmen auf Bundesebene

Die Bundesregierung setzt im Gebäudebereich auf einen Fünfklang von Instrumenten (BMW i 2015):

1. Informieren und beraten: z.B. Vor-Ort-Beratung, Energieberatung im Mittelstand und den Kommunen;
2. Fördern: z.B. CO₂-Gebäudesanierungsprogramm, KfW-Programme, Marktanzreizprogramme;
3. Fordern: z.B. Gebäudeenergiegesetz (GEG), das im November 2020 die Energiesparverordnung (EnEV), das Energieeinsparungsgesetz (EnEG) und das EEWärmeG abgelöst hat;
4. Forschung: z.B. Energieoptimiertes Bauen (EnOB), Wärme – Energieeffiziente Wärme- und Kältenetze (EnEff);
5. Preisliche Anreize: Verteuerung der Brennstoffe, z.B. durch die CO₂-Bepreisung von fossilen Brennstoffen im Rahmen des BEHG 2021 und der Energiesteuergesetzgebung insgesamt.

Das maßgebliche ordnungsrechtliche Instrument der Bundesregierung ist seit 2020 das GEG, das die Energieeffizienzstandards zusammenfasst. In der Energieeffizienzstrategie 2050 (Roadmap Energieeffizienz, BMW i 2021a) und dem KSP r 2030 formuliert die Bundesregierung Strategien, die z.B. investive Maßnahmen des Bundes, insbesondere steuerliche Förderungen von energetischen Sanierungen, Förderungen durch die KfW und das BAFA über die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) sowie Austauschprämien für alte Öl- und Gasheizungen enthalten.

Das GEG macht grundsätzlich erforderlich, dass Öl- und Gasheizungen, die über 30 Jahre alt sind, ausgetauscht werden. Laut Bundesgesetzgebung dürfen dafür zwar bis 2026 auch noch Ölheizungen benutzt werden. Das sollte aber vermieden werden, wenn die Klimaziele erreicht werden sollen. Auch aus Verbraucherschutzsicht ist die Vermeidung neuer Ölheizungen wichtig. Für Verbraucher, die heute noch in Ölheizungen investieren, würde dies einen sehr kontraproduktiven und kostenträchtigen

Lock-in bedeuten. Denn bereits im Jahr 2026 müssten ca. 500 EUR an CO₂-Kosten für einen Beispieltank mit 3.000 Liter Heizöl bezahlt werden. Aus Verbraucherschutzsicht wäre also eine Betonung der Energieträgersubstitution auf erneuerbare Lösungen (die nicht von steigenden CO₂-Preisen betroffen sind) sinnvoll. Nach § 56 GEG sind die Länder explizit befugt, eine Pflicht zur Nutzung von erneuerbaren Energien für nicht-öffentliche Gebäude zu erlassen.

Das vom Bundestag beschlossene Sofortprogramm 2021 plant die Energieeffizienzstandards zu verschärfen und stockt die Fördermittel für effiziente Gebäude um 5,5 Milliarden Euro auf (Bundesförderung energieeffiziente Gebäude: 4,5 Milliarden Euro und klimagerechter sozialer Wohnungsbau eine Milliarde Euro) (Bundesministerium der Finanzen [BMF] 2021). Förderfähig sind neben energetischen Gebäudemodernisierungen (auch durch Abschreibungen) und der Energieberatung auch die Erneuerung von Heizungsanlagen für höhere Effizienz. Ab 2023 werden keine Heizungssysteme mehr gefördert, die fossile Energien einsetzen, bis dahin allerdings durchaus noch (in der Form von Gashybridheizungen). Neue Ölheizungen dürfen noch bis 2026 standardmäßig eingebaut werden, danach immer noch unter bestimmten Bedingungen (vgl. § 72(4) GEG). Das Sofortprogramm 2021 enthält nach dem aktuellen Stand der Kenntnisse auch keine Planungen zur Änderung des GEG in Bezug auf die Solarpflicht oder den Individuellen Sanierungsfahrplan (Deneff, mdl. Mitteilung, 8.7.2021).

Maßnahmen auf Landesebene

Die Maßnahmen des IKSP 2025 kombinieren informative Instrumente mit Instrumenten zur Verbesserung der Kapitalverfügbarkeit. Dabei sollen zum einen Beratungsangebote regional stärker verankert werden, zum anderen Finanzierungshemmnisse durch Contracting und Förderung überwunden werden. Modell- und Leuchtturmprojekte sollen Sichtbarkeit für die erfolgreiche Umsetzung von Maßnahmen erzeugen (HMUKLV 2017). Viele Programme sind bei der LEA angesiedelt. Sie informiert auch über Förderungen des Bundes bei KfW und BAFA (vgl. z.B. LEA 2021b).

Im Bereich der **Haushalte** arbeitete das Land an Zielvereinbarungen mit privatwirtschaftlichen Wohnungsunternehmen, denen ca. zehn Prozent der hessischen Wohnungen gehören. Zusätzlich investiert Hessen in verschiedene Informations- und Beratungskampagnen zum Thema Energieeffizienz. Dazu gehört die „Aufsuchende Energieberatung“ im Rahmen eines Sonderprogrammes für Eigenheime. Die BEG wird seit 09.02.2021 aus Landesmitteln für bestimmte Energieeffizienzmaßnahmen in Eigenheimen so weit aufgestockt, dass sich eine 50 %-Förderquote für Energieeffizienzmaßnahmen ergibt.

Im **GHD**-Bereich ist insbesondere die Hessische Initiative für Energieberatung im Mittelstand zu nennen, die Unternehmen bei der Identifikation von Effizienz- und Einspar-Potenzialen z.B. im Wärmebereich hilft. Das PIUS-Programm zum produktionsintegrierten Umweltschutz fördert Veränderungen an Produktionsprozessen, die Energie und Treibhausgasemissionen einsparen. In beiden Feldern geht es jedoch um Energieeffizienz allgemein, die sich auf die direkten Emissionen nur in den Bereichen auswirkt, in denen Brennstoffe direkt verbrannt werden.

Zu erwartender Effekt der bisherigen Maßnahmen auf Bundes- und Landesebene

Die Regierungen auf Landes- und Bundesebene verfolgen bisher die gleiche Strategie und streben eine Erhöhung der Quote der energetischen Modernisierung von Wohngebäuden auf zwei Prozent pro Jahr an. Diese kann nur mit einer weiteren Verbesserung des GEGs, die auch vom Bundesland Hessen bereits als Teil seiner Strategie unterstützt wird, gelingen.

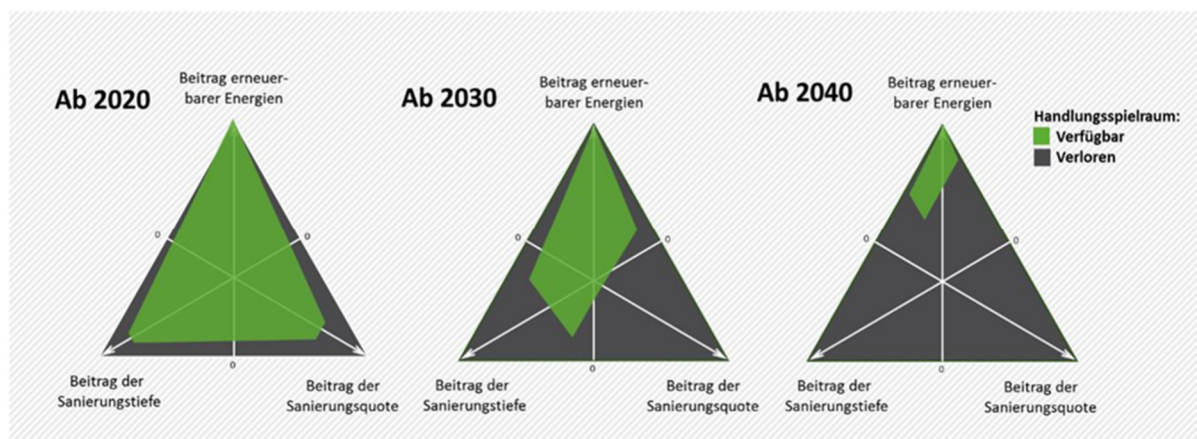
Eine weitere effektive Maßnahme der Bundesebene ist das Verbot des Einbaus neuer Ölheizungen ab 2026. Wie eine grobe Überschlagsrechnung gezeigt hat, werden diese beiden Maßnahmen zu einer Emissionsreduktion in Hessen von 50 % bzw. etwa sieben Megatonnen CO₂ gegenüber 1990 führen.

5.2.6.2 Handlungsmöglichkeiten Hessens

Zur Gebäudeenergieeffizienz werden wesentliche regulatorischen Standards auf Bundes- sowie EU-Ebene gesetzt, insbesondere im Gebäudeenergiegesetz (GEG 2020). Auch im investiven Bereich ist der Bund umfassend aktiv. Auf Landesebene können jedoch zusätzlich zahlreiche Maßnahmen zur Unterstützung und Verstärkung der Bundesmaßnahmen ergriffen werden. Dies bezieht sich insbesondere auf die Erleichterung des Zugangs zu Förderungen und einer eventuellen Aufstockung sowie einen umfassenden Ansatz der breitflächigen Verbreitung von Informationen zur Notwendigkeit und Finanzierung von Maßnahmen zur Minderung des THG-Ausstoßes in Gebäuden. Des Weiteren kann das Land auch administrative Prozesse z.B. auf der Ebene der Kommunen unterstützen und die einschlägigen Ermächtigungsklauseln des GEG ausnutzen. Die wichtigste und für die Zielerreichung in Hessen relevanteste davon befugt in § 56 GEG die Länder explizit dazu, eine Pflicht zur Nutzung von erneuerbaren Energien für nicht-öffentliche Gebäude zu erlassen.

Im Sektor Haushalte, GHD werden die Maßnahmen oft unter der Maßgabe „Efficiency First“ auf die Reduktion des Energieverbrauches – der Energieeffizienzsanierung, der Sanierungstiefe und der Sanierungsquote fokussiert. Diese werden im Gebäudesektor als wichtige Instrumente gesehen, die heute umgesetzt werden müssen. Die Stimmen häufen sich jedoch, die eine Änderung dieser reinen Fokussierung auf Effizienzmaßnahmen fordern. So thematisiert z.B. UBA (2019), dass der Lösungsraum sich bei höherer Dringlichkeit immer stärker auf die Substitution verengt, bzw. dass Heizungstausch oft die letzte Option ist, um den Gebäudebestand klimaneutral zu gestalten (Abbildung 7). Auch Unnerstall (2021a und 2021b) stellen fest, dass die Substitution fossiler Brennstoffe mit erneuerbaren Energieträgern auch ohne Effizienzoptimierung der gangbarste und effizienteste Weg für die Erreichung ambitionierter Klimaziele ist. Das Wuppertal Institut (WI) (2020) diskutiert in seiner Studie für Fridays for Future sehr klar, dass für ein früheres Null-Emissionsszenario als 2050 (in dem konkreten Fall 2035) Sanierung und Austausch der Heizsysteme zu gleich aggressiven Anteilen umgesetzt werden müssen. Zwar ist der Zielpfad für Hessen aktuell vorsichtiger, aufgrund des großen Rückstandes kann die Empfehlung jedoch analog angewandt werden. Wie bereits erwähnt, ist das auch die Schlussfolgerung der Autoren der Studie IWU (2018), die auf der Basis einer sehr detaillierten Analyse ergeht.

Abbildung 7: Lösungsraum für einen treibhausgasneutralen Gebäudebestand in 2050



Quelle: UBA (2019), Abdruck mit freundlicher Genehmigung des UBA, alle Rechte vorbehalten.

Die bereits vorhandenen Maßnahmen sollten jedoch weiter vorangetrieben und ggf. verschärft werden. Denn um die Zielmarke von zwei Prozent pro Jahr zu erreichen, muss gegenüber dem heutigen Stand eine Verdoppelung der Sanierungsrate erfolgen. Selbst mit einer Verstärkung der bestehenden Maßnahmen scheint dieses Ziel nicht erreichbar. Die Erhöhung der Sanierungsquote stößt an eine Vielzahl von praktischen Problemen, die von der Finanzierung (und damit z.B. dem Mieter-/Vermieterdilemma) über den Unwillen der Bewohner*innen, umfassende und lange andauernde Sanierungsmaßnahmen zu akzeptieren, bis zum Mangel an geschultem

Sanierungspersonal reichen. Zudem würde die Sanierungsquote von zwei Prozent wie oben ausgeführt und ohne eine Änderung der Trends bei den Heizungssystemen nach wie vor nur eine THG-Emissionsminderung von 50 % gegenüber 1990 erzielen.

Daher müssen neben den bestehenden Sanierungsunterstützungsmaßnahmen zusätzlich dezidierte Maßnahmen zur Umstellung auf erneuerbare Energien verstärkt umgesetzt werden. Dies verkennt nicht, dass in der Gesamtbetrachtung eine Umstellung der Wärmezufuhr auf erneuerbare Energien idealtypisch mit der Vollsanierung Hand in Hand gehen sollte, berücksichtigt jedoch die realistischen Handlungs- und Mobilisierungsoptionen.

Daher ist die wichtigste Stellschraube für die Reduktion von THG-Emissionen bis 2030 die Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien. Dies gilt insbesondere, da in Hessen der Bestand an Ölheizungen noch deutlich über dem Bundesdurchschnitt liegt (33 % statt 27 % über alle Gebäude, 35,8 % statt 29,5 % bei Einfamilienhäusern, und — besonders eklatant — im Altbau bis Baujahr 1978 38,8 % in Hessen gegenüber 31,2 % in ganz Deutschland). Zudem erfolgt der Austausch sehr oft noch mit einer neuen Öl- oder Gasheizung – nach IWU 2018 wurden im Altbau in der Periode 2010-2016 fast 30 % der Heizungen mit neuen Ölheizungen ersetzt. Hier muss das Land eine neue Richtung hin zu erneuerbaren Energien vorgeben und auf verschiedensten Ebenen tätig werden.

Erneuerbare Wärme allgemein

Die Strategie des Landes basiert aktuell auf der energetischen Modernisierung. Wie die Abhandlungen der vorliegenden Studie gezeigt haben, wird dies – aus Sicht der Studienautor*innen – nicht ausreichen. Der Ersatz von fossilen Heizungssystemen durch erneuerbare oder strombasierte Systeme muss entschieden und als Teil der Strategie vorangetrieben werden. Mit der aktuellen Austauschrate von 2,83 % wird statistisch in Hessen fast jedes Heizungssystem bis 2050 noch genau einmal ausgetauscht werden. Bereits heute dürften zur Erreichung des Ziels des Pariser Abkommens keine fossilen Heizungen mehr eingebaut werden, denn die typische Lebensdauer eines solchen Kessels ist 30 Jahre. Eine solche Investition heute kann also bereits nicht mehr über ihre volle technische Lebensdauer benutzt werden, wenn das Pariser Ziel eingehalten werden soll. Das Land Hessen kann hier zum Beispiel folgende Maßnahmen ergreifen:

- Einführung einer Pflicht zur Nutzung erneuerbarer Wärme unter Ausnutzung der Öffnungsklausel des GEG, dessen § 56 eine explizite Abweichungsbefugnis für die Länder enthält, die erstens nicht nur erlaubt, „für bestehende öffentliche Gebäude, mit Ausnahme der öffentlichen Gebäude des Bundes, eigene Regelungen zur Erfüllung der Vorbildfunktion nach § 4 (zu) treffen und zu diesem Zweck von den Vorschriften“ des Gesetzesabschnittes abzuweichen, sondern auch zweitens „für bestehende Gebäude, die keine öffentlichen Gebäude sind, eine Pflicht zur Nutzung von erneuerbaren Energien“ festzulegen.
- Kommunale Wärmeplanung sollte verpflichtend gestellt werden (siehe Energiebereitstellungssektor). Quartiersansätze und Wärmekataster sowie eine planmäßige und strukturierte Beteiligungsarbeit sind fundamental wichtig, wenn es darum geht, alte und potenzielle Fernwärmennutzer im privaten und gewerblichen Bereich zu erreichen. Geförderte Positionen für Quartiersmanager können Stadtwerke und Kommunen bei der Planung, Bürgerbeteiligung und Umsetzung/Umgestaltung von CO₂-freien Wärmenetzen effektiv unterstützen. Ohne dezidierte Arbeitskraft wird diese Aufgabe kaum gelingen.

Neben den genannten Beispielen gibt es viele weitere Interventionsmöglichkeiten, die ebenfalls den Einsatz der erneuerbaren Energien steigern und den Einsatz der fossilen Energien effektiv reduzieren können.

Wärmenetze

Wärmenetze sind einer der effektivsten Wege und zugleich eine der schwersten Herausforderungen für die Dekarbonisierung des Energiebereitstellungs- sowie des Gebäudesektors in Hessen. Das Sektorziel für den Energiebereitstellungssektor bezieht hier bereits einen ambitionierten Ausbau in die Berechnungen ein. In dem Maß, in dem fossile thermische Großkraftwerke abgeschaltet werden, und in dem Maß, in dem alte Hochtemperaturwärmenetze auf moderne Netze (z.B. sogenannte Wärmenetze „4.0“) umgestellt werden, kann auch der Gebäudebereich in die Dekarbonisierung integriert werden. Oft stellen erneuerbare Wärmenetze auch eine wichtige Möglichkeit zur Umstellung von fossilen Einzelhausheizungen dar, auch im ländlichen Raum. Denn oft fehlt in Mehrfamilienhäusern oder Einfamilienhaussiedlungen der nötige Raum für Erdsonden, Wärme- oder Pellettspeicher, aber in vielen Fällen stehen auch Abwärmequellen zur Verfügung, u.a. von Biogasanlagen oder Handwerks- und Industriebetrieben. In diesen Fällen können Nahwärmenetze und zentrale Wärmespeicher eine sinnvolle Lösung sein. Hier ist jedoch signifikanter Unterstützungsbedarf durch die Verwaltung notwendig:

- Die massive Förderung der Umstrukturierung des existierenden Fernwärmesektors hin zu einem modernen, CO₂-frei betreibbaren und erneuerbaren-betonenden Betrieb ist notwendig. Dazu muss das Land passgenau Förderprogramme gestalten, die die Bundesförderung für Hessen möglichst optimal nutzbar machen.
- Der Ausbau neuer Systeme muss insbesondere auch im ländlichen Raum, zum Beispiel mit Biogas oder solaren Nahwärmenetzen vorstattengehen. Die existierenden Nahwärmenetze in Dörfern sind meist durch private Initiative bzw. indirekt durch EEG und Marktanreizprogramme entstanden. Hier kann ein systematischerer Ansatz mit einer konkreten, siedlungsscharfen Bestandsaufnahme und direkter Unterstützung der lokal verantwortlichen Kommunalpolitiker*innen bei der Umsetzungsplanung den Klimaschutz signifikant befördern.
- Neue Siedlungsgebiete sollten vorzugsweise mit erneuerbaren Wärmenetzen integriert geplant werden, so dass die entsprechenden benötigten Infrastrukturen bereits in die Flächenausweisung mit einbezogen werden. Auch Abwärmequellen sind in die Planung mit einzubeziehen. Hier muss die Landesbauordnung entsprechend geändert werden.

Energieträgersubstitution in der Versorgung von Einzelgebäuden

Mindestens ebenso wichtig für die Erreichung der THG-Minderungsziele ist eine verstärkte Kraftanstrengung im Bereich des Austauschs von individuellen Heizungen hin zur Nutzung von erneuerbaren Energien. Hier können Maßnahmen wie eine Form der ordnungspolitischen Umsetzung ebenso wie eine verstärkte Informationskampagne landespolitische Hebel darstellen.

Das Bundesrecht verbietet den Einbau von Ölheizungen ab dem Jahr 2026. Bestehende Ölheizungen mit einem Alter von 30 Jahren und mehr müssen verpflichtend ausgetauscht werden. Öl-Hybrid- und Gasheizungen sind von dem Verbot nicht erfasst und werden zum Teil (Gas-Hybrid-Heizungen) sogar gefördert. Der Einbau solcher „Übergangstechnologien“ im Kontext von langfristigen Investitionszyklen wie dem Heizungswechsel führt zu volkswirtschaftlichen „Sunk Investments“, da die Heizungen vor Ablauf ihres Investitionszyklus erneut ausgetauscht werden müssen, um strengere THG-Reduktionsziele zu erreichen. Auf der anderen Seite führen sie zu Lock-in-Effekten, die eine Umstellung auf Erneuerbare weiter hemmen. Das heißt die Förderung solcher „Übergangstechnologien“ bei langen Investitionszyklen mit einer starken Hemmung der Akteure zum Tätigwerden, wie sie im Wärme- und Sanierungsbereich zu beobachten ist, führen zu doppelt nachteiligen Effekten. Eine stärkere Steuerung hin zu der direkten Umstellung auf Heizformen mit erneuerbaren Energien, ist hier ein Hebel der im landespolitischen Kompetenzrahmen, der zumindest über investive Maßnahmen wahrgenommen werden kann.

- Eine ordnungspolitische Vorschrift zur Auswahl der möglichen technischen Optionen bei einem Ersatz des Heizungssystems in Form einer Positiv- oder Negativliste könnte nach juristischer Prüfung in bestimmten Formen möglich sein. Mit Inkrafttreten des GEG entfielen zwar die breiten Länderöffnungsklauseln, es bleibt jedoch eine Ermächtigungsgrundlage der Länder bestehen, einen verpflichtenden Einsatz von Erneuerbaren Energien beim Heizungstausch zu normieren.
- Dies sollte auch für den Bereich GHD umgesetzt werden. Hier spielt die Ölheizung zwar eine untergeordnete Rolle, aber die Umstellung auf erneuerbare Energien ist auch in diesem Sektor noch nicht ausgereizt. Insbesondere sollte hier auch eine Verbindung mit dem Ausbau erneuerbarer Stromversorgung und massiver Selbstversorgung propagiert werden.
- Verpflichtung zur Erstellung eines individuellen Modernisierungsfahrplans, der die Erneuerung und Umstellung der Heizungsanlage einbezieht. Er sollte für die Erlangung von Baugenehmigungen und Krediten bei jeder größeren Umbaumaßnahme als verpflichtende Voraussetzung notwendig bzw. seine Vorlage von den Genehmigungsbehörden bzw. Banken verlangt werden. Der individuelle Modernisierungsfahrplan sollte bei Erwägung einer fossilen Heizung klar die steigenden Kosten für Emissionen nach dem BEHG sowie nach den vom UBA errechneten Schattenkosten für Emissionen ausweisen, um der Entscheidung eine einzel- und volkswirtschaftlich rationale Basis zu geben. Falls kein vollständiger rechtlicher Ausschluss möglich ist, muss der Hausbesitzer*innen unterschreiben, dass er die zukünftigen Kosten kennt und dennoch in eine fossile Heizung investiert.
- Ordnungsrechtliche Bedingungen und Fördermaßnahmen sollten zudem so gestaltet werden, dass Anschlussmöglichkeiten an erneuerbare Nah- und Fernwärmeversorgung auch genutzt werden müssen.

Beratung und Marktentwicklung

Branchenkennner*innen beobachten, dass die Entscheidungen von Hausbesitzer*innen in besonderem Maße von Handwerker*innen beeinflusst werden und diese oft eine Präferenz für Gasheizungen haben. Der direkte Austausch ist der am wenigsten „invasive“ Eingriff, bei dem neben einem Kostenargument (das durch Förderung reduziert wird) auch deutlich weniger Belastungen während der Bauzeit und geringere Veränderungen an der Gebäudeeinrichtung und -substanz (bis hin zum Austausch von Hochtemperaturradiatoren durch Niedertemperaturflächenheizungen oder zur Neuanlage von Gärten nach Erdsondenbohrungen) entstehen. Maßnahmen, die durch Information und Aufklärung einem Ersatz durch Gasheizungen entgegenwirken können, sind:

- Die Auswirkungen des BEHG auf die Kosten fossiler Heizenergie, insbesondere Öl, sind den Bürgern kaum bekannt. Sie müssen klar kommuniziert werden. Gerade weil das Land keinen Einfluss auf die Gestaltung der CO₂-Bepreisung hat, sollte es diese Aufklärungsfunktion als neutrale Instanz und im Sinne des Verbraucherschutzes unbedingt wahrnehmen, um die Wirkung der Bepreisung zu maximieren und die Investitionen in fossile Heizungssysteme und damit die Treibhausgasemissionen zu minimieren.
- Die bisher bereits geförderte aufsuchende Klimaschutzberatung (Kampagne Aufsuchende Energieberatung der LEA Hessen) sollte flächendeckend durch die Kommunen, gefördert vom Land, angeboten werden müssen.
- Das Land sollte den Kommunen ermöglichen, diese Initiative als Startschuss für die Einrichtung kommunaler Energieagenturen zu nutzen. Diese können durch die Verwaltung selbst initiiert werden, können aber auch mit kommunaler Unterstützung als Bürgervereine organisiert werden. Wichtig ist, dass sie über ausreichend Mittel verfügen, um die öffentliche Energieberatung flächendeckend und mit zufriedenstellender Frequenz auch im ländlichen Raum anbieten zu können.

- Die aktuell zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten zum Heizungswechsel hin zu erneuerbaren Energien sind oft verwirrend und stark auf den Einzelfall zuzuschneiden. Damit kommt der „Lieferkette“ eine besondere Bedeutung zu. Die Hersteller von Heizungstechnik sollten sich bemühen, bessere technische Lösungen und Lösungspakete zu entwickeln, die Hausbesitzer*innen und Handwerker*innen nicht überfordern. Hierfür kann die Landesregierung mit den in Hessen ansässigen Unternehmen in einen strategischen Innovationsdialog eintreten. Auch dieser Dialog darf nicht überfrachtet werden, und sollte sich nicht auf die Optimierung von Gesamtgebäuden, sondern nur von Heizungssystemen beziehen.

Verringerung des Endenergiebedarfs

Dreh- und Angelpunkt einer effizienten Sanierungspolitik ist der individuelle Modernisierungsfahrplan. Durch die hausspezifische, aber langfristige Betrachtungsweise hilft er, Lock-in Effekte und Fehlinvestitionen in Übergangslösungen sowie unnötige Treibhausgasemissionen zu vermeiden. Auf Bundesebene werden individuelle Sanierungsfahrpläne (iSFP) innerhalb des Förderprogramms der Energieberatung (BAFA-Vor-Ort-Beratung) als Ergebnis und Beratungsnachweis anerkannt und gefördert. Dieses Angebot hat jedoch bisher nicht zu dem notwendigen Impuls für eine großflächige Sanierungsbewegung geführt.

Eine Verpflichtung zu einem iSFPs (bzw. dem oben beschriebenen Modernisierungsfahrplan, der auch die Umstellung der Heizungsanlage auf erneuerbare Energien mit umfasst) für alle beheizten Immobilien könnte diesem Instrument eine bessere Durchschlagskraft geben. Hier wäre zu prüfen, ob eine diesbezügliche Pflicht ordnungsrechtlich durch das Land in einer Form umsetzbar wäre, obwohl der Bundesgesetzgeber von seiner Kompetenz im Rahmen der konkurrierenden Gesetzgebungskompetenz Gebrauch gemacht hat.

Da Sanierungen zeitlich langfristigen Intervallen unterliegen, ist ein Fokus der Instrumente auf die Sanierungstiefe neben der Sanierungsquote von Relevanz. Ziel der Sanierungen im Altbau sollte es grundsätzlich sein „nach Möglichkeit den Passivhausstandard oder mindestens alternativ den KfW55-Standard einzuhalten“ (WI 2020). Das ist aktuell nicht die bundesrechtliche Vorgabe, die meist nicht die Vollsanierung betrachtet, sondern zu priorisierende Maßnahmen am Gebäudebestand, wie insbesondere die Dämmung der Außenwand und den Fensteraustausch, und in geringerem Maße die Dämmung der Unter- und Obergeschosse und -geschossdecken. Im GEG besteht bisher eine Pflicht zur Dämmung von neuen Heizungs- und Warmwasserrohren in unbeheizten Räumen (§§ 69, 70, 71 Abs. 1 GEG). Bereits bis 2015 mussten oberste Geschossdecken gedämmt werden, wenn sie die Mindestanforderungen nicht erfüllen. Der Modernisierungsfahrplan kann größere Klarheit und Informiertheit bei der Priorisierung erreichen. Für die Klimaziele wichtiger als die Sanierungstiefe ist jedoch die Deckung des (stets verbleibenden) Restenergiebedarfes durch erneuerbare Energien.

Serielle „Modernisierung“ mit Fokus auf Heizungstausch

Sanierung ist nicht zuletzt teuer, weil jedes Objekt ein Sonderfall zu sein scheint. Die holländische Stiftung Energiesprong hat jedoch für den Gebäudebestand in den Niederlanden herausgefunden, dass die Variabilität de facto deutlich niedriger ist als erwartet. Durch Massenfertigung von Bauteilen, die bei der Sanierung zum Einsatz kommen können, können die Sanierungszeiten sowie -kosten deutlich reduziert werden.²⁰ In Deutschland wird diese Herangehensweise durch einzelne Pilotprojekte umgesetzt (dena 2020). Dieser Ansatz sollte durch erneuerbare Heizsysteme ergänzt und systematisch auf Hessen angewendet werden. Mögliche Unterstützungsmaßnahmen von der Landesebene könnten sein:

²⁰ Für mehr Informationen zu serieller Sanierung siehe dena (2021b).

- Eine systematische Expansion der seriellen Sanierung könnte zum Beispiel erreicht werden durch: 1) eine digitale Dokumentation des Gebäudebestands unter Zuhilfenahme von Fernerkundungsdaten, Grundbuchdaten, Wärmekameras etc., zumindest auf lokaler Ebene; 2) eine Entwicklung von Algorithmen zur Analyse von Märkten für serielle Sanierung, z.B. auf der Basis von individuellen Sanierungsfahrplänen, oder (in deren Abwesenheit) von den o.g. digitalen Dokumentationen; 3) eine Entwicklung von (holzbasieren) Einzelmodulen und Ansätzen zur Fertigung in mittleren und großen Mengen; und 4) schlussendlich deren Umsetzung.
- Hierfür könnten durch landesgeförderte Forschungsprojekte sowie ggf. Verbünde von mittelständischen Unternehmen (Heizungsanlagen- und Baukomponentenhersteller, Architekten, Ingenieurbüros, Holzbauunternehmen, Montageunternehmen) und die Umsetzungen eines solchen Ansatzes im Verwaltungsgebäudebestand oder Handreichungen mit großen Wohnungsbaugesellschaften signifikante Einsparpotenziale und Sanierungsgeschwindigkeiten erschlossen werden.
- Das Konzept muss schließlich durch eine öffentliche Kampagne breit bekannt gemacht werden.

Ausbildung

In Hessen wurden durch den IKSP bereits Schritte für die Ausbildung für sanierungsrelevante Berufe vorgenommen (HMUKLV 2015). Hier ist eine Verstärkung der Anstrengungen bei den Akteuren (u.a. Stuckateure, Fensterbauer, Dachdecker, Installateure, Schornsteinfeger usw.) notwendig, um den Anstieg der Sanierungen quantitativ meistern zu können und gleichzeitig die notwendige Qualität für die Erreichung der Sanierungsquote zu erzielen (Öko-Institut 2018).

- Möglich wären hier insbesondere erhöhte Investitionen „in Ausbildung und Qualifizierung des Handwerks [...], um zu erwartende Kapazitätsengpässe zu vermeiden“ (WI 2020).
- Die Lehr- und Ausbildungs- sowie Prüfungsordnungen müssen alle Aspekte der erneuerbaren und CO₂-freien Wärmeversorgung enthalten. Fossile Technologien können depriorisiert werden. Da erneuerbare Energien oft gewerkeübergreifende Relevanz haben, müssen hier u.U. verschiedene Kammern unter der Moderation der Landesregierung zusammenarbeiten.
- Zusätzlich sind Informationskampagnen möglich, welche Jugendlichen diese Berufe nahebringen sowie zum gesellschaftlichen Ansehen des Berufsfeldes beitragen (ifeu et al. 2018).

5.3 Verkehr

5.3.1 Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU , Bundes und Landesebene

EU-Ebene

Die EU hat sich in einem Weißbuch zum Verkehr 2011 (EK 2011) ein Minderungsziel von 20 % für den Zeitraum zwischen 2008 und 2030 gesetzt. Bereits hier wurde u.a. beschlossen, die Nutzung von mit konventionellen Kraftstoffen betriebenen Pkw im Stadtverkehr gegenüber 1990 zu halbieren, in größeren Städten eine im Wesentlichen CO₂-freie Stadtlogistik zu schaffen, eine Verlagerung des Straßengüterverkehrs auf Schienen- oder Schiffsverkehr von 30 % und die Länge des gesamten Schienennetzes zu verdreifachen.

Nach der Weltklimakonferenz (Conference of the Parties, COP 21) in Paris wurden diese Ziele insbesondere im Rahmen des europäischen Green Deals angepasst. Ziel ist es nun, die verkehrsbedingten THG-Emissionen bis 2050 um 90 % gegenüber 1990 zu verringern. In der „Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität“ (EK 2020b) werden folgende Zwischenziele für 2030 genannt:

- Mindestens 30 Millionen emissionsfreie Pkw auf Europas Straßen,
- 100 europäische Städte sind klimaneutral,
- der Hochgeschwindigkeitsbahnverkehr hat sich europaweit verdoppelt,
- der Linienverkehr auf Strecken unter 500 km ist klimaneutral,
- die automatisierte Mobilität wird in großem Maßstab eingeführt,
- emissionsfreie Schiffe sind marktreif.

Bundesebene

Deutschland hat sich im Rahmen des KSG 2019 eine Minderung auf 95 Mt CO₂ für das Jahr 2030 gesetzt, was einer Minderung von 42 % gegenüber 1990 entspricht. Das KSPr 2030 definiert zu diesem Ziel Unterziele, insbesondere auch bezogen auf den Fahrzeugbestand bzw. die Fahrleistung mit alternativen Antrieben. So sollen bereits 2030 50 % der Stadtbusse elektrisch fahren, und ein Drittel der Fahrleistung im Güterschwerlastverkehr soll elektrisch oder auf der Basis von CO₂-freien Kraftstoffen zurückgelegt werden. In der Änderung des KSG im Juni 2021 wurde das Minderungsziel auf 48,5 % erhöht. Das Emissionsziel wurde im KSG 2021 auf 85 Mt CO₂ verschärft, was einer Minderung von 48,2 % gegenüber 2030 entspricht. Diese Änderung konnte in der vorliegenden Studie nicht mehr berücksichtigt werden.

Eine wichtige Rolle bei der Zielerreichung spielt die Elektromobilität. Bis 2030 strebt das Verkehrsministerium sieben bis zehn Millionen E-Fahrzeuge an (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [BMVI] 2021a). Für den Ersatz fossiler Kraftstoffe durch Strom und der Markteinführung der Elektromobilität ist ein flächendeckendes Ladenetz notwendig. Ein konkretes Ziel in Form der Zahl von Ladepunkten verschiedener Art in Deutschland in 2030 wurde allerdings bisher nicht formuliert.²¹

In den nächsten Jahren werden in diesem Bereich sowohl die Ziele als auch die Maßnahmen nachgesteuert werden. Hessen sollte daher diese Zielsetzung regelmäßig überprüfen und ggf. auf geänderte Rahmenbedingungen des Bundes anpassen.

²¹ Vgl. Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur: <https://nationale-leitstelle.de/>

Hessen

Das Land Hessen hat es sich mit der „Hessenstrategie Mobilität 2035“ (Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung [HMWEVL] 2018) und den daraus entstandenen Maßnahmen im Paket „Mobiles Hessen 2030“ (HMWEVW 2021c) zum Ziel gesetzt, Vorreiter der Verkehrswende zu werden. Der Öffentliche Verkehr wird weiterentwickelt, zum Beispiel mit der Stärkung des Umweltverbundes (ÖV, Fuß und Fahrrad) durch Radabstellanlagen und Verbesserungen der Frequenz und Qualität der Verkehrsverbindungen.

5.3.2 Verkehr in Hessen

Beim **Personenverkehr** weist Hessen gemäß der Studie „Mobilität in Deutschland – Regionalbericht Hessen“ (BMVI 2020a), die auf Daten des Jahres 2017 beruht, eine ähnliche Struktur in Bezug auf die benutzten Verkehrsmittel auf wie Gesamtdeutschland. In beiden werden 57 % der Wege mit dem Auto zurückgelegt (43 % als Fahrer*in, 14 % als Mitfahrer*in). Öffentlicher Verkehr (ÖV) und Fußverkehr sind gegenüber dem Bundesdurchschnitt leicht erhöht, der Fahrradverkehr hat jedoch einen geringeren Anteil als deutschlandweit (acht Prozent gegenüber elf Prozent). Der Unterschied zwischen Metropolregionen und ländlichen Regionen ist jeweils deutlich stärker ausgeprägt als die Abweichung vom Bundesdurchschnitt. Gerade in ländlichen Regionen dominiert das Auto – weniger als sieben Prozent der Bewohner*innen kleinstädtischer und dörflicher Strukturen geben an, das Auto nie oder fast nie zu benutzen, 90 % nutzen es regelmäßig. Über 50 % nutzen nie den ÖV, fast 50 % nutzen nie das Fahrrad. Die Alltagsmobilität ist insgesamt in Hessen gegenüber dem Bundesdurchschnitt minimal erhöht, sowohl in Bezug auf die Tagesstrecke als auch auf die tägliche durchschnittliche Unterwegszeit, die Zahl der Wege und den Anteil mobiler Personen (BMVI 2020a).

Der nationale Flugverkehr macht in Hessen einen deutlich größeren Anteil am Energieverbrauch des Verkehrs aus als im Bundesmittel (UBA 2021a, LAK 2021). Der maßgebliche strukturelle Unterschied zwischen Hessen und dem deutschen Durchschnitt wird in besonderem Maße durch den Flughafen in Frankfurt erklärt. Frankfurt ist nicht nur der drittgrößte Flughafen der EU nach Passagieren, sondern auch der größte in Deutschland (Statista 2021a). Etwa ein Viertel der Fluggäste und Flugbewegungen sowie 43 % der Cargo-Tonnage der deutschen Hauptverkehrsflughäfen startet oder landet in Frankfurt am Main (BMVI 2020b).

Die Corona-Pandemie erzeugte bei der Personenmobilität eine Ausnahmeperiode. Es liegen noch keine statistischen Zahlenreihen vor, die diese Anomalität berücksichtigen. Der nationale Flugverkehr kam z.B. bisweilen vollständig zum Erliegen, auch die Passagierzahlen im Eisenbahnfernverkehr gingen signifikant zurück. Darüber, wie sich die Alltagsmobilität unabhängig vom benutzten Verkehrsmittel in der Zukunft entwickeln wird, kann man daher aktuell nur spekulieren. Es ist jedoch möglich, dass die vorpandemischen Niveaus nicht unbedingt sofort wieder erreicht werden, sondern dass auch dauerhafte Reduktionen etabliert werden können.

Auch die Auswirkungen auf den **Güterverkehr** sind aktuell nicht abschätzbar. Die Effekte werden hier eher indirekt sein: Während der Pandemie haben sich Frachtpreise vervielfacht, zum Beispiel, weil Zuladeraum in Passagiermaschinen nicht zur Verfügung stand. Damit hat die Pandemie möglicherweise einigen Unternehmen Anlass gegeben, ihre Zulieferketten umzustrukturieren. Aus diesen Gründen ist es möglich, dass sich nach der Pandemie auch andere Güterströme etablieren könnten und die Prognosen korrigiert werden müssen – aller Wahrscheinlichkeit nach unten. Generell ist Hessen ein Transitland für Güterverkehr. So zeigen z.B. die Daten der bundesdeutschen Mautstatistik, dass die Fahrleistung je Autobahnkilometer von mautpflichtigen Lastkraftwagen (Lkw) auf den Autobahnen Hessens um ca. ein Fünftel höher liegt als im bundesdeutschen Durchschnitt (zitiert nach HMWEVW 2020).

In die gleiche Richtung gehen die Bemühungen für die Förderung des Umweltverbundes durch die hessische Landesregierung. Bisher konnten sich derartige Bemühungen jedoch noch nicht in einer nachhaltigen Reduktion der Emissionen aus dem Verkehrssektor niederschlagen. In der

Vergangenheit wurden gerade im Verkehrsbereich die Effizienzgewinne an Fahrzeugen, durch eine höhere Verkehrsleistung im Personen- und Güterverkehr kompensiert, so dass die Energieverbräuche und Treibhausgasausstöße im langjährigen Mitteln in etwa konstant blieben.

In Bezug auf die Ladepunkte für Elektrofahrzeuge liegt Hessen mit 0,08 Ladepunkten pro Quadratkilometer auf Platz 7 im Ländervergleich (eMobilServer 2020); mit 1866 öffentlichen Ladepunkten auf Platz 5 (Statista 2020) und bei Schnellladepunkten auf Platz 12 (eMobilServer 2020).

5.3.3 Treibhausgasemissionen im Verkehr

Der Verkehrssektor in Hessen hat im Jahr 2018 rund 14 Mt CO₂ emittiert. Der Verkehr (ohne internationalen Luftverkehr) ist damit im Jahr 2018 für einen Anteil von 36 % an allen bilanzierten Treibhausgasemissionen in Hessen verantwortlich. Im Vergleich zu den Emissionen im Jahr 1990 von 14,4 Mt CO₂ ist bis 2018 nur eine Minderung von lediglich drei Prozent erreicht worden (LAK 2021).

Der überwiegende Teil der Emissionen, nämlich mehr als 13 Mt CO₂, wird durch den **Straßenverkehr** verursacht (LAK 2021). Der Anteil entspricht ca. 95 % an den Emissionen des Verkehrs. Davon stammen etwa 67 % aus Personen- und 33 % aus Güterverkehr (LAK 2021). Vergleicht man die Pro-Kopf-Emissionen im Straßenverkehr in Hessen mit dem deutschen Durchschnitt, so zeigt sich, dass sie in Hessen mit 2,1 Mt CO₂ pro Mio. Einwohner*innen etwa zehn Prozent höher liegen als im Bundesdurchschnitt (1,9 Mt CO₂ pro Mio. Einwohner*innen), u.a. wegen der Transitverkehre.

Aktuell sind in Hessen noch keine eindeutigen Trends bei den Emissionen im Straßenverkehr zu erkennen. In Bezug auf den Personenverkehr, stellt die Regionalauswertung Hessen der Studie „Mobilität in Deutschland“ (BMVI 2020a) seit 2002 eine leichte Erhöhung des Anteils des Öffentlichen Verkehrs und des Radverkehrs und eine leichte Abnahme des Mitfahrerverkehrs fest. Schreibt man die Trends im Straßenverkehr seit 1990 mit Hilfe des im Rahmen dieser Studie genutzten Trendfortschreibungsverfahrens fort, wäre allenfalls eine Minderung der Treibhausgasemissionen von weiteren sechs Prozent bis 2030 zu erwarten – allerdings bleibt im oberen Konfidenzbereich (Konfidenzniveau: 95 %) und ohne Corona-Effekt auch das Ausbleiben einer Veränderung und das Verharren auf dem Niveau von 2018 eine glaubhafte Entwicklung.

Ein anderer struktureller Unterschied zwischen Hessen und dem deutschen Durchschnitt liegt im **nationalen Luftverkehr**. Der Anteil des nationalen Luftverkehrs beträgt 4,5% an den hessischen Emissionen. Aufgrund der Hub-Funktion des Frankfurter Flughafens entsteht ein Drittel der Emissionen des nationalen Luftverkehrs in Hessen und dieser Subsektor emittiert in Hessen pro Kopf ungefähr dreimal mehr CO₂ (0,1 t CO₂ pro Einwohner*in) als im Bundesdurchschnitt (0,03 t CO₂ pro Einwohner*in). Die damit einhergehenden CO₂-Emissionen betragen in den fünf Jahren vor der Corona-Pandemie zwischen 628 kt CO₂ und 659 kt CO₂ (LAK 2021). Der internationale Luftverkehr emittiert mehr als das Zwanzigfache des nationalen Luftverkehrs, wird aber gemäß internationaler Konvention in der deutschen bzw. hessischen Treibhausgasbilanz nur nachrichtlich ausgewiesen und daher nicht in das hessische Sektorziel für den Verkehr mit einbezogen.

Der **Schienenverkehr** und die **Binnenschifffahrt** machen 0,5 % bzw. 0,3 % an den verkehrsbedingten Emissionen in Hessen aus. Beide unterliegen starken Trends nach unten.

5.3.4 Ableitung des Sektorziels Verkehr

Obwohl die Verkehrswende sehr stark von Entwicklungen auf Bundes- und EU-Ebene abhängig ist, hat Hessen direkte und indirekte Möglichkeiten zur Einflussnahme. Unter den aktuell herrschenden Rahmenbedingungen wird ein Minderungsziel von 34,4 % vorgeschlagen. Dieses wird nachfolgend hergeleitet.

5.3.4.1 Methodische Vorbemerkungen zur Statistik im Verkehrsbereich

Die Treibhausgasemissionsstatistik für den Sektor Verkehr in Hessen umfasst den Straßen- und Schienenverkehr, die Binnenschifffahrt und den nationalen Flugverkehr. Datengrundlage sind die Daten aus LAK (2021) (Stand vom März 2021) bzw. eigene Berechnungen auf Basis dieser Daten.

Eine Differenzierung zwischen Güter- und Personenverkehr ist auf der Basis der Treibhausgasberichterstattung oder Energieberichterstattung nicht möglich. Hierfür müssen andere Quellen herangezogen werden.

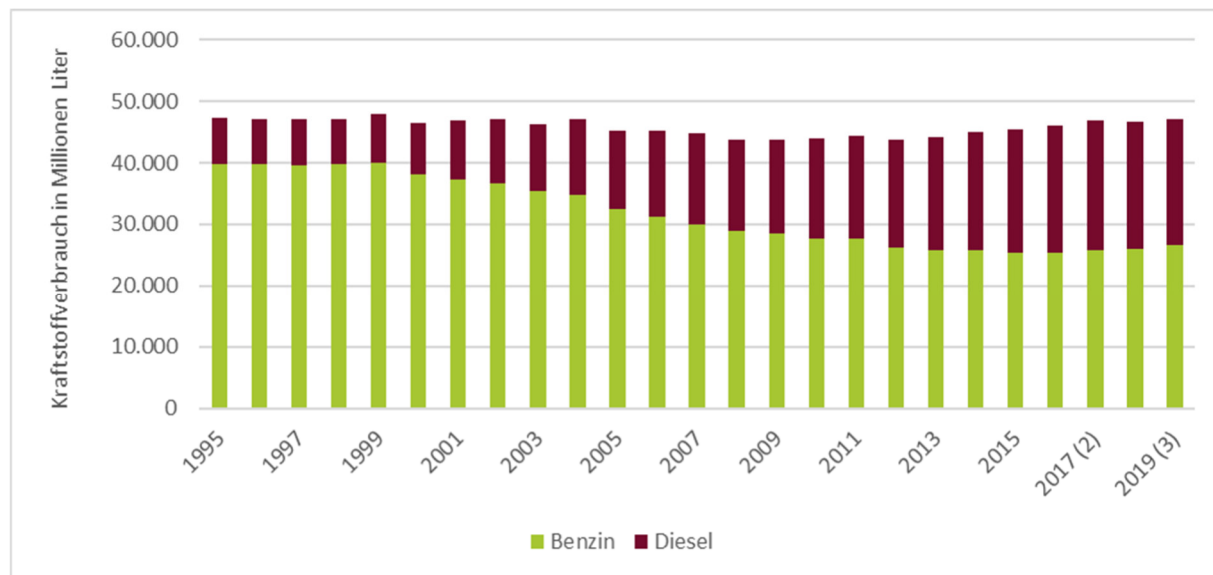
Noch ungeklärt ist, nach Meinung der Studienautor*innen jedoch wahrscheinlich, dass die Kohlendioxidemissionen aus synthetischem Diesel, Kerosin oder Benzin bilanziell nach wie vor zu Emissionen aus dem Verkehrssektor führen. Denn bei ihrer Verbrennung wird im Verkehrssektor CO₂ emittiert. Analog zum Biokraftstoffsektor könnten Emissionen aus synthetischen Kraftstoffen also unter Umständen Emissionen aus dem Verkehrssektor dann und nur dann mindern, wenn es sich nachweisbar um bilanziell klimaneutrale CO₂-Quellen handelt. Sollte es sich aber z.B. um Kohlenstoff aus industriellen Quellen, die im Endeffekt aus fossilen Rohstoffen stammen, handeln, würde dies vermutlich die Emissionen im Industriesektor mindern, aber im Verkehrssektor als Emission bilanziert werden, und somit nicht zum Sektorziel beitragen. Emissionen aus dem Energiebedarf für die synthetische Kraftstoffherstellung werden im Energiesektor verrechnet.

5.3.4.2 Annahmen und Analysen zur Herleitung des Sektorziels

Entwicklung des Verkehrsaufkommens und des Energieeffizienzniveaus von Kraftfahrzeugen

Wie aus UBA (2021b) hervorgeht, ist der bundesweite Kraftstoffverbrauch in der Größenordnung unverändert (Abbildung 8). Der Trend weg vom Ottokraftstoff hin zu Diesel hat sich in den letzten fünf Jahren abgeflacht, so dass bei beiden Kraftstofftypen nun ein Seitwärtstrend zu verzeichnen ist.

Abbildung 8: Kraftstoffverbrauch von Pkw und Kombi¹⁾ in Deutschland seit 1995



¹⁾ Berechnung auf Basis der Inländerfahrleistung (einschließlich Auslandsstrecken deutscher Kraftfahrzeuge (Kfz) und ohne Inlandsstrecken ausländischer Kfz) ²⁾ ab 2017 Neuberechnung der Fahrleistungs- und Verbrauchsrechnung ³⁾ zum Teil vorläufige Werte.

Quelle: UBA (2021b), eigene Darstellung.

Gemäß den Aussagen der Regionalauswertung Hessen zu „Mobilität in Deutschland 2017“ (BMVI 2020a) sind 27 % der Wege bzw. 38 % der gefahrenen Kilometer bedingt durch Pendeln zur Arbeit

oder Wege zu Dienststellen. Eine Reduktion dieser Wege um zehn Prozent durch eine Steigerung des Arbeitens von Zuhause würde das Verkehrsaufkommen quer über alle (Nah-)Verkehrsträger um etwa drei Prozent reduzieren. Die gleiche Studie weist darauf hin, dass über 70 % der Hess*innen Einkäufe mit dem Auto erledigen. Auch hier könnte eine Senkung durch einen möglichen Trend zum Online-Shopping eintreten. Kurzfristig hat die Pandemie im Jahr 2020 deutschlandweit zu einer Absenkung der Verkehrsemissionen geführt (BMU 2021a). Insgesamt könnten die Pandemie-Effekte möglicherweise die Alltagsmobilität dauerhaft um einige Prozent (z.B. bis zu fünf Prozent) gegenüber dem langfristigen Trend senken. Auf der anderen Seite ist im Jahr 2021 bereits wieder mit einem Anstieg der Verkehrsemissionen im Vergleich zum Vorjahr zu rechnen, sofern es nicht wieder zu erheblichen Pandemie-bedingten Einschränkungen kommt (Agora Energiewende 2021).

Falls die Fahrleistung stagnieren oder sinken sollte, wird der Treibhausgasausstoß deutlich überproportional sinken. Effizienztrends gibt es einerseits im Straßengüterverkehr - in den letzten beiden Jahren sanken laut Mautstatistik zum Beispiel die Emissionen pro kWh um 6,1 % bzw. 4,9 % pro Jahr (Bundesamt für Güterverkehr [BAG], 2020), andererseits erzwungen durch die CO₂-Flottengrenzwerte auf EU-Ebene bei Pkws und leichten Nutzfahrzeugen.

Verlagerung von Personen- und Güterverkehr auf umweltfreundliche Verkehrsträger

Die Nutzung des Umweltverbundes sowie der Multimodalität²² liegt in Hessen insgesamt etwas unter dem nationalen Durchschnitt. Deutschlandweit nutzen fünf Prozent der Personen im üblichen Wochenverlauf die Kombination Fahrrad und ÖV, in Hessen nur vier Prozent, und auch in den hessischen Ballungsräumen nur bis zu sechs Prozent (BMVI 2020a).

Hierfür sind oft infrastrukturelle Veränderungen notwendig, die nur langsam umgesetzt werden können. Einige, insbesondere die, die den Umweltverbund erleichtern (z.B. Fahrradabstellanlagen), haben aber das Potenzial, die Nutzung des Umweltverbundes auch kurzfristig zu erhöhen. Gerade in den Pendelverkehren können einige Autofahrten in der Zukunft wegfallen. Solche verhaltensbedingten Potenziale können die Zielerreichung unterstützen, bzw. ausgleichend für die Nichterreichung anderer Ziele wirken. Für die Ableitung des Sektorziels werden sie nicht mit einbezogen.

Übergang zur Nutzung von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen (PtX, e-fuels)

Eine Reihe an Initiativen in Hessen beschäftigt sich mit der Innovation und Umsetzung der Produktion von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen (Power-to-Liquid). So bestehen unter anderem Pilotanlagen auf dem Gelände des Industrieparks Höchst, die Wasserstoff erzeugen, mit dem u.a. Autos betankt werden. An diesem Standort erfolgte im Oktober 2020 auch der Spatenstich für den Bau einer Wasserstofftankstelle (geplante Fertigstellung: 2022) für Passagierzüge, die im Rhein-Main-Verkehrsverbund verkehren sollen (Alstom 2020). Ein weiteres Pilotvorhaben im Industriepark Höchst, jedoch im Bereich Power-to-Liquid, ist der Bau einer ersten PtL-Anlage, mit der ab 2022 pro Jahr bis zu 4,6 Mio. Liter solcher Kraftstoffe hergestellt werden sollen (Hessische Landesregierung 2021a).

Diese zukunftsweisenden Initiativen können in den 2030er Jahren helfen, die letzten fossilen Kraftstoffe im Schwerlastverkehr und im (internationalen) Luftverkehr zu substituieren.

Übergang zur Elektromobilität

Schneller wird eine andere Schlüsselmaßnahme zur Reduzierung der Straßenverkehrsemissionen wirken, nämlich die Elektrifizierung des Straßenverkehrs. 77 % der Hess*innen können sich vorstellen, im Jahre 2035 ein emissionsfreies Auto zu besitzen. Scania erwartet, dass bereits ab 2025 zehn

²² Multimodalität meint hier die Möglichkeit der Nutzung verschiedener Verkehrsmittel zum Transport von Personen und Gütern in einem bestimmten Zeitraum.

Prozent und 2030 50 % der verkauften Lkws batterieelektrisch betrieben werden (Scania 2021). Bei MAN/Traton soll bereits in vier Jahren jeder zweite verkaufte Bus elektrisch fahren (Dekra 2021). Der Bund möchte (s.o.), dass im Jahr 2030 ein Drittel der Fahrleistung im Schwerlastverkehr elektrisch oder auf der Basis von CO₂-freien Kraftstoffen erbracht wird. Um dies szenariotechnisch abzubilden, wird (im Einklang mit den aktuellen Trends) hierfür der elektrische Antrieb angenommen.

Der Bundestrend ist ermutigend. Die Bundesregierung hält zwar an der Absicht fest, bis 2030 sieben bis zehn Millionen Elektrofahrzeuge (Pkw) auf deutschen Straßen zu sehen, also etwa 20 %. Andere Studien prognostizieren aber schon bis zu 11,55 Millionen, bzw. einen Anteil von 24 % (Statista 2021b). Auf der anderen Seite sagt die jüngste Studie der Unternehmensberatung Deloitte (2020) unter dem Eindruck der Corona-Pandemie nur einen Absatz von 6,35 Millionen Fahrzeugen mit alternativen Antrieben voraus.

Allerdings verbreitert sich die Angebotspalette im Bereich der batterieelektrischen Fahrzeuge aktuell rapide, unter anderem aufgrund der CO₂-Flottenstandards. Diese fallen in den Kompetenzbereich der EU und wurden dort abschließend in der Verordnung (EU) 2019/631 geregelt. Im Dezember 2020 wurde bei den Pkw zum ersten Mal ein Zulassungsrekord von über 80.000 Fahrzeugen (Elektroautos mit Batterien und Plug-in Hybride) beobachtet, und Prognosen erwarteten die erste Million Elektroautos für August 2021 (NOW-GmbH 2021). Tatsächlich wurde diese Zielmarke bereits im Juli 2021 erreicht (BR 2021).

Für Hessen erscheint zudem ein günstigerer Verlauf als im Bund möglich. Denn Hessen hat die zweithöchsten Raten an Neuzulassungen im Verhältnis zum Kfz-Bestand aller Bundesländer (Tabelle 11). Während im nationalen Durchschnitt 2019 nur 7,3 % der Kfz neu zugelassen wurden, waren dies in Hessen 9,7 %. Deutlicher wird der Abstand noch bei Pkws mit 10,4 % statt 7,6 %, und bei Lkws mit 13 % im Vergleich zu 10,5 %. Ein Faktor könnten die zahlreichen Firmensitze und Flotten in Hessen sein. Dies erlaubt bei einem Hochlaufen der Elektromobilität eine schnellere Durchdringung mit Elektrofahrzeugen in Hessen als im Bundesdurchschnitt.

Tabelle 11: Zulassungsquoten und durchschnittliche Lebensdauer von Kfz, Pkw und Lkw im Vergleich zwischen Hessen und Deutschland

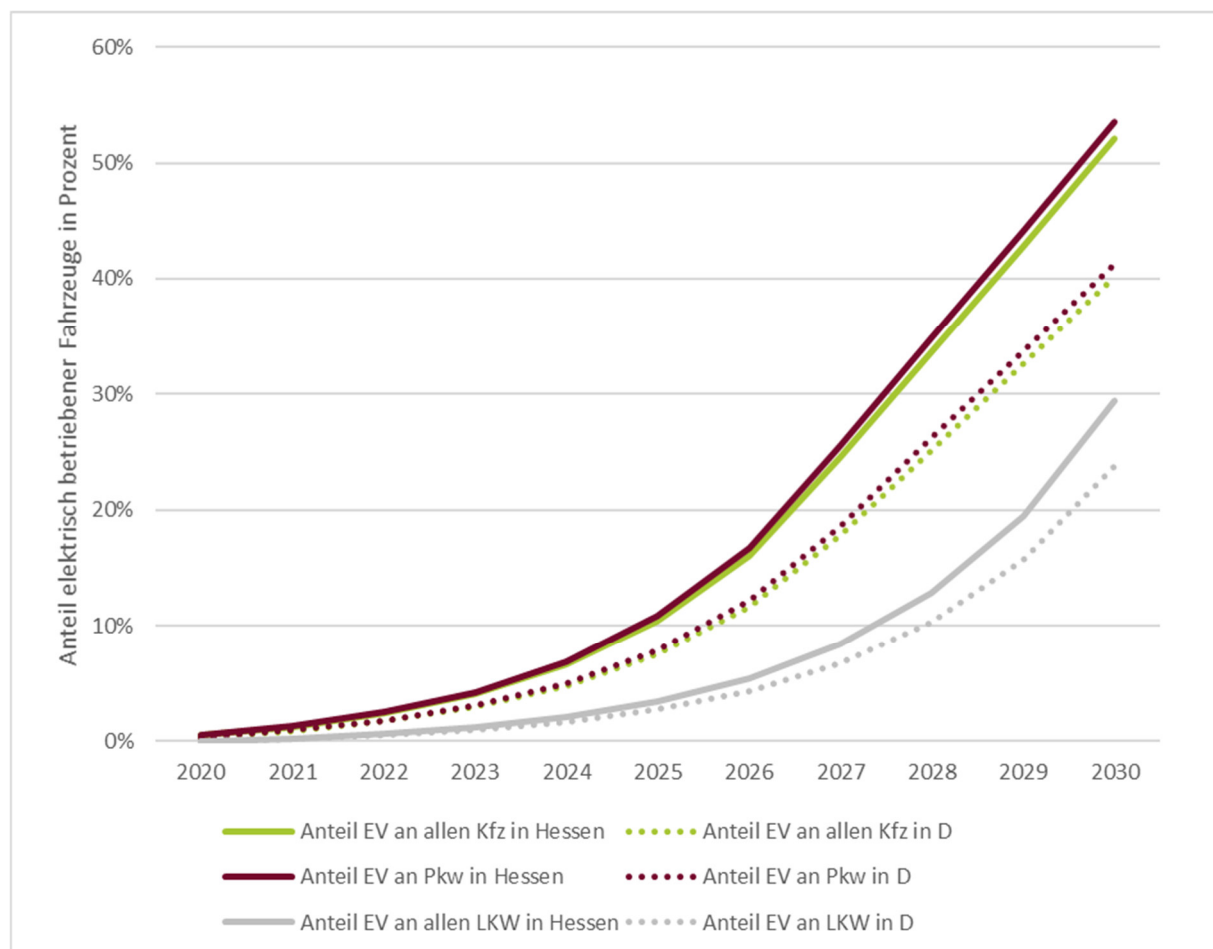
	Hessen		Bund	
	Zulassungsquote	Durchschnittliche Fahrzeugnutzungsdauer	Zulassungsquote	Durchschnittliche Fahrzeugnutzungsdauer
	in %	in Jahren ¹⁾	in %	in Jahren ¹⁾
alle Kfz	9,73%	10,3	7,28%	13,7
Pkw	10,35%	9,7	7,56%	13,2
Lkw	12,96%	7,7	10,49%	9,5

¹⁾ Annahme: konstanter Fahrzeugbestand.

Quelle: BMVI (2020b), Zulassungszahlen von 2019, Bestandszahlen zum 1.1.2020, eigene Darstellung.

Abbildung 9 verdeutlicht, wie schnell sich diese höheren Ersatzraten in Hessen in einer höheren Durchdringung von elektrischen Fahrzeugen – bei Annahme eines konstanten Fahrzeugbestandes und konstanten Ersatzraten – äußern werden. Hier wurde für den Pkw-Bestand die Annahme getroffen, dass im Jahre 2020 fünf Prozent der neu zugelassenen Autos elektrisch betrieben werden, und diese Rate sich jedes Jahr um 50 % steigert. Im Jahr 2025 werden auf dieser Basis 38 % der Neuzulassungen Elektroautos sein, aber bereits ab dem Jahre 2028 100 %. Damit wären im Jahre 2030 56,6 % der in Hessen zugelassenen Pkws Elektrofahrzeuge. Für die Lkws werden in etwa die oben angenommenen Verkaufszahlen von Scania zugrunde gelegt, die fast genau der Steigerungsrate von 50 % entsprechen, d.h. im Jahr 2025 sind fünf Prozent der neu zugelassenen Lkw elektrisch, im Jahr 2029 jeder zweite. Dann würden im Jahre 2030 schon 30 % der Lkws im hessischen Bestand elektrisch betrieben.

Abbildung 9: Anteil elektrisch betriebener Fahrzeuge am Fahrzeugbestand in Hessen



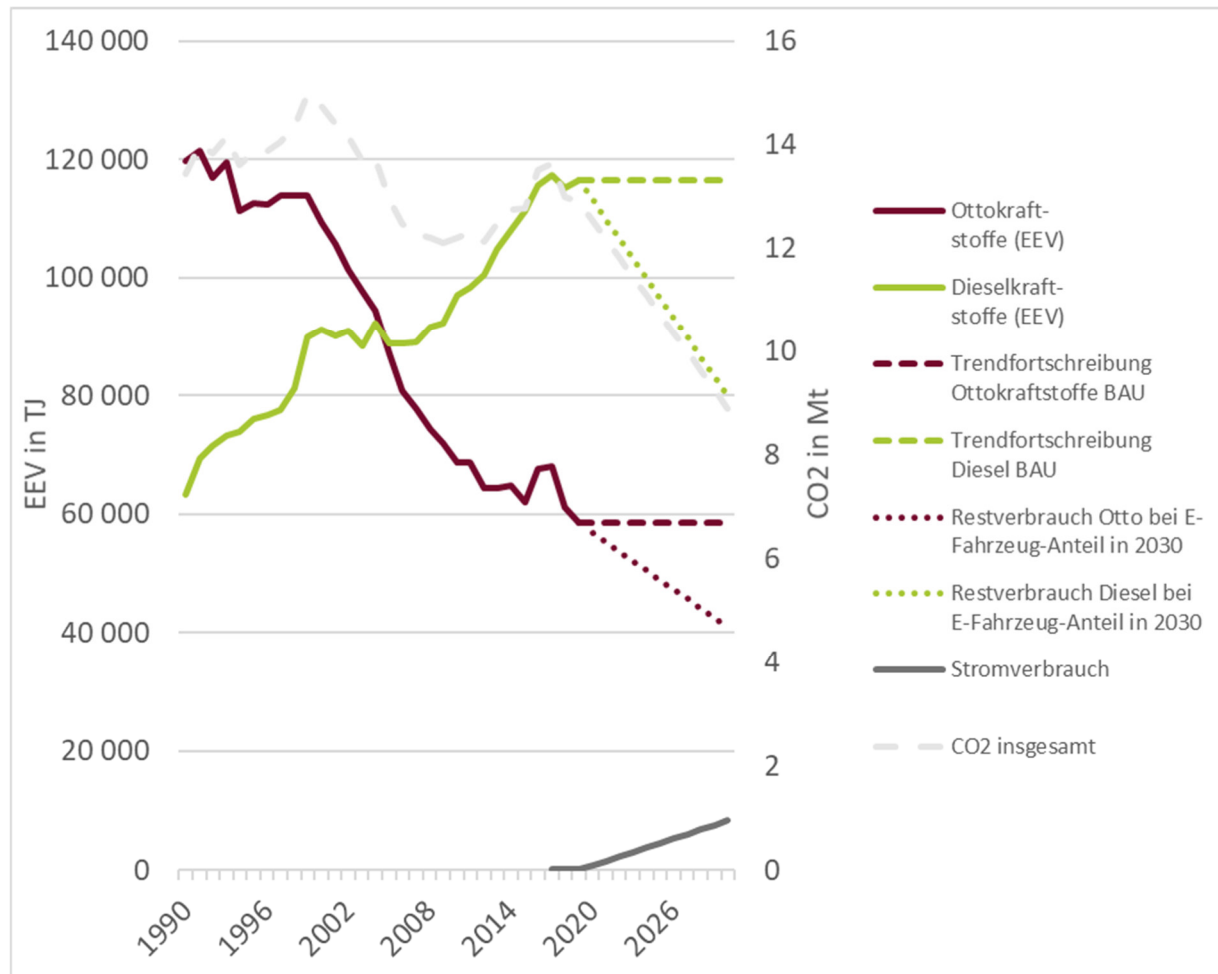
Quelle: BMVI 2020b, eigene Berechnungen.

Unter der Annahme, dass diese Elektrofahrzeuge plausibel 25 % der Fahrleistung entsprechender Diesel- oder Benzinfahrzeuge bei den Pkw und Kombi ersetzen, erzielt das eine THG-Reduktion von 27 % im Pkw- und Kombibereich deutschlandweit oder 38 % der Pkw-Emissionen in Hessen (Abbildung 10). Für den öffentlichen Personennahverkehr existiert z.B. im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 die Vorgabe, im Jahr 2030 bereits 50 % der Stadtbusse elektrisch zu betreiben (vgl. Maßnahme 3.4.3.2 im KSPr 2030).

Im Güterbereich ist es weniger leicht, hohe Reduktionen zu erzielen. Hier würde durch einen Ersatz von 14 % der Fahrleistung durch elektrische Lkws deutschlandweit die Emissionssteigerung gegenüber 1990 auf ungefähr das Doppelte limitiert. In Hessen würde ein Ersatz von 14 % der Fahrleistung von Lkws zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen aus dem Straßenverkehr insgesamt gegenüber 1990 von ca. 24 % bzw. 21 % gegenüber 2019 führen (es gilt weiter die Annahme, dass 25 % der Fahrleistung von Pkws elektrisch wären).

Wenn die Dynamik der Zulassungsstatistik aufrechterhalten werden kann, sind in Hessen Durchdringungsgrade für Pkw von 40-50 % durchaus plausibel. Unter der Annahme, dass 30 % der Pkw-Fahrleistung und 33 % der Lkw-Fahrleistung (Bundesziel) vermieden oder elektrisch zurückgelegt werden können und die Energieverbräuche insgesamt dem Trend folgen, reduziert sich der CO₂-Ausstoß des Straßenverkehrs im Jahr 2030 gegenüber 1990 um 4,5 Mt CO₂.

Abbildung 10: Trends im Endenergieverbrauch und der CO₂-Emissionsreduktion durch Elektrifizierung des Straßenverkehrs in Hessen



BAU = Business as Usual.

Quelle: Historische Daten: LAK (2021) und UBA (2021b), eigene Berechnungen.

Schienerverkehr

Eine reine Fortschreibung des aktuell bestehenden Emissionsreduktionstrends im **Schienerverkehr** führt zu einer Reduktion um 68 % zwischen 1990 und 2030. Sie stammen aus Diesel, der auf nicht-elektrifizierten Strecken genutzt werden muss, meist Nebenstrecken, die weniger dicht befahren sind. Durch verstärkte Maßnahmen bei der Streckenelektrifizierung und bei der Nutzung von alternativen Antrieben (z.B. Wasserstoff- oder Batteriezüge) kann davon ausgegangen werden, dass er sich im nächsten Jahrzehnt verstärkt und die Trendentwicklung von 68 % auf 90 % korrigiert werden kann.

Denn die hessische Landesregierung setzt aktuell bereits zahlreiche infrastrukturelle Maßnahmen zur Verlagerung des Verkehrs weg von der **Straße** um. Diese haben lange Vorlaufzeiten. So werden nach Auskunft des Hessischen Wirtschaftsministeriums zahlreiche Verkehrsinfrastrukturprojekte für Verkehrsverlagerung auf umweltfreundlichere Modi – insbesondere auf Schiene bzw. Fuß und Fahrrad – angestoßen und über das nächste Jahrzehnt umgesetzt. Für diese ist erst im Laufe des Jahrzehnts bis 2030 mit ersten Verbesserungen in der Verkehrsinfrastruktur (v.a. im Bereich des Schienenverkehrs) und darauffolgend mit einer verstärkten Verlagerung der entsprechenden Verkehre weg vom motorisierten Individualverkehr hin zu emissionsfreien bzw. –ärmeren Verkehrsarten zu rechnen.

Nach HWVEWV (2020b) gibt es in Hessen 2.600 km Schienenstrecken, von denen etwa 870 km noch nicht elektrifiziert sind. Von ihnen sollen mit den aktuellen Bemühungen der Regierung 600 km elektrifiziert werden (HWVEWV 2020b), womit im Endeffekt 90 % der Strecken in Hessen elektrifiziert sein werden. Zusammen mit dem gezielten Einsatz von batterieelektrischen und Wasserstoffzügen ist eine Senkung der Emissionen gegenüber 1990 um 90 % plausibel erreichbar.

5.3.4.3 Zusammenfassung zum Sektorziel Verkehr

Als Sektorziel für Hessen sollten die Emissionen im Verkehrsbereich **um fünf Megatonnen CO₂ bzw. 34,4 % gegenüber dem Niveau von 1990 reduziert werden**, um das Gesamtziel von 55 % der Emissionen von 1990 über alle Sektoren einzuhalten. Im Folgenden werden einige der diesem Sektorziel zugrundeliegenden Erwägungen beschrieben. Diese werden nach Verkehrsträger bzw. beim Straßenverkehr nach Personen- und Güterverkehr unterschieden. Tabelle 12 stellt die Entwicklungen der einzelnen Subsektoren zusammen, die sich zu dem Sektorziel von 34,4 % Minderung gegenüber 1990 addieren.

Tabelle 12: Anzustrebende Minderungen in den verschiedenen Subsektoren des Verkehrs

	Emission in 1990	Emission in 2019	Reduktion 1990 bis 2030	Rest in 2030	Minderung ggü 1990	Kommentare
	in kt CO ₂				in %	
Schiene	114	60	103	11	90,4%	Elektrifizierung oder H ₂ für den meisten Verkehr.
Straßenpersonenverkehr	10.442	8.630	4.401	6.041	42,1%	Elektrifizierung von Flotten und vielbenutzten Autos (schneller Hochlauf in Hessen).
Straßengüterverkehr	2.985	4.265	128	2.858	4,3%	Elektrifizierung oder Strombasierung von 30% der Fahrleistung (KSPR 2030).
inländischer Flugverkehr	712	638	194	518	27,3%	Trendfortschreibung.
Schifffahrt	190	51	139	51	73,2%	Trendfortschreibung hätte 0 ergeben.
Summe	14.443	13.644	4.965	9.478	34,4%	

Quelle: Historische Daten: LAK (2021), eigene Berechnungen.

Das Minderungsziel setzt auf den Initiativen des Bundes auf und trägt hessenspezifischen Faktoren in zweierlei Hinsicht Rechnung. Einerseits werden bereits viele Maßnahmen in Hessen vorangetrieben, die die infrastrukturellen Voraussetzungen für eine Verlagerung von **Straßenverkehr** von Gütern und Personen auf den treibhausgasfreien Fuß- und Radverkehr, die energieeffizientere Schiene oder treibhausgasneutrale Verkehrsträger schaffen sollen. Eine Elektrifizierungsstrategie erscheint besonders erfolgversprechend. Nicht eingerechnet, aber hoffentlich unterstützend wirksam, sind dauerhafte Verhaltensänderungen (z.B. bei Pendler*innen oder im Einkaufsverhalten), die unter Umständen von den Erfahrungen der Corona-Pandemie ausgelöst werden könnten.

In den Sektoren **inländischer Luftverkehr** und **Schienenverkehr** sowie in der Binnenschifffahrt bestehen bereits abnehmende Emissionstrends. In der Binnenschifffahrt ist dieser so stark, dass eine Trendfortschreibung zu einem Rückgang der Emissionen auf null geführt hätte. Hier wurde aber angenommen, dass die Emissionswerte auf dem heutigen Niveau stagnieren. Die Emissionen in diesem Teilbereich sind mit 0,3 % an den Verkehrsemissionen insgesamt sehr gering.

Für die Emissionen aus inländischen Flügen resultiert die Fortschreibung des Trends in einer CO₂-Minderung bis 2030 gegenüber 1990 um 27 %. Dazu käme das Ziel der Bundesregierung, im Jahr 2030 zwei Prozent des Energiebedarfes für Flüge mit synthetischen Kraftstoffen zu decken. Dieses kann sich jedoch nicht in ein Sektorziel übersetzen, da Emissionen in gleicher Höhe wie bei fossilen Kraftstoffen durch die Luftfahrt freigesetzt würden.

Wie oben beschrieben liegt der wichtigste Ansatzpunkt in der **Elektrifizierung des Straßenpersonenverkehrs**. Ein Szenario, in dem in Hessen 2030 30 % der fossilen Treibstoffe durch Strom ersetzt werden, würde im Straßenpersonenverkehr 42 % CO₂ gegenüber 1990 einsparen. Auf den gesamten Verkehrssektor bezogen hätte diese Maßnahme allein bereits einen Minderungseffekt von ca. 30 %.

Das KSPR 2030 der Bundesregierung sieht für den **Straßengüterverkehr** vor, im Jahr 2030 ein Drittel der Fahrleistung im Schwerlastverkehr elektrisch („oder mit synthetischen Kraftstoffen“) zu erbringen. Unter der Annahme, dass der Beitrag der synthetischen Kraftstoffe sich auf Wasserstoff beschränkt, könnten die Emissionen im Straßengüterverkehr damit um 33 % gegenüber 2018 gesenkt werden. Bei einem Bezug auf das Ausgangsjahr 1990 trägt diese ambitionierte Maßnahme, die auch für das Sektorziel für Hessen als Grundlage dient, allerdings nur eine Minderung von 4,3 % bei, da die Emissionen aus dem Straßengüterverkehr in den 1990er Jahren von knapp drei auf knapp fünf Megatonnen CO₂ angewachsen waren, und auch im Jahr 2019 noch auf einem Niveau deutlich über vier Megatonnen CO₂ verharrten.

5.3.5 Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Verkehr und Handlungskompetenzen Hessens

5.3.5.1 Maßnahmen und ihre Wirksamkeit

Wie die Herleitung des Sektorzieles zeigt, ist das entscheidende Handlungsfeld beim Klimaschutz im Verkehr der Antriebswechsel bei Pkw und Lkw. Das konvergiert mit anderen Studien, zum Beispiel der des Sachverständigenrats für Umweltfragen (SRU 2017). Dort werden auch der Ausbau des Umweltverbundes, Bus-, Rad- und Fußverkehrs, die Stärkung des Schienengüterverkehrs und der Binnenschifffahrt sowie die Digitalisierung des Verkehrs genannt.

Obwohl die Verkehrswende sehr stark von Entwicklungen auf Bundes- und EU-Ebene abhängig ist, hat Hessen direkte und indirekte Möglichkeiten der Einflussnahme und der Ausnutzung existierender lokaler und Bundestrends, um dieses Ziel zu erreichen. Zahlreiche landes- und teils auch sektorübergreifende Entwicklungen nehmen Einfluss auf die Entwicklung im Verkehrssektor. Dazu gehören die CO₂-Bepreisung im Rahmen des BEHG, mögliche Energiesteuerreformen auf der Basis der EU-Regelungen, sowie möglicherweise Strommarktreformen und Netzentgeltreformen, die von Regelungen der EU und des Bundes determiniert werden. Im Rahmen des Green Deal sind weitere Weichenstellungen auf EU-Ebene zu erwarten, die die Einführung der Elektromobilität beschleunigen, z.B. eine Verschärfung der Flottengrenzwerte, sowie u.U. eine Einführung eines CO₂-Zertifikatehandels für Treibstoffe.

Der wesentliche Beitrag zur Emissionsreduktion erfolgt durch den Übergang zur Elektromobilität. Anteilig tragen die Bundesmaßnahmen hierzu in Hessen mindestens 3,5 Mt CO₂ bei, wie im Folgenden ausgeführt wird. Hessenspezifische Maßnahmen in Hessen müssten daher nur noch etwa 0,9 Mt CO₂ zur Reduktion beitragen.

Maßnahmen auf Bundesebene

Nach den Projektionen von UBA (2020) und Prognos et al. (2020a) zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen aufgrund bundesweiter Maßnahmen und den Instrumenten des KSPR 2030 zum KSG 2019 wird bundesweit eine Reduktion der Emissionen von 21 % bzw. 23 % gegenüber 1990

prognostiziert. Laut UBA (2020) geht der Endenergieverbrauch im Verkehr in Deutschland zwischen 2017 und 2030 um 18,5 % und der Einsatz von fossilen Kraftstoffen um 24 % zurück. **Wenn die Maßnahmen des Bundes in Hessen ebenfalls den Einsatz fossiler Kraftstoffe in diesem Zeitraum um 24 % senken, sinken die Emissionen des Verkehrsbereichs in Hessen bis 2030 also bereits durch das KSPr 2030 um 3,35 Mt CO₂.** Die Wirkung des KSPr 2030 speist sich vor allem aus Pkw- sowie Lkw-Standards, die auf EU-Ebene gesetzt werden (38 %), der CO₂-Bepreisung (28 %), der Unterstützung fortschrittlicher Biokraftstoffe (13 %), der Förderung des Schienengüterverkehrs (8 %) und Kaufprämien für elektrische Pkw und Lkw (6%). Die Stärkung von Schienenpersonenverkehr, die Erhöhung der Attraktivität von öffentlichem Personennahverkehr, der Ausbau von Radinfrastruktur sowie die Elektrifizierung von Schiene, Bussen und Lkw trägt zusammengenommen etwa sieben Prozent zur Minderung bei. Für die Elektrifizierung des Verkehrs werden 2030 im KSPr-Szenario (UBA 2020) für Deutschland 15 TWh Strom (ohne Ladeverluste) für Pkw benötigt und 12 TWh für die Schiene. Zur Herstellung strombasierter Kraftstoffe wird ein Bedarf von 2 TWh prognostiziert. Eine direkte Stromverwendung im Straßengüterverkehr wird in UBA (2020) auf der Basis des KSPr 2030 noch nicht erwartet.

Das KSPr 2030 wurde bereits im Herbst 2020 im Rahmen eines „Corona-Paketes“ erweitert und mit weiteren Maßnahmen, z.B. der o.g. Elektro-Lkw-Förderung und weiterer Förderung für Oberleitungen aufgestockt. So wurde der Bundesanteil an der Kaufprämie für Elektrofahrzeuge bei Elektroautos und Plug-In-Hybriden verdoppelt, und weitere Förderung für Ladesäulen bereitgestellt (BMU 2021b). Dies dient der schnelleren Einführung von elektrischen Fahrzeugen, wobei die Förderung von Plug-In-Hybriden aus Klima- und aus Ressourcensicht kritisch zu sehen ist. Auch im Rahmen des Kabinettsbeschlusses zum Sofortprogramm, das auf der Basis der Zielverfehlungen die Novelle des KSG 2019 im Frühjahr 2021 begleitete, wurden weitere Fördermaßnahmen angekündigt. Für beide liegen noch keine Wirkungsabschätzungen vor.

Der Bund fördert speziell im Rahmen der „Förderrichtlinie Elektromobilität“ mit 265 Millionen Euro aus Mitteln des „Corona-Konjunktur- und Krisenbewältigungspaketes“ den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen, unter anderem durch Förderung für den Aufbau von elektrischen Fahrzeugflotten im kommunalen, regionalen und gewerblichen Umfeld, von der Konzeption bis zur Investition in Flotten und Ladeinfrastruktur (BMVI 2021b). Zudem existieren Förderprogramme für Ladesäulen für private Wohngebäude (KfW 2021), sowie in KMU, an Kundenparkplätzen und in Kommunen (BMVI 2021c). Für Förderungen beim Erwerb von Elektroautos kann ein Käufer oft mehrere Förderprogramme kombinieren (BAFA 2021). Unternehmen können ebenfalls von Bundes- und Länderprogrammen (z.B. in Berlin und Mecklenburg-Vorpommern) profitieren.

Der Masterplan Ladeinfrastruktur (Bundesregierung 2019) verspricht, dass insgesamt über 3 Milliarden Euro in die Tank- und Ladeinfrastruktur für CO₂-freie Antriebe bis 2023 investiert werden soll. Am 11. Februar 2021 wurde das Gebäudeelektromobilitätsinfrastrukturgesetz (GEIG) vom Bundestag beschlossen, das vorschreibt, dass in neuen Gebäuden Stellplätze mit Leerrohren für Elektrokabel und ab 2025 mit einer Quote von Ladesäulen auszustatten sind (BMW 2021b).

5.3.5.2 Handlungsspielräume für Hessen

Im Personen- und Güterverkehr ist zur Erreichung der gesteckten Sektorziele insbesondere der Umstieg von Verbrennungsfahrzeugen auf batterieelektrische Fahrzeuge gegenüber 2019 in stark beschleunigtem Umfang notwendig. Die Ziele der Emissionsminderung im Verkehrssektor können insbesondere durch die Elektrifizierung des Verkehrs erreicht werden. Ansatzpunkte hierfür sind:

- Systematischer und gezielter Ausbau der Ladeinfrastruktur im ländlichen Raum,
- Ausbau der Schnellladeinfrastruktur sowie der Oberleitungen an Autobahnen,
- Zulassungszahlen.

Die politische Einflussnahme auf Kund*innen hin zu einer Entscheidung für ein batterieelektrisches Fahrzeug wird zum einen im Moment der Kaufentscheidung durch Kaufprämien und fiskalische Erleichterungen (Kfz-Steuer, Maut etc.) erreicht. Der Bund ist im Bereich der Kaufprämien investiv stark aktiv und hat die Förderungen im Rahmen der Corona-Konjunkturmaßnahmen noch erhöht (Bundesregierung 2021). Eine zusätzliche Beteiligung des Landes im Bereich der Elektrifizierung des motorisierten Individualverkehrs könnte unter Umständen möglich sein, wird jedoch nicht als zielführend erachtet.

Wichtig für die Effektivität der Bundesmaßnahmen ist jedoch die administrative und planungsprozessbegleitende Rolle des Bundeslandes, sowie die Unterstützung, die das Land niedrigeren Subsidiaritätsebenen geben kann, z.B. in der Form von Handreichungen und Verwaltungsvorschriften. Fördermaßnahmen sowie Vereinbarungen zu größeren (z.B. Dienst- oder Mietwagen)-Flotten und die Unterstützung von Beschaffungsmaßnahmen im kommunalen Bereich können ebenfalls hilfreich sein.

Auch und gerade bei den alternativen Antrieben hat Hessen schon einige Initiativen angestoßen, die mit Forschungs- und Pilotprojekten die Potenziale ausloten und Praxiserfahrungen sammeln. Besonders hervorzuheben im Vergleich zu anderen Bundesländern sind die Teststrecke für Oberleitungsschwerlastverkehr an der Autobahn im Rahmen eines BMU-Programmes, Pilotanlagen für Wasserstoffherstellung im Industriepark Höchst u.v.m. Ausgewählte Handlungsfelder werden im Folgenden näher beschrieben – das Spektrum möglicher und notwendiger Maßnahmen ist aber deutlich breiter.

Systematischer und gezielter Ausbau der Ladeinfrastruktur im ländlichen Raum

Als wichtiger Faktor bei der Kaufentscheidung zugunsten eines Elektroantriebs wird die Verfügbarkeit einer lückenlosen Infrastruktur identifiziert (infas et al. 2019, Bundesregierung 2019). Hier besteht bereits eine hohe investive Aktivität des Bundes - insbesondere im Bereich des Ladens an Heimladepunkten (KfW 2021) und im Bereich der Schnellladesäulen (Bundesregierung 2019) bestehen umfassende Förderungen des Bundes. Das Land Nordrhein-Westfalen (NRW) hat z.B. ein Förderprogramm für öffentliche und private Ladesäulen (Elektromobilität NRW 2021); Schleswig-Holstein fördert private Ladestationen zu einem kleinen Teil und Bayern fördert 7.000 öffentliche Ladestationen zusätzlich (Bayern Innovativ 2021). Ein Beispiel für einen Ausbau des flächendeckenden Netzes einer Ladeinfrastruktur ist das Ladenetz „Safe“ in Baden-Württemberg. Ein Konsortium von drei Kommunen und 77 Stadtwerken unter Führung der Energie Baden-Württemberg AG (EnBW) baut ein Ladenetz auf, welches in einem Umfeld von zehn Kilometern eine Ladesäule und im Umfeld von 20 Kilometern eine Schnellladesäule bereitstellt. Der Aufbau der Infrastruktur wird insbesondere im ländlichen Raum mit 40 % gefördert (Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg 2017).²³

Auch Hessen fördert Ladeinfrastruktur im Rahmen der Innovationsförderung bereits seit 2016 im Rahmen von Forschungsprojekten (Innovationsförderung Hessen 2021a), und seit 2021 bei Arbeitgebern und im öffentlichen Raum (Innovationsförderung Hessen 2021b). Eine zusätzliche investive Einflussnahme des Landes ist in diesem Bereich jedoch denkbar.

- Ein wichtiger Ansatzpunkt sind die **Arbeitgeber** – ein Großteil der zurückgelegten Wege sind Arbeitswege (Initiative Zukunftsmobilität 2018). Neben der Ladesäulenförderung ist auch die systematische Stärkung von Elektroautos als Dienstwagen und für Flotten notwendig – ggf. mit einer Imagekampagne oder Partnerschaften (s.u.).
- Nicht vergessen werden sollten die Potenziale im Bereich der Eigenheime, in denen es oft sinnvoll ist, PV-Anlagen, Batteriespeicher und das Laden von Elektrofahrzeugen zu

²³ Für weitere Informationen zu Safe siehe EnBW (2021).

kombinieren. Gerade im ländlichen Raum gibt es hierfür erhebliche Potenziale, die durch geeignete Maßnahmen - von Förderprogrammen bis zu Kooperationen mit den EVUs und Kommunikationskampagnen – gehoben werden können.

Zum verstärkten Ausbau der Ladesäuleninfrastruktur sollte besonderes Augenmerk auf den ländlichen Raum gelegt werden. Der Ausbau in Ballungsräumen ist überwiegend profitabel und wird durch private Akteure abgedeckt.

- Das Elektromobilitätsgesetz (EmoG) hat den **Kommunen** die Möglichkeit gegeben, Elektromobilität insbesondere auch im ländlichen Raum gezielt zu fördern. Dies wird bisher nur eingeschränkt ausgeschöpft. Eine Unterstützung der Kommunen bei der Umsetzung von Möglichkeiten, die das EmoG bietet, kann hier zu einer breiteren Umsetzung führen (Initiative Zukunftsmobilität 2018).
- Ein wichtiges Instrument hierfür können **regionale und lokale Ladesäulenmasterpläne** sein, die nicht nur helfen, auf wissenschaftlicher Basis den regionalen und lokalen Bedarf an Ladesäulen zu bestimmen, sondern auch, ihn umzusetzen (z.B. durch Ausschreiben von Gebietskonzessionen, oder andersgeartete geeignete Zusammenarbeiten mit privatwirtschaftlichen Akteuren, ggf. unterstützt von Gewinnausfallgarantien) und zu bewerben. Das Land sollte solche Masterpläne finanziell und mit geeigneten Handreichungen und Anleitungen unterstützen.

Schnellladeinfrastruktur und Oberleitungen an Autobahnen

Im Güterverkehr ist ein Wechsel auf batteriebetriebene Antriebe insbesondere für leichte Nutzfahrzeuge realistisch, für Nutzfahrzeuge über 3,5 t werden insbesondere eine Elektrifizierung über Oberleitungen an der Autobahn A5 (Projekt ELISA) diskutiert und prototypisch in Hessen bereits getestet (Hessen Mobil 2020). Laut Bundesziel soll ein Drittel des Schwerlastverkehrs im Jahre 2030 elektrisch („oder mit alternativen Kraftstoffen“) abgewickelt werden. Hier sticht die Notwendigkeit einer geeigneten Schnellladeinfrastruktur ins Auge. Eine solche ist gerade in Hessen als Transitland von hoher Bedeutung, um die Kauf- und Nutzungsentscheidungen von Pendler*innen, Reisenden und Logistiker*innen zu beeinflussen.

- Eine **investive Zusatzförderung von Schnellladeinfrastruktur** sowie strategische Partnerschaften können hier Hebel zur CO₂-Minderung darstellen. Die bestehenden Anstrengungen (z.B. bei 120 Volt Gleichstrom-Schnellladepunkten) könnten hier verstärkt und stark ausgebaut werden (Innovationsförderung Hessen 2021b).
- Weiterer Ausbau der **Oberleitungen** an Autobahnen: Auch wenn die Lkw-Hersteller diese Technologie bisher noch nicht unbedingt forcieren, ist sie ein sinnvoller Bestandteil einer Elektrostrategie des Güter- und Schwerlastverkehrs. Diese wird sowohl von Hessen als auch von der Bundesregierung forciert. Beide Akteure müssen das aktive Werben, auch bei der Industrie (Hersteller, Logistiker) fortsetzen, damit diese Lösung an Glaubwürdigkeit gewinnt.

Hoher Elektroanteil bei den Zulassungen

Hessen profitiert gegenüber den meisten anderen Bundesländern von erhöhten Zulassungszahlen. Ursachenforschung hierfür überstieg den Umfang dieser Studie, aber die Überlegung liegt nahe, dass dies nicht nur am relativen Wohlstand der Hess*innen liegt, sondern auch an einer großen Zahl von Betriebsflotten mit relativ hohem Durchsatz an Neufahrzeugen. Wenn die Ladeinfrastruktur da ist, kann diese Dynamik Hessen helfen, schneller als im Bundesdurchschnitt auf eine hohe Durchdringung von Elektroautos und damit eine hohe assoziierte CO₂-Vermeidung zu kommen. Folgende Maßnahmen können hierfür in Betracht gezogen werden:

- **Öffentliche Kampagnen** zu den Vorteilen der Elektromobilität, Information zur Qualität der Ladeinfrastruktur und zum Ausräumen von Vorurteilen gegenüber der Elektromobilität.
- Strategische Verabredungen mit den Verantwortlichen für **Flotten**, auch im Dienstwagen- und Mietwagenbereich, z.B. Selbstverpflichtung der Firmen zu bestimmten E-Quoten.
- Anreizprogramme, ggf. auch mit nicht-monetären Anreizen.
- Direkter Diskurs mit den Flottenmanager*innen und geeigneten anderen Ansprechpartner*innen über Hemmnisse, die u.U. vom Land Hessen beseitigt werden könnten.

Elektrifizierung von Schienenstrecken

Nach den oben beschriebenen Plänen des hessischen Wirtschaftsministeriums werden von den heute noch mit Diesel bedienten Strecken im Jahr 2030 nur noch 30 % nicht elektrifiziert sein. Dies sind vor allem die Strecken mit weniger dichtem Verkehr, die in Bezug auf die THG-Emissionen nicht stark ins Gewicht fallen. Insgesamt erscheint durch die steigende Elektrifizierung insbesondere der viel befahrenen Strecken eine Reduktion des Dieselverbrauchs um 80 oder mehr Prozent und die damit einhergehende THG-Emissionsreduktion plausibel.

Zusätzlich sollte das Land sich um den Einsatz alternativer Antriebe, z.B. mit batterieelektrischen Zügen oder Wasserstoffzügen, bemühen, um die Reduktion der THG-Emissionen aus dem Schienenverkehr in Hessen um 90 % gegenüber 1990 zu erreichen.

Übergang zu Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen (PtX, e-fuels)

Hessen ist schon stark engagiert im Bereich des Wasserstoffs und der synthetischen Kraftstoffe, insbesondere auch in der Luftfahrt und im Schienenverkehr. Expert*innen bezweifeln, dass diese Kraftstoffe bis 2030 deutliche Beiträge zur Treibhausgasreduzierung leisten können. Dennoch werden sie vermutlich in der Zeit nach 2030 bestimmte Nischen abdecken. Eine Investition in Wasserstoff und die dazugehörige Infrastruktur dient in jedem Fall der Energiewende, ggf. außerhalb des Verkehrsbereichs. Daher wird empfohlen, das bestehende Momentum bei der **Entwicklung und Nutzung von Wasserstoff und synthetischen Kraftstoffen** aufrechtzuerhalten.

Bundesweit existiert das Ziel, im Jahr 2030 zwei Prozent der Flugtreibstoffe durch synthetische Kraftstoffe zu substituieren. Dafür müsste die geplante hessische Pilotanlage im Industriepark Höchst nicht nur erfolgreich sein, sondern auch massiv repliziert werden.

Wie oben beschrieben, ist es allerdings unplausibel, dass synthetische Kohlenwasserstoffe einen Beitrag zur THG-Bilanz leisten können. Hier kommt vor allem Wasserstoff in Frage. Dieser wird aber vermutlich nicht nur im Verkehrssektor, sondern auch im Industriesektor zum Einsatz kommen.

Verkehrsvermeidung und -verlagerung

Die traditionellen Wege zur Treibhausgasreduzierung im Verkehrsbereich bleiben relevant. Die Investitions-, Entwicklungs- und Umsetzungszyklen in den Bereichen, in denen Infrastruktur in großem Umfang auf- und ausgebaut oder modernisiert werden muss, gehen weit über den Betrachtungszeitraum hinaus und werden daher voraussichtlich nur zu einem relativ kleinen Anteil wirksam für das Sektorziel. Nichtsdestotrotz bzw. gerade deshalb müssen sie schnellstmöglich und kontinuierlich umgesetzt werden.

Als wichtiges traditionelles Handlungsfeld im Verkehrssektor gilt der Verkehrsmittelwechsel auf Fortbewegungsformen mit deutlich geringeren THG-Emissionen pro Personenkilometer. Hierzu gehören neben dem öffentlichen Personenverkehr auch die emissionsfreie aktive Mobilität (insbesondere Fuß- und Radverkehr). Hessen ist in diesem Bereich mit der Nahmobilitätsstrategie

Hessen und der Arbeitsgemeinschaft Nahmobilität Hessen (AGNH) bereits auf einem guten Weg. Nach Auskunft des hessischen Wirtschaftsministeriums werden bereits zahlreiche Maßnahmen für die Steigerung der Nutzung der umweltfreundlichen Verkehrsträger, u.a. zahlreiche Verkehrsinfrastrukturprojekte für Verkehrsverlagerung auf umweltfreundlichere Modi – insbesondere auf Schiene und Fahrrad – angestoßen und über das nächste Jahrzehnt umgesetzt. Diese Maßnahmen haben mit wenigen Ausnahmen relativ lange Vorlaufzeiten. Für die meisten ist erst im Laufe des Jahrzehnts bis 2030 mit ersten Verbesserungen in der Verkehrsinfrastruktur (v.a. im Bereich des Schienenverkehrs) und darauffolgend mit einer signifikanten umweltfreundlichen Verlagerung der entsprechenden Verkehre weg vom motorisierten Individualverkehr zu rechnen. Folgende Maßnahmen sollen hier u.a. hervorgehoben werden:

- Der weitere Ausbau von Infrastrukturen des Umweltverbunds (inkl. Radabstellanlagen, kreuzungsfreie und geschützte Radwege, aber auch Taktungen und Informationsinstrumente für die CO₂-freie Streckenplanung) muss weiterhin forciert vorangetrieben werden, auch im ländlichen Raum. Auch in der Verbesserung der Kapazitäten (Infrastruktur, Fahrzeugausstattung, personelle Ausstattung) liegt eine wichtige politische Handlungsmöglichkeit (SRU 2017). Dies wird insbesondere auch wichtig, um Verkehrsteilnehmer zum Umsteigen vom Auto auf elektrische Fahrräder anzusprechen.
- Förderung moderner elektrischer Klein- und Kleinstlieferwagen oder Lastenräder und Etablierung der entsprechenden Logistikinfrastuktur kann einen signifikanten – wenn auch aktuell nicht in der Literatur bezifferten – Beitrag zur Emissionsreduktion in diesem Bereich leisten und gleichzeitig Staus und Feinstaubbelastungen in Innenstädten reduzieren.
- Der Wechsel zum Umweltverbund wird attraktiver, wenn der Individualverkehr relativ weniger attraktiv wird. Dies kann auch durch die Verbesserung der Attraktivität (Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit) der angesprochenen Verkehrsmittel erreicht werden. Kommunen können weiter darin bestärkt werden, mit Parkgebühren und Umwidmung des öffentlichen Raumes Individualverkehr zu reduzieren. Das Land kann in diesen Bereichen durch finanzielle Förderungen und inhaltliche Unterstützung Veränderungen anregen.
- Auch für den Güterverkehr sind, ggf. in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft, kombinierte Verkehre und andere bereits bekannte Effizienz- und Klimaschutzmaßnahmen weiter zu forcieren, ggf. über einen Beirat für logistische Infrastruktur, der neben der Wirtschaft und der Landesregierung auch die Regional- und Kommunalverwaltungen einbezieht.
- Durch die Erfahrungen der Corona-Zeit postulieren Beobachter*innen, dass sich eine Veränderung im Pendelverhalten vor allem bestimmter Dienstleistungssektoren einstellen könnte. Die technischen und rechtlichen Voraussetzungen für das Arbeiten von Zuhause wurden im Zusammenhang mit den Pandemiemaßnahmen in vielen Bereichen geschaffen, so dass es plausibel ist, dass in der Zukunft die Pendelströme etwas reduziert sein könnten. Hier kann die Landesregierung mit gutem Beispiel vorausgehen und ggf. auch kommunikatorisch unterstützen.
- Auch das Einkaufsverhalten hatte sich in der Pandemie hin zum Online-Shopping verändert. Vor der Pandemie gab ein Drittel der Bevölkerung in Hessen an, Güter des gelegentlichen Bedarfs oder langlebige Güter auch online zu kaufen (BMVI 2020b), aber nur acht Prozent erstanden online auch Güter des täglichen Bedarfs. Insgesamt ist die Bilanz der Pandemie in Bezug auf Verkehrsströme also bisher unklar, aber möglicherweise verkehrsreduzierend.

5.4 Industrie

5.4.1 Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU , Bundes und Landesebene

EU-Ebene

Die Industrie wird auf EU-Ebene von verschiedenen Zielvorgaben und Maßnahmen erfasst. Ein separates Klimaschutzziel für die Industrie erfolgt nicht. Die Emissionen von größeren Industrieanlagen werden als Teil des EU-Emissionshandelssystems behandelt, so dass sie ein gemeinsames Reduktionsziel mit dem europäischen Energiebereitstellungssektor erfüllen müssen.

So werden in der Industrie die direkten Emissionen aus Verbrennungs- und Produktionsprozessen in der Industrie (neben der Zement- und Kalkindustrie gibt es z.B. auch prozessbedingte Emissionen aus Ammoniak- und Adipinsäureproduktion) bei vielen Anlagen, insbesondere der chemischen Industrie, bereits vom EU ETS erfasst. Unter den zehn größten Emittenten (über alle Sektoren) in Hessen findet sich auch ein Eisengusswerk (Hessischer Landtag 2020). Diese Anlagen beteiligen sich an den vom EU ETS vorgegebenen Emissionsreduktionspfaden.

Bundesebene

Bereits im KSPr 2030 der Bundesregierung wird in diesem Sektor im Sinne eines notwendigen Transformationspfades diskutiert, der nicht nur den Umbau des Energiesystems und die Sektorkopplung sondern auch die notwendige Reduktion des Energiebedarfs der Industrie durch erhöhte Energieeffizienz adressiert. Speziell hebt das KSPr 2030 auch die Maßnahmen der Abwärmenutzung, Energieträgersubstitution, Prozesssubstitution, die Ausweitung der Materialeffizienz und die Einbindung von Elektrolyseuren und PtX-Anlagen hervor. Das KSPr 2030 zählt dafür zahlreiche Einzelmaßnahmen auf, die auch für die Transformation des Industriesektors auch in Hessen eine unterstützende Wirkung entfalten werden.

Hessen

Auf Landesebene bestehen bisher keine eigenen klimapolitischen Zielvorgaben für den Industriesektor. Allerdings werden im IKSP 2025 bereits zahlreiche Maßnahmen für den Sektor adressiert und umgesetzt.

5.4.2 Industrie in Hessen

Die Industriestruktur und insbesondere die Struktur der industriellen Emissionen nach Branchen in Hessen weichen deutlich von der in Gesamtdeutschland ab. Die industriellen Emissionen der Bundesrepublik werden insbesondere von der Stahl- und Nichteisenmetallherstellung bestimmt. Diese Branchen sind in Hessen kaum vertreten. Auf Bundesebene folgen dann die Zement- und Kalkindustrie, die auch in Hessen signifikant zum direkten Treibhausgasausstoß beitragen. Die Kaliindustrie ist der bestimmende Energieverbraucher in mehreren Landkreisen Nordhessens (Statistisches Bundesamt 2019). Die meisten industriellen Emissionen in Hessen stammen allerdings aus der chemischen und pharmazeutischen Industrie, die beide mit hohen Wärmebedarfen auch in der Eigenerzeugung durch KWK aktiv sind.

5.4.3 Treibhausgasemissionen in der Industrie in Hessen

Der Sektor Industrie in Hessen emittierte Jahr 2018 ca. 3,7 Mt CO₂. Diese setzen sich aus ca. drei Megatonnen energiebedingten und ca. 0,7 Mt CO₂ prozessbedingten Emissionen zusammen. Im Jahr 1990 emittierte die Industrie noch ca. 7,1 Mt CO₂ (ca. 6,1 Mt energie- und eine Megatonne

prozessbedingte Emissionen). Insgesamt gingen die CO₂-Emissionen in der hessischen Industrie 2018 bereits um ca. 3,3 Mt CO₂²⁴ bzw. 47 % im Vergleich zu 1990 zurück (LAK 2021).

5.4.3.1 Prozessbedingte Emissionen

Im Jahr 2018 emittierte die Industrie 658 kt CO₂ aus Produktionsprozessen (HSL 2021a), insbesondere aus der Herstellung von Kalk (277 kt bzw. 42 %) und Zementklinker (378 kt bzw. 57,5 % der prozessbedingten Emissionen). Vernachlässigbare Teile (0,5 % der prozessbedingten Emissionen) stammen aus der Produktion von Glaswaren, Ammoniak und der Ziegelherstellung. Während für den Zementklinker die Emissionen bereits auf 44 % des Wertes von 1990 sanken, stiegen sie bei der Kalkherstellung auf 203 % der Emissionen aus 1990.

Die Gründe für diese Trends liegen in den Absatzmärkten der hessischen Zement- bzw. Kalkindustrien. Während die Produktion von Zementklinker bis 2015 zurückging, erholte sie sich bis zum Berichtsjahr wieder leicht. Die Produktion von Kalk stieg bereits in den 1990ern an, sank dann wieder leicht ab, verharrt aber seit 2015 auf dem doppelten Niveau von 1990. Die Emissionen aus der Kalkproduktion weisen damit einen gegenläufigen Trend zu den gesamten prozessbedingten Emissionen auf, bzw. ihre steigende Entwicklung ist spätestens seit 2015 auch bestimmend für den steigenden Trend aus den prozessbedingten Emissionen.

5.4.3.2 Energiebedingte Emissionen

Laut HMUKLV (2020b) entstammten dem Sektor Industrie im Jahr 2018 3,1 Mt CO₂ energiebedingte Emissionen. Das entspricht ca. neun Prozent der gesamten energiebedingten Emissionen in Hessen. Im Jahr 1990 emittierte der Sektor energiebedingt noch 6,1 Mt CO₂. Somit wurde bereits eine Reduktion um 49 % erbracht. Allerdings sind diese Emissionen zuletzt wieder gestiegen, nachdem sie im Jahr 2015 bereits ihr vorläufiges Minimum von 2,8 Mt CO₂ erreicht hatten.

Die wichtigsten Emittenten energiebedingter Emissionen sind laut HMUKLV (2020b) die Wirtschaftszweige „Chemische Industrie/Pharmazie“ mit 772 kt CO₂ (25 % der energiebedingten CO₂-Emissionen), Glasgewerbe, Keramik, Verarbeitung von Steinen und Erden“ mit 454 kt CO₂ (14,7 %) und „Herstellung von Nichteisenmetallen und Gießerei-Erzeugnissen“ mit 357 kt CO₂ (11,6 %).

5.4.4 Ableitung des Sektorziels Industrie

Bei einer direkten Übertragung des Sektorziels auf Bundesebene (nach KSP 2050 eine Minderung um 49-51% gegenüber 1990, nach KSG 2019 um 50,7 %) dürfte die hessische Industrie im Jahr 2030 noch ca. drei Megatonnen CO₂ an energiebedingten Emissionen und ca. 0,5 Mt CO₂ an prozessbedingten Emissionen emittieren, insgesamt also gerundet 3,6 Mt CO₂. Das liegt in einer vergleichbaren Größenordnung wie die heutigen Emissionen.

Die heutigen Emissionen reflektieren einerseits den Strukturwandel hin zur Dienstleistungswirtschaft und andererseits auch Einsparungen durch Energieträgerwechsel (inklusive Elektrifizierung) und Effizienzfortschritte (inklusive endogener Energieeffizienzgewinne bei Reinvestition, Elektrifizierung und die Nutzung von Abwärme, auch in Fern- und Nahwärmesystemen). Diese Trends werden sich weiter fortsetzen, so dass es zu erwarten ist, dass im Industriesektor weitere Emissionsreduktionen erfolgen werden, sowohl im Bereich der energiebedingten Emissionen als auch im Bereich der prozessbedingten Emissionen.

²⁴ Die Abweichung dieses Rückgangs von 3,3 Mt CO₂ von der Differenz der Emissionen von 7,1 Mt CO₂ im Jahr 1990 und 3,7 Mt CO₂ im Jahr 2018 ist rundungsbedingt.

5.4.4.1 Prozessbedingte Emissionen

Die prozessbedingten Emissionen der Zement- und Kalkproduktion stammen direkt aus dem Ausgangsmaterial (Calciumcarbonat, CaCO_3), das mineralisch gebundene Carbonat wird beim Brennvorgang aus dem Gestein ausgetrieben. Die Emissionsminderungsoptionen sind limitiert auf das Binden (Sequestrieren) aus dem Abgas (z.B. des Drehrohrofens) oder die Vermeidung des Produktes, also z.B. die Substitution von Kalk und Zement in der Bauindustrie oder anderen Anwendungen. Leider sind bisher nur wenige Ersatzprodukte entwickelt worden. Verbesserte Zemente und Betone (z.B. mit Flugasche oder Recycling-Zugaben) haben zwar einen niedrigeren spezifischen CO_2 -Ausstoß, sind aber mit einer langfristigen Netto-Null-Emissionswelt nicht vereinbar. Daher wäre es sinnvoll für ein Innovationsland wie Hessen, hier mit der Zementindustrie strategische Innovationen für Baumaterialien und Strukturen auszuloten, die im Endeffekt die CO_2 -Ausstoß-intensiven Baumaterialien wie Zement durch solche ersetzen, die CO_2 langfristig binden können.

Der Bedarf an Industriekalk wird mittelfristig durch die Abschaltung der Rauchgasentschwefelungsanlagen stark reduziert werden. Allerdings werden andere Märkte, z.B. im Düngemittelbereich, weiterhin relevant bleiben, so dass hier von den Studienautor*innen keine Reduktion auf null erwartet wird.

Insgesamt könnten die prozessbedingten Emissionen daher möglicherweise bis 2030 nur auf 80 % des heutigen Niveaus (also eine Minderung um 50 % gegenüber 1990) reduziert werden. Es sollten aber die Grundsteine für eine rapide Senkung nach 2030 gelegt werden, u.a. auch mit industriepolitischen Maßnahmen zur Abfederung von Nachfrageschwankungen, insbesondere bei Kalk und Zement.

5.4.4.2 Energiebedingte Emissionen

Die Statistik im Bereich der energetischen industriellen Emissionen ist schwer zu greifen, da es sich hier vor allem um Wärmebedarfe handelt, die jedoch energiebilanziell eng mit den Sektoren Energieerzeugung/-umwandlung und Gebäude verflochten sind. Entsprechend sind die kalkulatorischen Direktmissionen durch Umstellung auf Erdgas einerseits und Anschluss an Fern- und Nahwärmenetze andererseits bereits stark gesunken. Auch Energieeffizienzbemühungen haben maßgeblich dazu beigetragen.

Diese Energieeffizienzbemühungen werden sich in der Zukunft auch fortsetzen – ein Standardansatz aus der energiewirtschaftlichen Szenarienkalkulation ist hier eine endogene jährliche Verbesserung um 1-3 %. Aus diesen Erwägungen heraus könnte man bis 2030 eine Reduktion der den energiebedingten Emissionen zugrundeliegenden Energieverbräuche von 20 % gegenüber 2018 ansetzen.

Dazu kommen – ökonomisch und politisch sowie technologisch induzierte – Effekte der Energieträgersubstitution. Einerseits gibt es bereits erste Versuche in der hessischen Industrie, Wasserstoff für bestimmte Wärmeprozesse einzusetzen, insbesondere in solchen Veredelungsprozessen, bei denen hochpreisige Produkte Premiüerlöse versprechen. Andererseits wird der zunehmende Trend zum Einsatz von Strom im Wärmesektor (ggf. kombiniert mit Wärmespeichern als Flexibilitätsoption) und Abwärme unter Umständen auch einige Niedrigtemperaturprozesse erfassen und dadurch die separate Verbrennung von Erdgas substituieren. Auch in diesem Bereich ist eine Reduktion der energiebedingten Emissionen im Industriesektor von 20 % bis 2030 im Vergleich zu 2018 plausibel.

Damit ergibt sich für den Bereich der energiebedingten Direktmissionen aus der hessischen Industrie ein Reduktionspotenzial von 40 % gegenüber 2018. Das entspricht einer Vermeidung von 1,2 Mt CO_2 bzw. eine Restemission im Jahr 2030 von knapp zwei Megatonnen gegenüber 1990. Das bedeutet eine Reduktion der energiebedingten Emissionen um 4,1 Mt CO_2 bzw. 67 % zwischen 1990 und 2030.

5.4.4.3 Zusammenfassung zum Sektorziel Industrie

Aus den vorhergehenden Überlegungen ergibt sich im Sektor Industrie bei den prozessbedingten Emissionen eine Minderung von 50 % gegenüber 1990 und bei den energiebedingten Emissionen um 67 %. Über beide Posten aufsummiert würde die hessische Industrie im Jahr 2030 ohne Strom-, Fernwärme- bzw. Wasserstoffbezug noch etwa 2,5 Mt CO₂ emittieren, was einer Minderung um 4,6 Mt CO₂ bzw. 65 % entspricht.

5.4.5 Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Industrie und Handlungskompetenzen Hessens

Die Berechnung des Sektorziels beruht vor allem auf einer Fortschreibung der intrinsischen Trends zu höherer Energieeffizienz und niedrigerem CO₂-Ausstoß. Mit steigendem Kostendruck aus dem ETS werden die Anreize für die Reduktion des CO₂-Ausstoßes stärker. Diese Entwicklung ist die Hauptdeterminante für das Sektorziel in Hessen. Sie wird von europäischen Vorgaben und der Umsetzung durch die Bundesregierung bestimmt.

Sie werden sich aber nicht unbedingt von allein auf das Emissionsverhalten der Industrieunternehmen auswirken, sondern muss von unterstützenden Maßnahmen in Hessen folgendermaßen profitieren:

- Im Bereich der Industrie und den direkten Emissionen aus diesem Sektor bleiben dem Land wenige Möglichkeiten. Beim **Vollzug der Umweltgesetzgebung des Bundes und des Landes durch das Land** sollten die Unternehmen zu strengen Umweltstandards angehalten werden, so dass regelmäßige Wartungs- und Reinvestitionstätigkeiten hohe Umwelt- und Effizienzstandards sichern.
- Das KSPr 2030 der Bundesregierung sieht in mehreren Aspekten im Industriebereich **Beratungs- und Informationsvermittlungsmaßnahmen** sowie Maßnahmen in den Bereichen der **beruflichen Bildung und Fortbildung** vor. Für die systematische und flächendeckende Umsetzung dieser Maßnahmen in Hessen sollte die Landesregierung Sorge tragen, da Bildung Ländersache ist.
- Alle Betriebe und insbesondere die energieintensive Industrie (chemische und pharmazeutische Industrie, Eisengießereien, Zement-, Kalk- und Glasindustrie) sollten im Rahmen der **Wärmekataster** miterfasst werden, so dass Abwärme im Rahmen der lokalen Gegebenheiten in Wärmekaskaden genutzt werden kann. Insbesondere die im Kapitel 0 angesprochenen Niedertemperaturfernwärmenetze können auch niederkalorische Abwärme sehr gut verwerten. Hierfür gibt es bisher keine Vorschriften auf Bundesebene, aber Förderprogramme. Diese sollten durch Landesförderprogramme ergänzt werden, soweit noch nicht geschehen.
- Die aktuellen **Programme der Landesregierung zur Energieeffizienz und Ressourceneffizienz** im Verarbeitenden Gewerbe sollten fortgeführt und wenn möglich intensiviert werden (LEA 2021a). Beratungen, Effizienznetzwerke und Investitionsbeihilfen helfen, Innovationen und effizienz erhöhende Maßnahmen möglichst schnell in die Fläche zu bringen. Beihilfen des Landes können an Zertifizierungen von **Energieeffizienzsystemen** gebunden werden (z.B. ISO 50001 bzw. Vorstufen, Energieaudits, Ökoprofit, ECOfit o.ä.).
- Auf deren Basis, sowie mit anderen öffentlichen Unterstützungsmaßnahmen kann die Industrie die **Eigenerzeugung durch erneuerbare Energien** deutlich ausbauen und damit zu einer signifikanten Dekarbonisierung der Energieversorgung beitragen, auch wenn diese u.U. nur teilweise im Industriesektor stattfinden wird. Hierzu sollte das Land die notwendigen genehmigungsrechtlichen Voraussetzungen schaffen und auch im Bund auf deren Schaffung hinweisen.

Insbesondere für die schwer zu mindernden Prozessemissionen sind folgende Maßnahmen ins Auge zu fassen:

- Der Industriesektor, insbesondere der hessische, kann, soll und wird eine wichtige Rolle bei der Bereitstellung von **synthetischen Kraftstoffen** spielen. Dies wird aktuell in Hessen mit Pilotprojekten ausgelotet, die bis 2030 zu signifikanten Produktionskapazitäten im industriellen Maßstab führen sollten, schon allein um den Bedarf in der Luftfahrt (für den verbleibenden innerdeutschen, aber perspektivisch auch den internationalen Flugverkehr) zu bedienen. Der Industriesektor sollte hierfür alle Kohlenstoffquellen aus industrieeigenen Produktions- und Verbrennungsprozessen nutzen, um die eigenen Emissionen zu reduzieren. Hierfür kann unter anderem an die Bundesmaßnahme zur CO₂-Vermeidung und -Nutzung in Grundstoffindustrien angeknüpft werden (vgl. BMWi 2021c).
- Die Förderung der Produktsubstitution im Baubereich, z.B. durch **stärkere Verwendung klimafreundlicher Baumaterialien** kann zur Reduktion der Zement- und Kalkproduktion und damit zur Reduktion der damit unvermeidbar verbundenen CO₂-Emission führen.

5.5 Landwirtschaft

5.5.1 Klimapolitische Ziele und Vorgaben auf EU , Bundes und Landesebene

EU-Ebene

Für die Landwirtschaft formulierte die EU bisher die folgenden Ziele:

- Im Rahmen der Lastenteilungsvereinbarung im **Klima- und Energiepaket 2020** hatten die EU-Länder verbindliche Ziele zur Verringerung der Emissionen in den nicht im EU-Emissionshandelssystem erfassten Wirtschaftszweigen, darunter auch der Sektor Landwirtschaft, bis 2020 (gegenüber 2005), festgelegt. Demnach sollte Deutschland bis 2020 seine THG-Emissionen im Vergleich zu 2005 um 14 % mindern.
- Im Rahmen des **Green Deals** möchte die EU bis zum Jahr 2030 den Düngemiteleinsatz um 20 % reduzieren, die Nährstoffverluste bei gleichbleibender Bodenfruchtbarkeit halbieren und ein Viertel der landwirtschaftlichen Flächen ökologisch bewirtschaften (Europäische Kommission, n.d.). Diese Ziele sollen mit der „**Vom Hof auf den Tisch**“-Strategie sowie der **Biodiversitätsstrategie** umgesetzt werden.
- Die **EG-Öko-Basisverordnung** definiert die Vorschriften für die Kennzeichnung und Erzeugung von Öko-Produkten und bildet damit den rechtlichen Rahmen für den Ausbau des Ökolandbaus. Sie befindet sich zurzeit in Revision, die nächste Änderung soll 2022 in Kraft treten.

Die **Gemeinsame Agrarpolitik (GAP)** der EU ist von zentraler Bedeutung für die Ausgestaltung der Landwirtschaft in Deutschland und wesentlicher Treiber auch für die Erreichung von Klimazielen in der Landwirtschaft. So sollen mit der neuen GAP Auswirkungen der Landwirtschaft auf das Klima weiter verringert werden. Die Vorgaben wirken bis auf Landesebene. Die grundsätzlichen Linien für die Agrarpolitik sind durch die GAP vorgegeben, im Rahmen der nationalen Ausgestaltung haben die Mitgliedstaaten allerdings Möglichkeiten, auch strengere Klimaschutzmaßnahmen umzusetzen. Dies erscheint notwendig, da Bewertungen der EU-GAP zu dem Schluss kommen, dass die derzeitige Ausgestaltung nicht konform mit dem European Green Deal ist (Europäisches Parlament 2020). Dies kann durch eine Kombination der verpflichtenden Grundanforderungen (**Konditionalität**), der Ausgestaltung der Honorierung von Ökoleistungen der ersten Säule (**Direktzahlungen**) sowie der Ausgestaltung und Mittelausstattung der **Agrarumweltmaßnahmen** der zweiten Säule geschehen.

Die GAP kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Eine wesentliche Grundanforderung ist, dass alle Betriebe einen Umweltbeitrag leisten müssen, Direktzahlungen werden ab dem ersten Euro an höhere Anforderungen gebunden (**Konditionalität**). Ausnahmen gelten nur für sehr kleine Betriebe. Auch sollen die Standards für die Erhaltung von Flächen in gutem landwirtschaftlichem und ökologischem Zustand (GLÖZ) teilweise verschärft werden, beispielsweise zum besseren Schutz von Feuchtgebieten und Mooren bei der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen. Im Rahmen dieses „Greenings“ werden von den Landwirt*innen der Erhalt von Dauergrünlandflächen, die Ausweitung der Vielfalt beim Ackerbau sowie die Bereitstellung ökologischer Vorrangflächen (Hecken, Knicks²⁵, Pufferstreifen etc.) gefordert.
- Die reformierte GAP bietet zusätzliche finanzielle Anreize für **Ökoleistungen** und honoriert stärker als zuvor die Bewirtschaftungsform. Mindestens 25 % der **Direktzahlungsgelder** für

²⁵ Ein mit einer Hecke bewachsener niedriger Erdwall zwischen Feldern wird teilweise auch für eine einfache Hecke zwischen Feldern verwendet.

landwirtschaftliche Betriebe müssen der besonderen Honorierung von zusätzlichen Ökoleistungen vorbehalten sein (BMEL 2021a).

- Auch der neue Zuschlag für kleine und mittlere Betriebe kommt insbesondere dem ökologischen Landbau zugute, da die Betriebsgröße hier durchschnittlich geringer ist (BMEL 2021b). In diesem Zusammenhang hat der Bundestag am 10.6.2021 einem Gesetzespaket zur Umsetzung der Reform der GAP zugestimmt (Bundestag 2021) (siehe nächster Abschnitt „Bundesebene“).
- Die zweite Säule umfasst gezielte Förderprogramme für die nachhaltige und umweltschonende Bewirtschaftung und die ländliche Entwicklung. Die Finanzierung erfolgt aus dem Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums (**ELER**), dessen Mittel aber durch Bund, Länder und Kommunen aufgestockt werden müssen. Die zweite Säule bietet somit den Ländern mehr Flexibilität, eigene Schwerpunkte zu setzen. Über die zweite Säule können beispielsweise Extensivierungsmaßnahmen, ökologischer Landbau oder Maßnahmen zu Klimaschutz und -anpassung gefördert werden.

Bundesebene

Im KSP 2050 fällt das Emissionsreduktionsziel bis 2030 im Sektor Landwirtschaft mit einem Zielbereich von 31-34 % gegenüber den anderen Sektoren am geringsten aus. Begründet wird dies damit, dass sich wegen biologischer Prozesse in Tierhaltung und Pflanzenbau ein Sockelbetrag an Treibhausgasemissionen nicht vermeiden lässt. Nach KSG (2019) dürfen im Jahr 2030 die Emissionen in der Landwirtschaft 58 Mt CO₂-Äqu. nicht überschreiten.

Die zentralen **Maßnahmen**, um dies zu erreichen, sind bisher auf Bundesebene (KSP 2030):

- Die Senkung der **Stickstoffüberschüsse** einschließlich der Minderung der Ammoniakemissionen und gezielte Verminderung der Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdüngerlagerung und landwirtschaftlich genutzten Böden sowie Verbesserung der Stickstoffeffizienz (Novelle der Düngeverordnung seit Juni 2017 in Kraft, Verringerung des Stickstoffüberschusses laut Deutscher Nachhaltigkeitsstrategie (DNS) (2016) auf 70 kg Stickstoff (N) pro Hektar (ha) landwirtschaftlich genutzter Fläche). Die novellierte Düngeverordnung dürfte in Hessen insbesondere an Stellen, wo ein hoher Stickstoffüberschuss besteht, noch Anreize zur Minderung setzen.
- Erhöhung des Anteils der Vergärung von **Wirtschaftsdüngern** tierischer Herkunft und landwirtschaftlichen Reststoffen in Biogasanlagen auf zum Beispiel 40 % (wie in UBA (2020) angenommen) des anfallenden Wirtschaftsdüngers bis 2025 (von derzeit rund 25 %). Entscheidender Faktor für die bisher zu beobachtende Erhöhung des Wirtschaftsdüngeranteils in Biogasanlagen war die Einführung des sogenannten Güllebonus durch das EEG.
- Ausbau des **Ökolandbaus**: Im Rahmen der **DNS** (Bundesregierung 2016) und der **Zukunftsstrategie ökologischer Landbau (ZöL)** (BMEL 2019) wird ein Flächenanteil von 20 % ökologischem Landbau an der landwirtschaftlichen Gesamtfläche bis 2030 angestrebt (acht Prozent waren es im Jahr 2019; UBA 2021b). Der Ausbau des Ökolandbaus dient hier primär zur Umsetzung der Umweltziele Biodiversität und Gewässerschutz.
- Verringerung der (vor allem verdauungsbedingten) Treibhausgasemissionen in der **Tierhaltung**.
- **Schutz von Moorböden**: Lachgasemissionen aus der Nutzung von entwässerten organischen Böden werden im Landwirtschaftssektor berichtet. Durch Wiedervernässung und Umnutzung können Lachgasemissionen reduziert werden. Die Bundesregierung bereitet aktuell eine Moorschutzstrategie vor. Ein im November 2020 vom BMU vorgelegtes

Diskussionspapier zur Moorschutzstrategie (BMU 2020) und die in Abstimmung befindliche Bund-Länder-Zielvereinbarung zum Klimaschutz durch Moorbodenschutz schlägt im Bereich der landwirtschaftlichen Nutzung von Moorböden durch diese Maßnahmen ein Reduktionsziel von fünf Megatonnen CO₂-Äqu. bis zum Jahr 2030 vor. Die Bundesregierung möchte dies durch alternative Nutzungsformen von Moorböden erreichen, z.B. durch Paludikulturen²⁶.

- Maßnahmen zur Verbesserung der **Energieeffizienz** in der Landwirtschaft.

Das **Bundesprogramm Ökologischer Landbau** finanziert u.a. die Umsetzung der ZöL aber auch Forschungs- und Entwicklungsvorhaben.

Wichtig für den Klimaschutz ist darüber hinaus die **Düngeverordnung** (DüV), deren letzte Änderung seit Mai 2020 in Kraft ist, und über Sperrfristen, Höchstmengen sowie Dokumentationspflichten die Senkung der Nitratreinträge (und letztlich auch der Lachgasemissionen) herbeiführen soll (BMEL 2020).

Zur **Umsetzung der Reform der GAP** ab 2023 wurde am 10.6.2021 ein entsprechendes Paket mit vier Gesetzen verabschiedet, der Plan zur Verteilung der Mittel aus der GAP muss der bis Januar 2022 zur Genehmigung vorgelegt werden. Für den Klimaschutz relevante Eckpunkte sind: 1) Bis 2026 sollen 15 % der Direktzahlungen (ausgehend von 10 % im Jahr 2023) in zusätzliche Förderung für ländliche Entwicklung fließen, die u.a. für Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen verwendet werden können. 2) Ein Viertel der Direktzahlungen wird in Deutschland an höhere Umwelt- und Klimaleistungen geknüpft. 3) Jeder geförderte Hektar muss in Zukunft höhere Auflagen u.a. im Klima- und Umweltbereich erfüllen.

Auch die nationale **Ackerbaustrategie**, die sich aktuell beim BMEL in der Weiterentwicklung befindet und anschließend innerhalb der Bundesregierung abgestimmt werden soll, sieht einen Ausbau des Beitrags zum Klimaschutz bspw. in den Bereichen Bodenschutz, Erweiterung von Fruchtfolgen und Erhöhung der Düngeeffizienz vor (BMEL 2021c).

Hessen

Im Sektor Landwirtschaft besteht mit Blick auf die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen ein Vorteil darin, dass die Kompetenzen größtenteils im HMUKLV gebündelt sind.

Erklärtes Ziel der Landesregierung ist es, die kleinräumige und bäuerliche Agrarstruktur Hessens zu erhalten (HMUKLV 2017). Die hessische Landesregierung unterzeichnete gemeinsam mit dem Hessischen Bauernverband 2012 den **Zukunftspakt hessische Landwirtschaft** und erweiterte diesen seither unter Beteiligung weiterer Stakeholder. Über den Pakt unterstützt die Regierung den Beitrag der Landwirtschaft auch im Klimaschutz (HMUKLV 2012). In Hessen werden gemäß dem Zukunftspakt sowie den Vorgaben der GAP Agrarumweltmaßnahmen finanziert, die vom Bund und der EU mitfinanziert werden. Das Hessische Programm für Agrarumwelt- und Landschaftspflegemaßnahmen (HALM; HMUKLV 2021c) ist das hessische Programm zur Umsetzung der Maßnahmen der zweiten Säule der GAP und fördert beispielsweise nachhaltige Verfahren im Ackerbau, ökologischen Landbau, Grünlandextensivierung oder den Biotopschutz.

Mit dem **Ökoaktionsplan** fördert Hessen den ökologischen Landbau über zusätzliche Flächenförderung für ökologische Bewirtschaftung, Beratung u.v.m. Im Bereich **Ökolandbau** strebt Hessen 25 % Ökolandbaufläche bis 2025 an und orientiert sich hier eher an den ambitionierteren EU-Zielen als an den aktuellen bundespolitischen Zielmarken.

Der **Entwicklungsplan für den ländlichen Raum (EPLR)** des Landes Hessen setzt auf Landesebene die Agrarumweltmaßnahmen und damit die **zweite Säule** der europäischen Agrarpolitik

²⁶ Wenn nasse oder wiedervernässte Moorböden landwirtschaftlich genutzt werden (z.B. durch den Anbau von Schilf oder bestimmten Gehölzen), spricht man von Paludikulturen.

GAP um. Finanziert werden die Maßnahmen über den Europäischen Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des Ländlichen Raums (EPLR; HMUKLV 2021d). Der nationale Strategieplan der neuen GAP und mit ihm die konkreten Maßnahmenpläne der Länder, befindet sich derzeit in Überarbeitung (HMUKLV 2021e).

Bei den **landwirtschaftlichen Böden** strebt das Land im Rahmen der **hessischen Nachhaltigkeitsstrategie** die Minderung des Stickstoffüberschusses von 65 auf 40 kg N/ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) bis 2030 an.

5.5.2 Landwirtschaft in Hessen

Nach Daten der Landwirtschaftszählung 2020 (HSL 2021b) bewirtschafteten im Jahr 2020 in Hessen gut 15.100 Betriebe rund 764.700 ha LF. Das ist etwas über ein Drittel der 2,11 Mio. ha großen Fläche Hessens. Damit liegt Hessen deutlich unter dem Bundesdurchschnitt, wo die LF mehr als die Hälfte der Gesamtfläche Deutschlands ausmacht. Dass in Hessen im Schnitt etwa 19 bis 20 Betriebe je 1.000 ha LF bewirtschaften und im Bund im Schnitt zwischen 16 und 17 Betriebe (HSL 2021b, BMEL 2017), weist darauf hin, dass Hessen im Vergleich zum Bund etwas stärker kleinbäuerlich geprägt ist.

Die **Viehhaltung und der Viehbestand** in Hessen nehmen seit Jahren ab: nur zwei Drittel (ca. 10.200) der hessischen Agrarbetriebe hielten im Jahr 2020 noch Vieh. Gegenüber der Landwirtschaftszählung im Jahr 2010 waren das ca. 3.100 weniger viehhaltende Betriebe. Daher ist der Viehbesatz in Hessen im Bundesvergleich relativ gering und lag 2019 bei 55 Einheiten Großvieh (GVE) pro 100 ha LF. Im Bund lag dieser Wert bei 75 GVE/100 ha LF. Zum Vergleich: das Bundesland mit dem höchsten Viehbesatz ist Nordrhein-Westfalen mit 122 GVE/100 ha LF, das Flächenland mit dem niedrigsten Besatz ist Sachsen-Anhalt mit 35 GVE/100 ha LF (destatis 2019).

Die **Rinderhaltung** umfasste im Jahr 2020 noch ca. 406.304 Rinder in 6.429 rinderhaltenden Betrieben (ca. 2.000 Betriebe weniger als im Jahr 2010), darunter 1.775 Milcherzeuger*innen mit 127.400 Milchkühen. Die **Schweinehaltung** ging gegenüber 1970 (1,5 Millionen Schweine) um zwei Drittel auf gut eine halbe Million (515.300) Schweine im November 2020 zurück (HSL 2021b).

Fast 2.050 (13,5 %) der hessischen Agrarbetriebe bewirtschafteten laut aktueller Landwirtschaftszählung 2020 eine Fläche von ca. 114.600 Hektar (15 % der LF) **ökologisch**. Dies ist fast eine Verdreifachung der Fläche seit 1999, dem ersten Jahr der Erfassung dieses Merkmals durch das Hessische Statistische Landesamt. Damit ist Hessen führend innerhalb Deutschlands, wo laut UBA (2021c) im Jahr 2019 nur 7,8 % der gesamten LF ökologisch bewirtschaftet wurde. Dazu beigetragen haben der **hessische Ökoaktionsplan** und die gezielte Förderung von Ökolandwirt*innen.

5.5.3 Methan und Lachgasemissionen in der Landwirtschaft

Die im Folgenden für den Sektor Landwirtschaft betrachteten Emissionen beziehen sich nur auf Emissionen aus Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O), die aus der Viehhaltung (Verdauungsprozesse der Nutztierbestände, nur CH₄), Wirtschaftsdünger (CH₄ und N₂O) und der landwirtschaftlichen Bodennutzung (N₂O) stammen. Energiebedingte Emissionen aus der Landwirtschaft (Energieverbrauch landwirtschaftlicher Betriebe, Kraftstoffeinsatz) werden im Sektor Haushalte, GHD bilanziert und nachfolgend nicht betrachtet.

Nach der hessischen Treibhausgasbilanz emittierte die Landwirtschaft im Bilanzjahr 2018 insgesamt 2,19 Mt CO₂-Äqu.²⁷, etwa hälftig in Form von Methan und Lachgas (HMUKLV 2020b). Gegenüber

²⁷ Zur Umrechnung in Kohlendioxid-Äquivalente wurden in Analogie zur hessischen Treibhausgasbilanz die Treibhausgaspotenziale (Global Warming Potential, GWP) des Intergovernmental Panel on Climate Change angewendet: GWP Methan: 25; GWP Lachgas: 298.

1990 wurde in Hessen eine Minderung um 21 % bzw. um 0,57 Mt CO₂-Äqu. erreicht. Den größeren Anteil am Rückgang hatten dabei die Methanemissionen mit 34,1 %. Dies ist vor allem auf sinkende Tierbestände in Hessen zurückzuführen. Die Lachgasemissionen gingen um lediglich zwei Prozent zurück.

5.5.4 Ableitung des Sektorziels Landwirtschaft

Das Sektorziel für die hessische Landwirtschaft wurde aus Teilzielen für die drei Teilbereiche landwirtschaftliche Böden (N₂O - Lachgas), Verdauung (CH₄ - Methan) und Wirtschaftsdünger (Lachgas und Methan) ermittelt.

Zur Bestimmung des Sektorziels wurden zunächst plausible Teilziele bestimmt. Anschließend wurden die Teilziele zu einem Ziel für die landwirtschaftlichen Methan- und Lachgasemissionen kombiniert.

Methodisch sei hier noch einmal darauf hingewiesen, dass sich die nachfolgenden Betrachtungen auf die Quellenbilanz beziehen. Emissionen, die außerhalb Hessens entstehen, werden nicht berücksichtigt. Da es in der Landwirtschaft zu Substitutionseffekten kommen kann, z.B. durch den Import von Nahrungsmitteln, die ggf. in Hessen nicht mehr produziert werden, sollten geplante Minderungsmaßnahmen nach Möglichkeit auch nach dem Verursacherprinzip untersucht werden. So sollten Nahrungsmittel so erzeugt werden, dass sie den Bedarf möglichst klimafreundlich decken können.

Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden

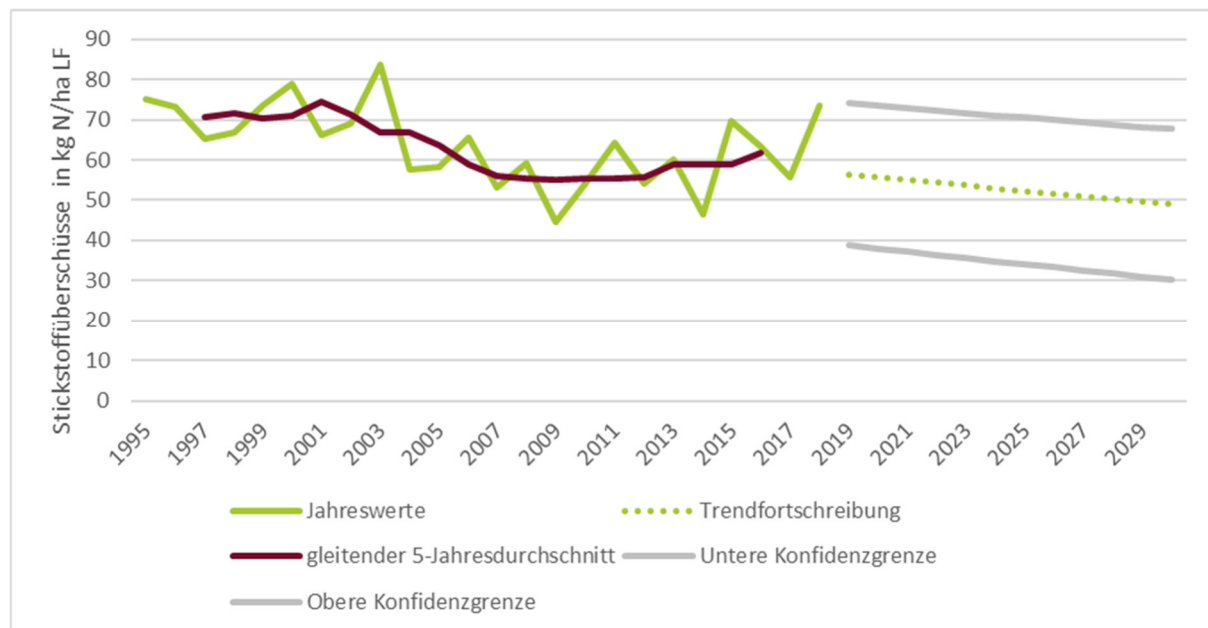
Durch die Nutzung landwirtschaftlicher Böden emittierte Hessen 2018 mit einer Megatonne CO₂-Äqu. Lachgas in der nahezu gleichen Menge wie 1990. Die Emissionswerte schwanken jedoch stark im Verlauf der Zeit, da die N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden stark von tatsächlichen Erträgen abhängen. So lagen die Emissionen von 1990 bis einschließlich 2011 im Bereich von ca. 0,8-1,0 Mt CO₂-Äqu., um danach auf Werte von 1,0-1,2 Mt CO₂-Äqu. zu steigen. Es ist zu beachten, dass die Statistik die Lachgasemissionen auf Basis des Absatzes von N-Mineraldüngern ermittelt. Da Bäuerinnen und Bauern zu Zeiten niedriger Düngemittelpreise vermehrt Dünger beschaffen, diesen aber nicht zwingend zum Zeitpunkt der Beschaffung ausbringen, ergeben sich entsprechend zusätzliche Verzerrungen.

Wichtig für die Emissionen im Bereich der Bodennutzung ist insbesondere der Stickstoffüberschuss. In Hessen gibt es einen wichtigen Trend, der darauf hindeutet, dass die N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden im Mittel grundsätzlich sinken können: So sind die Stickstoffüberschüsse in Hessen im Fünfjahresmittel²⁸ seit 1997 von 70,8 kg N/ha LF um ca. 13% auf 61,7 kg N/ha LF im Jahr 2016 zurückgegangen. Dabei lässt sich bis 2007 ein kontinuierlicher Abwärtstrend bis auf knapp unter 60 kg N/ha LF beobachten, danach sank der Fünfjahresmittelwert noch leicht auf ca. 55 kg N/ha LF, um danach wieder leicht anzusteigen, was insbesondere auf den hohen Jahreseinzelswert von 73,5 kg N/ha LF im Jahr 2018 zurückzuführen ist.

Das Land Hessen hat die Reduktion des Stickstoffüberschusses in seiner Nachhaltigkeitsstrategie fest als Indikator verankert und strebt eine Reduktion auf 40 kg N/ha LF bis 2030 an (HSL 2020b). Hält der langjährige Trend an, wäre mit einem Stickstoffüberschuss von knapp unter 50 kg N/ha LF zu rechnen (siehe Abbildung 11). Allerdings ist dabei zu beachten, dass starke Ausschläge der einzelnen Jahreswerte die Prognose stark beeinflussen können.

²⁸ Aufgrund der großen Schwankungsbreite der einzelnen Jahreswerte wird für die Betrachtung des allgemeinen Trends regelmäßig der gleitende Fünfjahresdurchschnitt berechnet.

Abbildung 11: Stickstoffüberschüsse der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Hessen (Flächenbilanz) mit Trendfortschreibung bis 2030



Quelle: Länderinitiative Kernindikatoren (2021), eigene Berechnungen.

Stickstoffüberschüsse können reduziert werden, indem die Stickstoffeffizienz der Düngung verbessert wird, d.h. nicht produktiv eingesetzter Stickstoff aus Düngern eingespart wird. Dies kann auf verschiedenen Wegen erreicht werden, z.B. durch Optimierung der Düngeplanung und -ausbringung, züchterische Maßnahmen oder andere produktionstechnische Maßnahmen, die höhere Erträge bei gleichen Stickstoffmengen versprechen (WBAE/WBW, 2016). Eine weitere mögliche Maßnahme ist die extensive Bewirtschaftung von Grünlandflächen, wie sie bereits im hessischen Agrarumweltprogramm (HALM) gefördert wird. Dabei wird eine Emissionsminderung u.a. dadurch erreicht, dass auf den Grünlandflächen auf den Einsatz von Dünger verzichtet wird.

Da aufgrund der hohen Komplexität der Prozesse rund um die Stickstoffeffizienz eine detaillierte Modellierung zur Erhöhung derselben im Rahmen dieser Studie nicht möglich war, wird als Anhaltspunkt zur möglichen Minderung der Lachgasemissionen durch die Erhöhung der Stickstoffeffizienz auf den in WBAE/WBW (2016) Ansatz zur Abschätzung des THG-Minderungspotenzials zurückgegriffen. Zur Berechnung wurden jedoch im Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V (KTBL 2017) veröffentlichte, aktuellere Werte für das THG-Reduktionspotenzial von eingespartem Stickstoff (N)-Mineraldünger verwendet. Im verwendeten Ansatz nimmt man an, dass die Minderung des Stickstoffüberschusses durch die Einsparung von N-Mineraldünger erfolgt. So ergibt sich ein Richtwert für das THG-Einsparungspotenzial, welches aber nicht zwingend nur durch die Reduktion von N-Mineraldünger erreichbar ist, sondern auch in Kombination von Mineraldüngereinsparung mit anderen, oben bereits erwähnten, Maßnahmen zur Steigerung der Stickstoffeffizienz.

Unter der Annahme, dass Hessen sein Stickstoffüberschussziel von 40 kg N/ha LF erreicht, ergäbe sich 2030 eine Minderung des Überschusses von 21,7 kg N/ha LF gegenüber dem Fünfjahresmittelwert von 61 kg N/ha LF der Jahre 2014-2018. Nach KTBL (2017) werden pro Kilogramm eingespartem Reinstickstoff ca. sechs Kilogramm CO₂-Äqu. eingespart²⁹. Weiterhin wird

²⁹ Der Wert setzt sich zusammen aus direkten Lachgasemissionen durch Stickstoff-Deposition und indirekte Lachgasemissionen durch Stickstoff-Deposition, Auswaschung und Abfluss. Emissionen aus der Produktion werden nicht berücksichtigt, da diese statistisch nicht den Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden zugeordnet sind.

davon ausgegangen, dass die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Hessen auch 2030 nach wie vor ca. 770.000 ha umfasst, was dem Mittelwert der Jahre 2017-2019 entspricht und die seit 1991 nahezu unverändert ist (HSL 2021c). Unter diesen Annahmen ergibt sich eine mögliche Minderung der Lachgasemissionen von rund 100 kt CO₂-Äqu. bis 2030. Wo und inwiefern eine weitere Minderung der Stickstoffüberschüsse (ohne erhebliche Ertragseinbußen) möglich ist, sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Da die Zielerreichung aber auch über andere Wege der Stickstoffeffizienzsteigerung möglich erscheint, kann das Ziel der Minderung von 100 kt CO₂-Äqu. als plausibel, möglicherweise auch als eher konservative Schätzung angesehen werden.

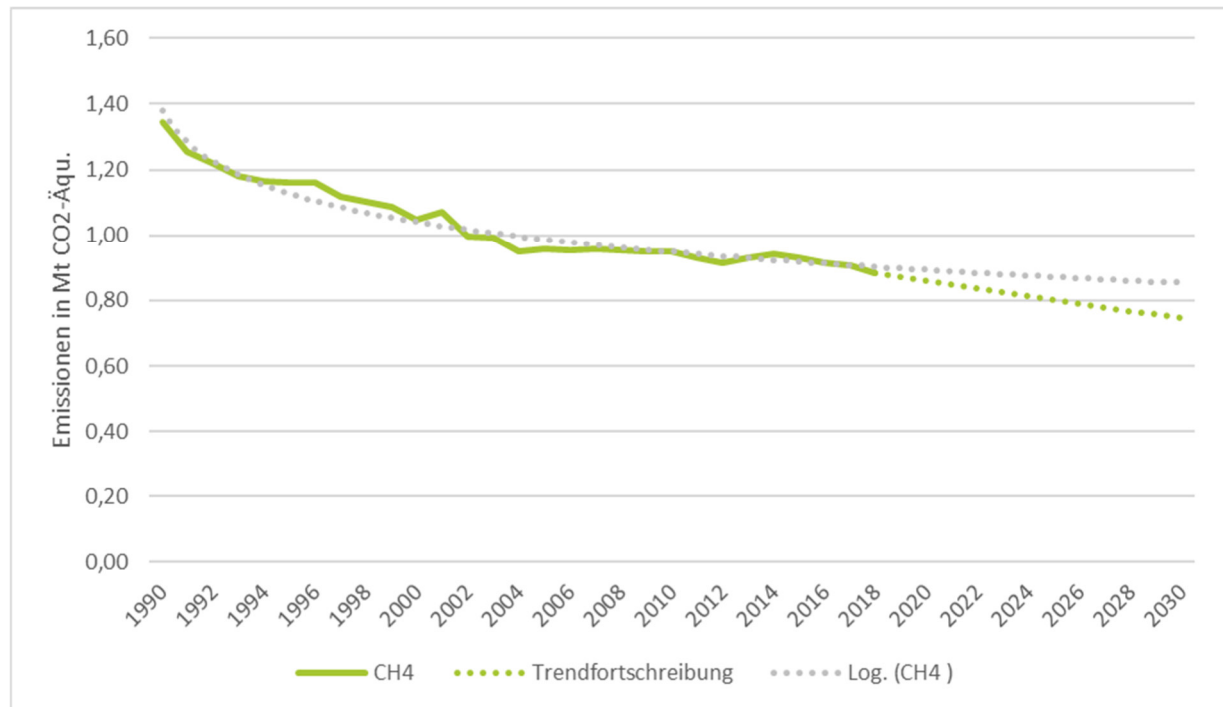
Methanemissionen aus Verdauungsprozessen der Nutztierbestände

Im Bereich der **Verdauung** wurden durch die hessische Landwirtschaft im Jahr 2018 ca. 880 kt CO₂-Äqu. emittiert, 1990 lag der Wert noch bei ca. 1.340 kt (Haenel, Hans-Dieter et al. 2020). Der bisher erfolgte Rückgang der Methanemissionen aus der Tierhaltung ist v.a. auf den Rückgang der Rinderbestände zurückzuführen.

Die verdauungsbedingten Methanemissionen nahmen zwischen 1990 und 2000 um ca. 22 % ab, also im Schnitt um 2,2 % pro Jahr. Danach verlangsamte sich der Rückgang: In den 18 Jahren seit dem Jahr 2000 belief sich der Rückgang noch auf ca. 16 %, also im Schnitt knapp unter einem Prozent pro Jahr. Schreibt man den Trend statistisch mit der in dieser Studie verwendeten Fortschreibungsmethode (Prognose mithilfe dreifach exponentieller Glättung) fort, wäre 2030 einen Wert von ca. 750 kt CO₂-Äqu. zu erwarten. Um die Verlangsamung des Trends abzubilden, wurde zudem eine logarithmische Trendfortschreibung angewendet. Nach dieser würden sich die Methanemissionen aus der Verdauung von ca. 880 kt CO₂-Äqu. im Jahr 2018 geringfügig auf ca. 860 kt CO₂-Äqu. reduzieren (siehe

Abbildung 12).

Abbildung 12: Methanemissionen aus Verdauungsprozessen mit Trendfortschreibungen



Quelle: Haenel et al (2020), eigene Berechnung.

Minderungspotenzial für Methanemissionen aus Verdauungsprozessen ergibt sich aus technologischen Minderungsoptionen, d.h. Maßnahmen, die den Methanausstoß der Individuen bzw. der Bestände insgesamt reduzieren, und der Verringerung der Produktion tierischer Produkte durch Minderung des Konsums (einschl. der Reduktion von Lebensmittelverschwendung).

Als technologische Minderungsoptionen nennt WBAE/WBW (2016) Fütterungsmaßnahmen zur Reduktion der Methanemissionen (z.B. den Einsatz von Futterzusatzstoffen oder Kraftfutter), züchterische Maßnahmen zur Verbesserung der Produktivität und damit der Reduktion der individuellen THG-Emissionen der Tiere sowie den Umbau des Rinderbestandes durch die gezielte Besamung von Milchkühen zur Erhöhung der Produktion männlicher Kälber für die Mast. Allerdings lassen sich tatsächliche Effekte nicht verlässlich abschätzen, da z.B. züchterische Maßnahmen oder Umbauten der Tierbestände eher mittel- bis langfristig wirken. Auch die Wirkung neuartiger Fütterungsmethoden ist noch nicht verlässlich abschätzbar, da sie sich aktuell noch im Forschungsstadium befinden. Zudem ist zu beachten, dass diese Maßnahmen zwar ein Minderungspotenzial haben, allerdings auch Zielkonflikte entstehen können, wie sie z.B. ausführlich in WBAE/WBW 2016 diskutiert werden. So kann z.B. der Einsatz von Kraftfutter sich negativ auf die Tiergesundheit auswirken oder die Produktion von Mastkälbern zu mehr Tiertransporten (Mastrindproduktion findet häufig im Ausland statt) und damit höheren CO₂-Emissionen und die mit den Tiertransporten verbundenen Tierwohlproblemen führen. Entsprechend stehen technologische Minderungsoptionen zwar zur Verfügung, deren Einsatz muss aber aufgrund der möglichen Zielkonflikte im Einzelnen geprüft werden. Eine Quantifizierung des Minderungspotenzials war entsprechend im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

Um einen Anhaltspunkt notwendiger Emissionsminderungen verdauungsbedingter Emissionen zu erzielen, wurde ein Szenario berechnet, in dem eine moderate Abstockung der Rinderbestände erfolgt. Rinder machten 2018 95 % der Methanemissionen im Bereich der Verdauung aus. In den zwölf Jahren bis 2018 gingen die Bestände an Milchkühen um ca. 14 % und an anderen Rindern um ca. neun Prozent zurück (Haenel et al., 2020). Würde in den zwölf Folgejahren – also zwischen 2018 und 2030 - eine weitere moderate Abstockung von zehn Prozent bei Milchkühen und sechs Prozent bei anderen Rindern erfolgen, ergäbe sich zwischen 2018 und 2030 eine Minderung der THG-

Emissionen aus der Verdauung um ca. 70 kt CO₂-Äqu. Die Restemissionen lägen dann noch bei etwa 810 kt CO₂-Äqu. Allerdings wären bei dieser Maßnahme ebenfalls mögliche unerwünschte Nebeneffekte zu beachten. So tragen z.B. Rinderbestände erheblich zum Erhalt von Dauergrünland bei, das große Mengen an Kohlenstoff speichert. Eine Abstockung müsste also so erfolgen, dass nach wie vor genügend Tiere den Erhalt von Dauergrünland sicherstellen. Weiterhin darf keine Situation entstehen, in der ein Rückgang der Produktion tierischer Produkte in Hessen durch einen mit hoher Wahrscheinlichkeit THG-intensiveren Import solcher Produkte kompensiert wird. Entsprechend muss hier also am Konsum tierischer Produkte angesetzt werden.

Als Teilziel für den Bereich der verdauungsbedingten Emissionen wird die Reduktion um 70 kt CO₂-Äqu. vorgeschlagen. Da neben der Bestandsreduktion weitere technologische Optionen zur Verfügung stehen, kann dieses Ziel auch aus einer Kombination verschiedener Maßnahmen erreicht oder auch übererfüllt werden. Auch mit Blick auf das Erfordernis weiterer Emissionsreduktionen auch über 2030 hinaus sollten in jedem Fall alle zur Verfügung stehenden Optionen untersucht und weiterverfolgt werden.

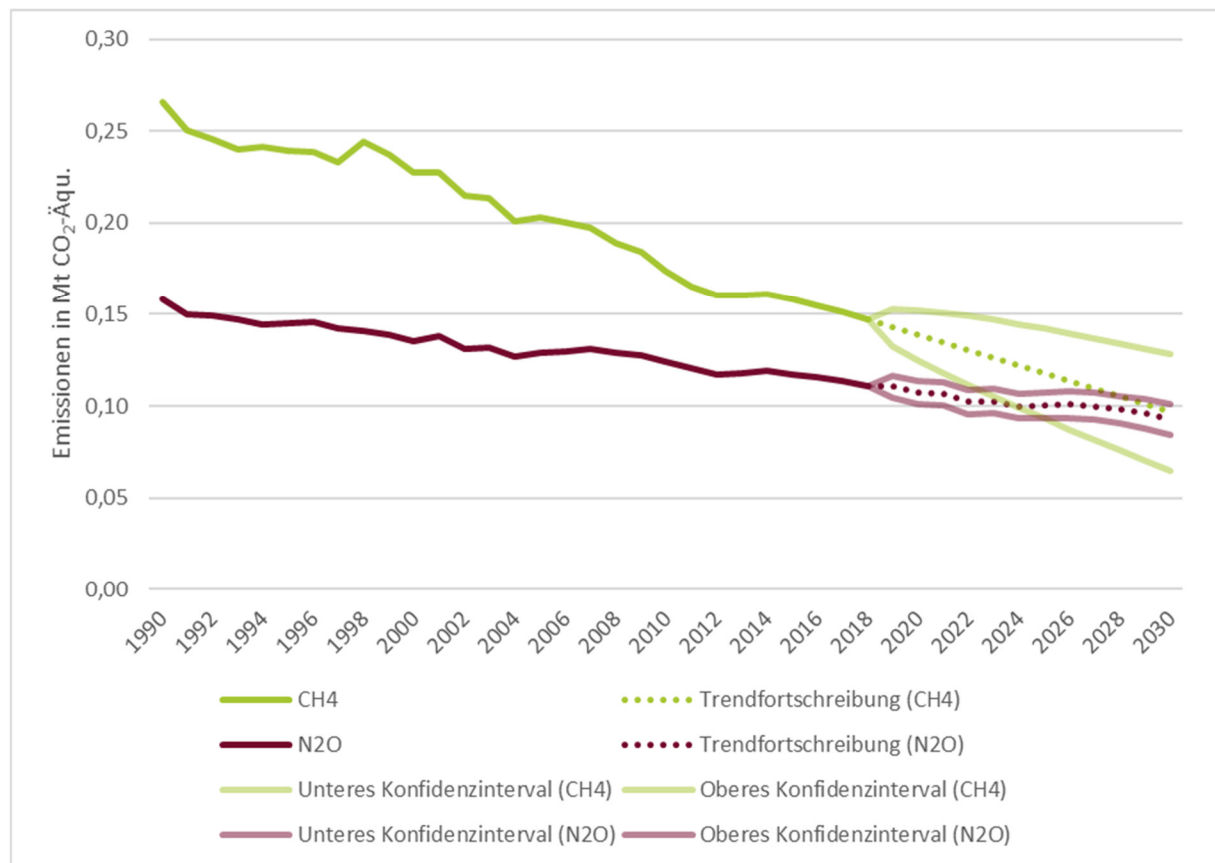
Methan- und Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdünger

Methan- und Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdünger³⁰ machten 2018 zusammen etwa 260 kt CO₂-Äqu aus (1990 lag der Wert bei ca. 420 kt CO₂-Äqu.). Obwohl mengenmäßig der Minderungsbeitrag eher begrenzt ist, ist doch bei beiden Gasen ein deutlicher Abwärtstrend erkennbar. Haupttreiber sind hier der Rückgang der Tierbestände, der verstärkte Einsatz von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen (Güllebonus) und die Senkung von Ammoniakemissionen aufgrund der Umsetzung der Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen (NEC-Richtlinie). Die Abdeckung von Gärrestbehältern von Biogasanlagen sowie die gasdichte Lagerung von Gülle aus der Rinder- und Schweinehaltung als auch die bereits im Zusammenhang mit den landwirtschaftlichen Böden erwähnten emissionsarmen Ausbringungstechniken tragen ebenfalls, zur Minderung der Emissionen bei.

Schreibt man den Abwärtstrend bei Methan- und Lachgasemissionen aus Wirtschaftsdünger bis 2030 fort (Abbildung 13), so ergibt sich ein Minderungsbeitrag von ca. 70 kt CO₂-Äqu. bzw. 27 % gegenüber 2018. Für Deutschland insgesamt projiziert UBA (2020) im Bereich Wirtschaftsdünger einen Rückgang um ca. 25 % gegenüber dem Ende der Zwanzigerjahre, sodass der hier geschätzte Wert in der Größenordnung als plausibel betrachtet werden kann, wenn auch Unsicherheiten bestehen, was z.B. den dem Trend auch zugrundeliegenden Einsatz von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen und dessen noch vorhandenes Potenzial in Hessen angeht.

³⁰ Im Berichtsformat der Europäischen Klimaberichterstattung (CRF) wird statt Wirtschaftsdünger der Begriff Düngewirtschaft verwendet. In dieser Studie wird in Analogie zur hessischen THG-Bilanz der Begriff Wirtschaftsdünger verwendet.

Abbildung 13: Emissionen aus Wirtschaftsdünger und Trendfortschreibung



Quelle: Haenel et al (2020), eigene Berechnung.

Gesamtminderung und Festlegung des Minderungsziels

Insgesamt lässt sich also festhalten, dass sich bis 2030 gegenüber den Berichtsjahren 2018 bzw. 2017 (dem letzten Berichtsjahr zu den Stickstoffüberschüssen) aus den drei Bereichen landwirtschaftliche Böden, Verdauung und Wirtschaftsdünger bis 2030 weitere ca. 240 kt CO₂-Äqu. einsparen lassen. Addiert man dies zu der bereits erfolgten Minderung in diesen Bereichen zwischen 1990 und 2018 in Höhe von ca. 610 kt CO₂-Äqu., ergibt sich eine Gesamtminderung von ca. 870 kt CO₂-Äqu. bzw. gerundet 32 % gegenüber 1990. Tabelle 13 gibt einen Überblick über die Zusammensetzung dieser Werte.

Tabelle 13: THG-Minderungen in den Subsektoren und vorgeschlagene Gesamtminderung im hessischen Landwirtschaftssektor

	Emissionen 1990	Emissionen 2018	Emissionen 2030	Minderung 2030 gegenüber 1990	Minderung 2030 gegenüber 1990	Minderung 2030 gegenüber 2018
	Mt CO2- Äqu.	Mt CO2- Äqu.	Mt CO2- Äqu.	Mt CO2- Äqu.	in %	Mt CO2- Äqu.
Landwirtschaft- liche Böden (N ₂ O)	0,99	1,01	0,91	0,10	10%	0,10
Verdauung (CH ₄)	1,34	0,88	0,81	0,54	40%	0,07
Wirtschaftsdünger (CH ₄)	0,27	0,15	0,10	0,17	64%	0,05
Wirtschaftsdünger (N ₂ O)	0,16	0,11	0,09	0,07	41%	0,02
Summe	2,76	2,15	1,91	0,87	32%	0,24

Quelle: HSL (2021a), eigene Berechnung.

Als **Minderungsziel für die Methan- und Lachgasemissionen in der Landwirtschaft** wurde der Wert von 32 % ermittelt. Es ist zu beachten, dass es bezüglich des Einsatzes von Wirtschaftsdünger in Biogasanlagen Unsicherheiten gibt, die dieser Zielsetzung entgegenlaufen könnten. So schätzt die Projektion für die Landwirtschaft in UBA (2020) – in der das bundesdeutsche Sektorziel für die Landwirtschaft deutlich unterschritten wird – die Erhöhung der Wirtschaftsdüngervergärung auf 40 % des anfallenden Wirtschaftsdüngers in Deutschland als sehr ambitioniert ein. Auch der Rückgang der Tierbestände ist grundsätzlich als reversibel zu betrachten, da sich das Marktgeschehen ändern kann. Allerdings kann Hessen insgesamt eine Vorreiterrolle einnehmen. Die gesteckten Ziele zur Ausweitung des Ökolandbaus (in dem z.B. weniger Mineraldünger eingesetzt wird) aber auch zur ambitionierten Reduktion der Stickstoffüberschüsse können relevante Impulse geben, die das Ziel von 32 % als durchaus erreichbar oder gar übererfüllbar erscheinen lassen.

5.5.5 Maßnahmen zur Zielerreichung im Sektor Landwirtschaft und Handlungskompetenzen Hessens

5.5.5.1 Handlungsmöglichkeiten Hessens

Im Rahmen des IKSP 2025 werden bereits verschiedene Maßnahmen, die auf eine **Reduktion der Methan- und Lachgasemissionen** im Landwirtschaftssektor abzielen, umgesetzt.³¹ Bisher steht im IKSP 2025 die Verringerung von Stickstoffüberschüssen an erster Stelle. Zu den Maßnahmen, die sich bereits in der Umsetzung befinden, zählen beispielsweise:

Landwirtschaftliche Böden

- Minderung der Stickstoffüberschüsse in der Landwirtschaft durch strengere Anwendung bestehender Gesetze (Ausweitung des Vollzugs), inkl. Einrichtung eines Meldeprogramms für

³¹ An dieser Stelle werden Maßnahmen, die auch den Sektor Landwirtschaft betreffen, jedoch nicht die Reduktion der Methan- oder Lachgasemissionen zum Ziel haben, nicht mit betrachtet. Dazu zählen z.B. Maßnahmen zur im Bereich Energieeffizienz, Reduktion von Torfeinsatz oder der Schutz von Moorböden.

Wirtschaftsdünger zur Erhöhung der Transparenz der bundesländerübergreifenden Nährstoffströme

- Erhalt und Förderung von Dauergrünland (HALM)
- Schutz von Moorböden als ergänzende Maßnahme

Wirtschaftsdüngermanagement

- Steigerung der Stickstoffeffizienz durch technische Maßnahmen im Bereich Ausbringung und Lagerung von Gülle und Gärresten

Reduktion verdauungsbedingter Emissionen

- Einsatz Hessens für eine integrierte Strategie zur Verringerung der Emissionen der Tierhaltung
- Bildung für eine klimabewusste Ernährung und Schulungen für klimafreundliche Großküchen

Übergreifende Maßnahmen

- Förderung des ökologischen Landbaus
- Beratung für landwirtschaftliche Betriebe zu Klimaschutz und Klimawandelanpassung

5.5.5.2 Anknüpfungspunkte für künftige Maßnahmen in Hessen

Die bereits bestehenden Maßnahmen in den drei Bereichen sowie übergreifender Natur lassen sich durch die folgenden Ansätze weiter ergänzen:

Landwirtschaftliche Böden

- Die **Beratung** durch den Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) zur betriebsspezifischen Optimierung und zum Bodenschutz inkl. Düngevorgaben und -empfehlungen, aber auch zu Klima- und Energiebilanzen sowie Humusbilanzen sollte ausgeweitet werden, da in bestimmten Kulturen (z.B. im Gemüseanbau) möglicherweise immer noch zu hohe Düngermengen ausgebracht werden. Auch mit Blick auf die neuen EU-Vorgaben und Fördermöglichkeiten ökologischer Maßnahmen erscheint es denkbar, dass Landwirt*innen noch weiteren Informationsbedarf haben, sodass zusätzliche Beratung zu Klimaschutzauflagen und möglichen Maßnahmen und Förderungen sinnvoll erscheint. Während insbesondere große Betriebe mehr Ressourcen haben, sich hier über Vorgaben zu informieren, könnte bei kleineren Betrieben ein erhöhter Förderbedarf bestehen. Der LLH genießt in Bezug auf Beratung großes Vertrauen bei den Landwirt*innen. Personell müsste der LLH ggf. aufstocken, um eine ausgedehnte Beratung leisten zu können. Dabei erscheint besonders wichtig, dass die Landwirt*innen sehr gezielt dort beraten werden, wo noch hohe Stickstoffüberschüsse auftreten, da Hessen im Vergleich zum Bundesdurchschnitt im Schnitt bereits weniger Stickstoffüberschüsse hat und damit vielerorts auch schon die DüV erfüllt. Auch könnte in diesem Zuge Beratung in Bezug auf die Effektivität von unterschiedlichen Ausbringungstechniken erfolgen.
- Um Lachgasemissionen aus Stickstoffüberschüssen zu reduzieren, muss ein ausreichender Vollzug der DüV gewährleistet sein. Der **Ausbau des Vollzugs** sollte über den Ausbau von Personal zur Überprüfung der Einhaltung der DüV gestärkt werden. Die Überprüfung sollte dabei mit einem Monitoring der Wirkungen, aber auch möglichen nicht-intendierten negativen Effekten wie bspw. die Verlagerung aus streng überwachten Regionen in andere Gegenden einhergehen.

- Die Förderung des kurzfristigen Zwischenfruchtanbaus und die Förderung des langfristigen Dauererhalts von Grünland könnten über weitere mittelfristige Förderung von besonders humusmehrenden Methoden, sog. „Carbon Farming“ bzw. **regenerative Landwirtschaft** ergänzt werden. Dies wirkt sich nicht nur positiv auf die CO₂-Bilanz aus, sondern trägt auch zur Bodenverbesserung und zur erhöhten Wasserspeicherkapazität insgesamt bei. Auch werden durch den Rückgang im Silomaisanbau zur Gärsubstraterzeugung Flächen frei, die für den Anbau von Pflanzen genutzt werden können, die einen höheren Kohlenstoffeintrag in den Boden leisten. Die Prämien für Grünland und Zwischenfruchtanbau liefern bisher nur zum Teil Anreize dafür, besonders kohlenstoffeinlagernde Pflanzen langfristiger anzubauen. Das Programm „Vielfältige Kulturen im Ackerbau“ im Rahmen des HALM sieht bspw. vor, dass jährlich mindestens fünf unterschiedliche Hauptfruchtarten inklusive Leguminosen angebaut werden müssen, und sorgt damit für eine Risikostreuung sowie die Förderung von Humusaufbau und damit Wasserretention (LLH 2021). Insbesondere konventionelle Bäuerinnen und Bauern könnten über die Entlohnung für die „Biosequestrierung“ überzeugt werden, Flächen mittelfristig mit Blick auf die Bodenverbesserung zu bewirtschaften (Haas 2017; Bockholt 2020). Inwieweit der Einsatz von Biokohle zusätzlich zur Verbesserung der Böden, dem Humusaufbau und der Verringerung von Stickstoffverlusten auf den Flächen im Land Hessen beitragen könnte, müsste in ausgangsstoff-, standort- und nutzungsbezogenen Anwendungsversuchen weiter untersucht werden (vgl. z.B. UBA 2016). Erste Studien dazu liegen vor (vgl. u.a. Kammann et al. 2016).

Wirtschaftsdüngermanagement

- Emissionsärmere **Klimaställe** (Offenfrontställe, Offenställe), die den Tieren relativ freie Bewegung ermöglichen und durch die offenen Außenwände besser belüftet sind und damit dem Außenklima entsprechen, könnten ausgebaut werden, müssten dann allerdings auch mit Harn-Kot-Trennung versehen werden, um Ammoniakemissionen schon nah an der Quelle reduzieren zu können (LLH 2019). Die Sammlung der Exkrememente für die Verwendung in Biogasanlagen ist überdies auch in dieser Art von Ställen möglich, was bei einer Weidehaltung nicht der Fall wäre. Hier sind die Investitionszyklen der Bäuerinnen und Bauern zu berücksichtigen.
- Es sollte zunächst überprüft werden, in welchem Maße noch Potenzial für den **Einsatz von Gülle in Biogasanlagen** in Hessen besteht. Obwohl die Förderung der Nutzung von Gülle in Biogasanlagen auf Bundesebene über das EEG (Güllebonus) geschieht, könnte dann auf Landesebene die Aufklärung zur Nutzung von Gülle in Bestandsanlagen für nachwachsende Rohstoffe und die Bekanntheit der Förderung von Kleinanlagen zur Güllevergärung ausgeweitet werden. Faktoren, die die vermehrte Nutzung von Wirtschaftsdünger in Bestandsanlagen hemmen, wären ebenfalls zu prüfen und zu adressieren. Beispielsweise unterliegt die Lagerung von Wirtschaftsdünger für Biogasanlagen anderen Genehmigungsauflagen als die Lagerung von Gülle und Festmist für die herkömmliche landwirtschaftliche Nutzung. Hierdurch kann es für die Landwirt*innen bzw. Betreiber*innen der Anlagen nicht wirtschaftlich sein, vermehrt Wirtschaftsdünger einzusetzen. Derzeit wird deutschlandweit nur etwa ein Viertel des anfallenden Wirtschaftsdüngers vergoren, dieser Anteil ließe sich nach Angabe der Verbände auf 60 % ausweiten (Hauptstadtbüro Bioenergie 2019).
- Die Abdeckung bzw. baulichen Veränderungen der **Gärrestelager** sollten weiter finanziell unterstützt werden, da landwirtschaftliche Betriebe bauliche Maßnahmen langfristig planen und hier ggf. in der Vergangenheit entstandene Lock-In-Effekte zu kompensieren sind.
- Im Bereich der Ammoniakemissionen gibt es internationale Ansätze oder Forschungsrichtungen, die für den Einsatz in Hessen weiter geprüft werden könnten. Dazu

zählt vor allem der Einsatz von anorganischen und organischen Zusätzen zur Gülle (bspw. Schwefelsäure, Pflanzenkohle und Gesteinsmehl). Das Pilotprojekt EmiGüll untersucht derartige Effekte im Rahmen einer Fördermaßnahme des Ökoaktionsplans, die abschließenden Ergebnisse stehen noch aus (HMUKLV 2019).

Verdauung

- Um Methan weiter zu reduzieren, gäbe es die Möglichkeit, **Viehichten** auf den gegebenen Flächen weiter zu reduzieren, u.a. über eine Förderung höherer Tierwohlstufen. Negative Auswirkungen auf die Grünlanderhaltung sind hierbei zu vermeiden.
- Forschungen belegen, dass die Methan-Emissionen aus Verdauungsprozessen über Ergänzungsfuttermittel reduziert werden können.³² Hierzu plant Hessen ein Pilotprojekt. In diesem Bereich besteht weiterer Forschungsbedarf und es müssen mögliche Nebeneffekte untersucht werden (Einfluss auf Stoffwechsel, Milch- oder Fleischqualität o.Ä.). Ggf. könnte die Landesregierung weitere Forschungsvorhaben oder Pilotprojekte zur Methanreduktion durch Futterzusätze fördern.
- Darüber hinaus bestehen wichtige Ansätze mit Blick auf die **Nachfrageseite**: Die bestehenden Programme zu **klimafreundlicher Ernährung** und der Vermeidung von Lebensmittelabfällen und **Lebensmittelverschwendung** sollten ausgeweitet werden. Die EU will rechtsverbindliche Ziele bis 2030 vorschlagen, Hessen kann im Rahmen von Aufklärung, Bildung und Beratung hier bereits agieren.³³ Möglich wäre die Umstellung der landeseigenen Großküchen hin zu einem größeren Angebot vegetarischer und veganer Speisen oder regionaler Produkte, beispielsweise über die Ausschreibungspraxis oder die Anpassung der **Landeskantinenrichtlinie** (wird auch im Rahmen des KSPr 2030 auf Bundesebene vorgeschlagen).³⁴ Bisher sind im Rahmen des IKSP 2025 (Maßnahme Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (IGHD)-16) Aktivitäten zur Sensibilisierung bzw. Aus- und Weiterbildung des Personals in Großküchen und Kantinen, ein Wettbewerb, der die klimafreundlichste Verpflegungseinrichtung in Hessen prämiert, sowie eine Handreichung vorgesehen. Die Handreichung soll als geltende Richtlinie mit den Pächtern vertraglich verankert werden. Hier wäre zu prüfen, inwieweit auch laufende Pachtverträge diesbezüglich angepasst werden können.

Übergreifende Maßnahmen

- Der Ausbau des Ökolandbaus sollte über bestehende Maßnahmen wie **Umstiegsprämien** weiter gefördert werden, um das Ziel von 25 % Anteil an der LF zu erreichen. Um die Wirtschaftlichkeit kleiner Betriebe zu sichern, könnte auf Landesebene auch geprüft werden, eine Pachtpreismbremse einzuführen.
- Die Stärkung der **Nachfrage** nach ökologisch erzeugten Produkten bspw. in Kantinen vergrößert den Absatzmarkt für ökologische Produkte und führt damit zu einem Anreiz, weitere Flächen für den Ökolandbau zu nutzen. Instrumente zur Vermarktung regionaler oder ökologisch erzeugter Produkte sind beispielsweise bestehende Ansätze wie die Ökomodellregionen in Hessen, die speziell daran arbeiten, Nachfrage mit ökologischen

³² Beispielsweise arbeitet die Firma MOOTRAL mit Organsulfurverbindungen aus Knoblauch und Bioflavonoiden von Bitterorangen, andere Versuche nutzen Rotalgen als Futterzusatz (Wissenschaft.de 2021).

³³ Siehe z.B. <https://umwelt.hessen.de/presse/pressemitteilung/hessen-sucht-100-klimakantinen> und <https://umwelt.hessen.de/ernaehrungsstrategie>.

³⁴ Siehe z.B. auch den Abschlussbericht des Praxisprojekts „Essen in Hessen“: https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuenvl/wwf_esseninhessen_jederschritt_web.pdf

Produkten aus Hessen zu decken. In der Region Fulda gibt es das Projekt „Mehr hessisches Bioweiderrind auf hessischen Tellern“. Die Ausweitung von Verbraucherkampagnen, das Label „Gutes aus Hessen“, oder der Landmarkt bei Supermarktketten, die regionale „Ecken“ in ihren Geschäften haben, bieten weitere Ansatzpunkte. Mit Blick auf den ökologischen Fußabdruck Hessens ist eine größtmögliche Abdeckung der Nachfrage nach tierischen Produkten aus heimischer Produktion anzustreben, um Verlagerungseffekte zu vermeiden.

- Darüber hinaus könnten **Dialogformate** bzw. „Austauschprogramme“ zwischen der ökologischen und konventionellen Landwirtschaft Vorurteile bezüglich zum Beispiel der Wirtschaftlichkeit der ökologischen Landwirtschaft abbauen. Ähnlich wie in der Forstwirtschaft, wo der Anbau von Mischwäldern sich in den letzten Jahren nicht nur als ökologisch wünschenswerte, sondern auch als wirtschaftlichste Option herausstellt, wäre die wirtschaftliche Lage von Betrieben des ökologischen Landbaus häufig ähnlich und in einigen Jahren möglicherweise besser als in konventionellen Vergleichsbetrieben (BMEL 2019). Konventionelle Betriebe gehen jedoch häufig davon aus, dass es im Ökolandbau höhere Risiken gibt.

Insbesondere im Sektor Landwirtschaft sind die vielfältigen Interdependenzen von Prozessen teilweise nur schwer vorhersehbar und zusätzliche Maßnahmen, die Klimaschutz zum Ziel haben, sollten daher immer genau mit dem Blick auf andere nicht erwünschte Effekte bspw. im Bereich Umwelt- oder Tierschutz betrachtet werden. So dient z.B. offen gelagerter Mist Insekten als Nahrungsquelle (Naturschutzbund 2021) und dies wird durch eine emissionsichere Abdichtung eingeschränkt. Auch haben sich in der Vergangenheit Auflagen in anderen Bereichen (bspw. bzgl. der Hygiene in der Fleischproduktion) negativ auf die Wirtschaftlichkeit kleiner Betriebe ausgewirkt. Vor diesem Hintergrund zeigen die vorgenannten Punkte erste Ansätze für weitere Maßnahmen auf, die vor einer Konkretisierung auf unerwünschte Nebeneffekte geprüft werden müssen.

5.5.6 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Wälder

Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) ist ein Sektor, der in der Klimarahmenkonvention definiert ist. Darin werden im gemeinsamen Berichtsformat der EU (CRF Quellkategorie 4) Emissionen (z.B. durch Umbruch von Dauergrünland in Ackerland) bzw. Kohlenstoffspeicherung (z.B. in Wäldern) bilanziert. Es ist kein Sektor des bundesdeutschen KSG, vorgeschrieben ist jedoch, dass er als Kohlenstoffsenke erhalten bleibt. Er wird im Rahmen der Berichterstattung der EU angegeben (vgl. UBA 2021a). Im novellierten KSG 2021 sind exakte Ziele des LULUCF Sektors für die Jahre 2030, 2040 und 2045 definiert worden, um die Senkenwirkung zu stärken.

In der hessischen THG-Bilanz wird dieser Sektor nachrichtlich ausgewiesen, und Hessen adressiert den Sektor im Rahmen des IKSP 2025. Der LULUCF-Sektor hatte entsprechend der hessischen THG-Bilanz im Jahr 2018 eine Senkenwirkung von 4,8 Mt CO₂-Äqu. Die Senkenwirkung ging demnach im Vergleich zu 1990 insgesamt um 13,1 % zurück.

Die Berechnung eines Sektorziels für LULUCF war nicht Bestandteil dieser Studie. Dennoch sei im Folgenden kurz auf einige Aspekte dieses Sektors mit Blick auf Hessen hingewiesen:

- 42 % der Landesfläche in Hessen besteht aus Wald, Hessen ist damit zusammen mit Rheinland-Pfalz Spitzenreiter in Deutschland (Landesregierung Hessen 2019). Nach bundesdeutschem KSP 2050 wurden 2014 in Deutschland ca. 58 Mt CO₂-Äqu. netto gebunden. Um den Wald als Kohlenstoffsenke zu erhalten, gibt es im aktuellen IKSP diverse Maßnahmen im Bereich der Anpassung des Waldes an den Klimawandel, die auch den Erhalt des Waldes als Kohlenstoffsenke sicherstellen sollen, als auch Maßnahmen, mit denen das Einspeichern von Kohlenstoff in Holz und Holzprodukte gefördert werden soll.

- Obwohl Moore in Hessen flächenmäßig eher eine untergeordnete Rolle spielen, diese aber als effizienter Kohlenstoffspeicher gelten, fördert Hessen im Rahmen des IKSP den Schutz von organischen Böden einschließlich von Niedermoorstandorten. Die Förderung beinhaltet z.B. die Wiederherstellung von Mooren (einschließlich der Renaturierung von Waldmooren) oder den Schutz von organischen Böden beispielsweise durch extensive Grünlandnutzung.
- Weitere Maßnahmen des IKSP mit direkter oder indirekter Wirkung für den Klimaschutz im Bereich LULUCF sind die Reduktion von Torfeinsatz, die Förderung klimasensitiver Landwirtschaft, die Entwicklung einer Handlungsstrategie zur Stabilisierung des Wasseraushalts unter dem Klimawandel und der Erhalt und die Förderung von Dauergrünland.

5.6 Sonstige Methan- und Lachgasemissionen

5.6.1 Methodische Vorbemerkungen

Die hessische Treibhausgasbilanz weist neben den energie- und prozessbedingten CO₂-Emissionen CH₄- und N₂O-Emissionen für mehrere Sektoren separat aus. Einer der Emissionssektoren für beide Treibhausgase ist die Landwirtschaft, für die oben bereits separat ein eigenes Sektorziel abgeleitet wurde.

Der größte Teilsektor im Bereich der sonstigen Methan- und Lachgasemissionen (ohne Berücksichtigung der Landwirtschaft) war 1990 der Abfall- und Abwasserwirtschaftssektor, der im Jahr 1990 3,4 Mt CO₂-Äqu. emittierte. Im Jahr 2018 wurden hier nur noch 670 kt CO₂-Äqu. emittiert. Der andere Teilbereich sind energie- und prozessbedingten CH₄- und N₂O-Emissionen³⁵, die zusammen 1990 etwa eine Megatonne CO₂-Äqu. und im Jahr 2018 noch ca. 811 kt CO₂-Äqu. ausmachten.

Im Folgenden wird zunächst für den Sektor Abfall- und Abwasserwirtschaft ein eigenes Sektorziel für Hessen bestimmt und danach ein Ziel für die energie- und prozessbedingten Emissionen. Da die verbleibenden Emissionen im Abfall- und Abwasserbereich sehr gering sind, wird für alle Emissionen außerhalb des Landwirtschaftssektors nur ein einziges Sektorziel für „Sonstige Methan- und Lachgasemissionen“ definiert, das sich aus diesen beiden Teilbereichen zusammensetzt.

In diesem Bereich „Sonstige Methan- und Lachgasemissionen“ wird auf eine gesonderte Diskussion der rechtlichen Rahmenbedingungen und Maßnahmen verzichtet, da – wie bereits erwähnt – die verbleibenden Emissionen für den Abfall- und Abwasserbereich heute noch sehr gering sind und zu erwarten ist, dass das Bundesziel in diesem Bereich aufgrund der bestehenden Vorgaben erreicht werden (Öko-Institut et al. 2020). Weiterhin wird erwartet, dass die energie- und prozessbedingten CH₄- und N₂O-Emissionen sich meist in dem Maße verändern, wie die entsprechenden CO₂-Emissionen³⁶, sodass hier auf die entsprechenden vorstehenden Kapitel verwiesen werden kann. Eine Ausnahme bilden die diffusen Methanemissionen aus der Energiewirtschaft (dabei handelt es sich im Wesentlichen um Emissionen aus Lecks in Erdgasverteilssystemen). Auf die in diesem Zusammenhang relevante EU-Methanstrategie zur Reduktion von diffusen Methanemissionen aus der Energiewirtschaft wird kurz in dem entsprechenden Abschnitt eingegangen.

5.6.2 Abfall und Abwasserwirtschaft

5.6.2.1 Emissionen und Trends

Im Bilanzjahr 2018 emittierten die Abfall- und Abwasserwirtschaft insgesamt ca. 670 kt CO₂-Äqu. Das Treibhausgas Methan dominiert diese mit 90 % der Emissionen und stammt zu 93 % aus der Abfalldeponierung (HSL 2021a).

Gegenüber 1990 wurde in Hessen in diesem Bereich damit bereits eine Minderung der THG-Emissionen um 81 % (2,8 Mt CO₂-Äqu.) erreicht. Dieser erhebliche Rückgang ist zum einen auf die stärkere Wiederverwertung und die energetische Nutzung von Abfällen zurückzuführen. Zum anderen wurden durch die bessere Erfassung und Nutzung von Deponiegasen erhebliche Minderungen von Methanemissionen erzielt. Wichtiger Treiber war dabei die 2001 in Kraft getretene Abfallablagerungsverordnung, die strenge Ablagerungskriterien beinhaltete, die vor allem auf die Methanemissionen abzielten. Das seit 2005 geltende Ablagerungsverbot für nicht vorbehandelte

³⁵ Diese stammen aus den Sektoren Verkehr, aus Feuerungsanlagen der Energiewirtschaft, der Industrie und von Gebäuden, aus der Energiegewinnung und -verteilung, sowie aus Prozessen und Produktanwendungen.

³⁶ Eine Reduktion des Verbrauchs von fossilem Treibstoff im Verkehr führt beispielsweise zu entsprechenden Minderungen der Lachgasemissionen, die durch bei der Verbrennung der Treibstoffe entstehen.

organisch abbaubare Siedlungsabfälle führte dazu, dass seitdem kaum noch organische Substanzen in Hausmülldeponien abgelagert werden (UBA 2021c), sodass hier künftig kaum noch Methanemissionen entstehen werden.

Im Bereich der Abwasserbehandlung wurden 2018 insgesamt ca. 84 kt CO₂-Äqu. emittiert (zu nahezu gleichen Teilen Lachgas und Methan). 1990 lag die Gesamtsumme noch bei 172 kt CO₂-Äqu. Die Emissionen gingen dann bis zum Jahr 2000 stark auf 109 kt CO₂-Äqu. zurück. Die Abnahme setzte sich bis 2013 auf 81 kt CO₂-Äqu. fort, stieg danach aber wieder leicht an, was auf die leichte Zunahme von Lachgasen ab 2013 zurückzuführen ist, die die weitere Abnahme der Methanemissionen überkompensierte (HSL 2021a).

5.6.2.2 Ableitung des Sektorteilziels für Emissionen aus der Abfall und Abwasserwirtschaft

Aufgrund der bereits getroffenen Maßnahmen ist durch den anhaltenden Ausgasungsprozess in den Abfalldeponien eine Fortsetzung des Rückgangs der Methanemissionen aus den Abfalldeponien zu erwarten. Im Abwasserbereich ist mit keinen wesentlichen weiteren Änderungen zu rechnen. UBA (2020) geht für Deutschland insgesamt davon aus, dass das bundesdeutsche Minderungsziel von 87 % für Abfall und Abwasser erreicht wird. Als Haupthebel wird dabei die weitere Förderung der optimierten Gaserfassung genannt, die bis 2030 eine Minderungswirkung deutschlandweit von 0,8 Mt CO₂-Äqu. hat. Es erscheint plausibel, dass die in Deutschland zu erwartende Zielerreichung auch in Hessen eintritt, sodass das Ziel von 87 % als Sektorteilziel im Bereich Abfall und Abwasser angewendet wird.

5.6.3 Energie und prozessbedingte Methan und Lachgasemissionen

5.6.3.1 Emissionen und Trends

Energie- und prozessbedingte Methan- und Lachgasemissionen stammen aus den Sektoren Verkehr, aus Feuerungsanlagen der Energiewirtschaft, der Industrie und von Gebäuden, aus der Energiegewinnung und -verteilung, sowie aus Prozessen und Produktanwendungen. Zusammengenommen wurden in diesem Bereich im Jahr 2018 ca. 811 kt CO₂-Äqu. emittiert und damit knapp ein Fünftel weniger als im Jahr 1990.

Mit 433 kt CO₂-Äqu. waren im Jahr 2018 die Methanemissionen aus der Energiewirtschaft dominierend, hinzu kamen noch 49 kt CO₂-Äqu. in Form von Lachgas. Insgesamt kann festgestellt werden, dass diese Methanemissionen im Jahr 1990 noch bei 470 kt CO₂-Äqu. lagen und seit dem Jahr 2000 immer um einen Wert von 400 kt CO₂-Äqu. pendelten. Die Methanemissionen in diesem Bereich sind vor allem auf die diffusen Emissionen aus der Gasverteilung zurückzuführen (HMUKLV 2020b).

Der nächstgrößte Emittent in diesem Bereich ist der Verkehr, wo 2018 insgesamt 159 kt CO₂-Äqu. ausgestoßen wurden. Hier dominiert mit 141 kt CO₂-Äqu. das Lachgas. Dieses stammt fast vollständig aus dem Straßenverkehr. In diesem Segment sind die Emissionen bis 2005 gesunken, seitdem aber wieder stetig angestiegen.

Den größten Rückgang verzeichnete die Industrie. Hier wurden 1990 noch 207 kt CO₂-Äqu. emittiert, 2018 hat der Ausstoß mit 75 kt CO₂-Äqu. bereits nur noch etwa ein Drittel betragen. Dabei handelt es sich vor allem um Lachgasemissionen, Methanemissionen spielen in der Industrie nur eine untergeordnete Rolle (1990: 16 kt CO₂-Äqu. und 14 kt CO₂-Äqu. im Jahr 2018), der Rückgang ist also insbesondere auf die stark geminderten Lachgasemissionen zurückzuführen.

5.6.3.2 Ableitung des Sektorteilziels für energie- und prozessbedingte Methan- und Lachgasemissionen

Es ist zu erwarten, dass insbesondere die energiebedingten Methan- und Lachgasemissionen in dem Maße abnehmen werden wie die CO₂-Emissionen der entsprechenden Sektoren (mit Ausnahme des Energieerzeugungssektors), da diese bei der Verwendung (Verbrennung, aber auch Transport und Lagerung) von fossilen Brennstoffen entstehen. So wird z.B. ein verringerter Treibstoffverbrauch (insbesondere von Diesel) im Verkehr auch zu entsprechend geringeren Stickstoffemissionen führen, was wiederum die Entstehung von Lachgas reduziert. Den analogen Effekt würde man z.B. auch bei der Gebäudeheizung sehen, wenn dort z.B. aufgrund des Einsatzes erneuerbarer Energien weniger fossile Brennstoffe eingesetzt werden müssen.

Entsprechend werden die Sektorziele für die Energiesektoren Haushalte, GHD (70 % Minderung gegenüber 1990) und Verkehr (35 % Minderung gegenüber 1990) direkt auf die energiebedingten Methan- und Lachgasemissionen angewendet.

Da die Methanemissionen (energie- und prozessbedingt) in der Industrie sich seit 1990 kaum verändert haben, sich auch die dominierenden Lachgasemissionen in den vergangenen zehn Jahren kaum noch verändert haben und in dieser Studie nur von einer sehr geringfügigen Veränderung der industriellen Produktion bis 2030 ausgegangen wird, wird der Emissionswert von 2018 auch für 2030 übernommen.

Methanemissionen in der Energieerzeugung sind vor allem auf die Gasverteilung und dort auf Leckagen in der entsprechenden Infrastruktur zurückzuführen. Die Europäische Kommission bereitet aktuell eine Strategie zur Verhinderung von ungewolltem Methanaustritt im Energieerzeugungssektor vor, die verbindliche Regeln - vom Monitoring über Leckagen-Detektion bis hin zur Reparatur derselben - einführen soll. Durch deren Umsetzung ist mit einer Emissionsminderung zu rechnen, die höher liegt als die Minderung, die nur durch den Rückgang der Verwendung von Gas in der Energieerzeugung zu erwarten wäre. Da aktuell und insbesondere auch für Hessen noch keine genauen Wirkungsabschätzungen vorliegen und im Rahmen dieser Studie auch nicht möglich sind, wird eine Minderung bis 2030 um 50 % (ca. 260 kt CO₂-Äqu.) gegenüber heute geschätzt und in dieser Studie angewendet³⁷. Es sei hier trotz der bestehenden Unsicherheit bezüglich des genauen Minderungspotenzials betont, dass diese Maßnahme allein eine Minderung in der Größenordnung der Minderung des Landwirtschaftssektors bringen kann und Hessen daher diesen Bereich im Rahmen seiner Möglichkeiten aktiv unterstützen sollte.

³⁷ Die Internationale Energieagentur gibt in ihrem Nachhaltigkeitsszenario, das eine Begrenzung des Temperaturanstiegs von 1,8 Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau berechnet, einen notwendigen globalen Rückgang der Methanemissionen aus Leckagen in der Gas- und Ölförderung und -verteilung von 70 % bis 2030 gegenüber 2020 an (International Energy Agency [IEA 2021]). Die niedrigere Minderungsschätzung von 50 % für Hessen geht von der Annahme aus, dass Gasinfrastruktur in Deutschland im globalen Vergleich tendenziell weniger Leckagen aufweisen dürfte.

Tabelle 14 zeigt, wie sich das Sektorteilziel einer 54-prozentigen Minderung für die energie- und prozessbedingten Methan- und Lachgasemissionen im Jahr 2030 gegenüber 1990 zusammensetzt, welches im folgenden Abschnitt mit dem Sektorteilziel für Abfall und Abwasser zu einem Ziel für die sonstigen Methan- und Lachgasemissionen kombiniert wird.

Tabelle 14: Sektorteilziel einer 54-prozentigen THG-Minderung bis 2030 für die energie- und prozessbedingten Methan- und Lachgasemissionen

	Emissionen 1990	Emissionen 2018	Ange nommene Minderung	Emissionen 2030	Minderung 2030 ggü. 1990	Minderung 2030 ggü. 1990
Sektor	in kt CO ₂ -Äqu.			in kt CO ₂ -Äqu.		in %
Energie- erzeugung/ -umwandlung	502	482	50% ggü. 2018	241	261	50%
Haushalte, GHD	129	94	70% ggü. 1990	39	91	70%
Verkehr	156	159	35% ggü. 1990	102	55	35%
Industrie	207	75	Wert verbleibt auf dem Niveau von 2018	75	132	64%
Summe	995	811		457	538	54%

Quelle: HSL (2021a), eigene Berechnungen.

5.6.4 Kombiniertes Ziel für Sonstige Methan und Lachgasemissionen

Das Sektorziel für Sonstige Methan- und Lachgasemissionen aus der Abfall- und Abwasserwirtschaft sowie sonstige energie- und prozessbedingte Methan- und Lachgasemissionen setzt sich aus den oben beschriebenen Sektorteilzielen zusammen und beläuft sich zusammengenommen – wie in Tabelle 15 dargestellt – auf 80% im Vergleich zu 1990.

Tabelle 15: Kombiniertes Ziel einer 80-prozentigen THG-Minderung bis 2030

	Emissionen 1990	Emissionen 2018	Emissionen 2030	Minderung 2030 gegenüber 1990	Minderung 2030 gegenüber 1990
	in kt CO ₂ -Äqu.				in %
Abfall- und Abwasserwirtschaft	3.448	666	448	3.000	87%
Energie- und prozessbedingte Methan- und Lachgasemissionen	995	811	457	538	54%
Summe	4.443	1.477	905	3.538	80%

Quelle: HSL (2021a), eigene Berechnungen.

6 Einflussbereich der Länder

In den vorangegangenen Kapiteln wurde schon jeweils sektorspezifisch beschrieben, über welche Handlungsmöglichkeiten Hessen verfügt. In diesem Kapitel sollen einige abschließende Überlegungen das Bild abrunden.

Die Spielräume und der Einfluss Hessens sind nicht auf solche Maßnahmen beschränkt, die nicht auch von Bundes- oder EU-Maßnahmen berührt werden. Vielmehr sind gerade die Maßnahmen des Bundes oder der EU in vielerlei Hinsicht von der Umsetzung auf der Landesebene abhängig. Ohne diese Umsetzung können die rechtlichen Vorgaben des Bundes und der EU nicht auf die THG-Emissionen Hessens durchschlagen. Zudem muss Hessen im Rahmen der eigenen Rechtssetzungs- und Regulierungskompetenz sowie in den originär in der Verantwortung der Länder liegenden Bereichen wie Bildung und Planung Voraussetzungen z.B. in Bezug auf die Raumordnung schaffen, damit die Investitionen, die zum Erreichen der Bundesziele notwendig sind, getätigt werden können. Weiterhin kann Hessen zusätzliche Ambitionen dadurch zur Umsetzung bringen, dass es eigene Förderprogramme und Regelungen schafft oder Bundesregeln durch die Umsetzung bzw. Umsetzungsbestimmungen verschärft und stringenter gestaltet.

Die Rolle der Länder in der kollektiven Anstrengung einer gesamtgesellschaftlichen THG-Reduktion wird häufig unterschätzt. Dies ist unter anderem auf die kompetenzrechtliche Verteilung vieler Themen im regulativen Bereich zurückzuführen, verkennt jedoch die Relevanz der regionalen Akteure – die Bundesländer und mit ihnen die Kommunen – im Gesamtsystem der Umsetzung der Transformationsherausforderung.

Die Sektoren, an deren Linien der Transformationsprozess überwiegend gestaltet wird, sind nicht auf bisherige politische Ressortverteilungen bezogen. Als Beispiel sei hier der Verkehrssektor genannt, zu dessen Wende eine Vielzahl von verwaltungs- und steuerrechtlichen, aber auch zum Teil zivilrechtlichen Systemanpassungen, in Bereichen z.B. des Straßenverkehrs- und Bauordnungsrechts sowie eine CO₂-Bepreisung und industriepolitische Regularien (wie Flottengrenzwerte) notwendig sind. Das rechtliche und politische Ressortsystem ist also per se nicht auf den Klimaschutz ausgelegt. Trotz dieser verteilten Zuständigkeiten können innovative und neue Möglichkeiten entstehen.

Kompetenzrechtlich liegen viele Zuständigkeiten zur rechtlichen Regulierung und Setzung der transformationstreibenden Rahmenbedingungen in der Klimapolitik über eine konkurrierende oder ausschließliche Gesetzgebungskompetenz beim Bund, der seinerseits teilweise an europarechtliche Vorgaben gebunden ist. Die Länder nehmen über den Bundesrat Einfluss auf die Bundesgesetzgebung (Art. 76, 77 Grundgesetz [GG]).

Auf Landesebene verbleiben dennoch einige wichtige Hebel der Rechtssetzung sowie des Vollzuges. Länder betreiben eine eigene Förderpolitik. Zusätzlich können die Länder und Kommunen aufgrund ihrer Nähe vor Ort und der Kenntnis regionaler Besonderheiten mit einem breiten Strauß von informativen und investiven Maßnahmen eine wichtige Rolle spielen.

6.1 Gesetzgebung

Im Bereich der Gesetzgebung hat ein Bundesland insbesondere über zwei Hebel Einflussmöglichkeiten.

Die **ausschließliche Gesetzgebung der Länder (Art. 70 I GG)** als direktester Hebel gibt dem Land starkes Potenzial regulativ aktiv zu werden. Raumordnungs-, Bauordnungs- und Kommunalrecht liegen im Kompetenzbereich der Länder. Die Kompetenzen ergeben sich aus der Negativbestimmung des Art. 74 GG. Insbesondere in denjenigen Klimaschutzfeldern, bei denen relevante Infrastrukturen und die Umsetzung vor Ort in vielen Einzelfällen notwendig sind, wie bei den Gebäuden und dem Verkehrssektor, spielen die Länder eine wichtige Rolle. Hier sind auch die Kommunen wichtige Partner, wo die Daseinsvorsorge betroffen oder der Bezug auf tatsächliche Gegebenheiten relevant

ist. In diesem Bereich, insbesondere bei regulativen Maßnahmen, werden die Möglichkeiten durch die Länder nur vereinzelt optimiert für den Klimaschutz ausgeschöpft. Beispiele aus anderen Bundesländern oder der Literatur sind die Möglichkeiten zu solaren Baupflichten, oder Bau- bzw. Stellplatzverordnungen, die z.B. für Fahrradstellplätze oder eine Reduktion der Flächenversiegelung sorgen. Diese liegen z.T. direkt in der Landeskompetenz oder das Land kann für deren Ausgestaltung durch die Kommunen Vorgaben machen oder Empfehlungen aussprechen.

Zusätzlich bestehen Kompetenzen im Rahmen der **konkurrierenden Gesetzgebung nach Art. 72 GG** in jenen Bereichen, in denen das Bundesrecht keine erschöpfenden Regelungen mit Sperrwirkung getroffen hat. Als Beispiel hierfür gilt die Länderöffnungsklausel des § 249 II BauGB, die die Abstandsregelungen für Windkraft betrifft (Wissenschaftlicher Dienst des Deutschen Bundestags 2016). Ähnliche Länderöffnungsklauseln gibt es auch in anderen relevanten Gesetzeswerken wie z.B. dem GEG. Hier schlägt z.B. § 56 explizit vor, dass Länder auch Nutzungspflichten für erneuerbare Wärme vorsehen können.

6.2 Verwaltung

Im Bereich der Verwaltung können die Länder im Vollzug sowie in der nicht gesetzessvollziehenden Verwaltung Einfluss nehmen.

Die Möglichkeit der Einflussnahme im **Vollzug** der Bundesgesetze ist inhaltlich stark begrenzt, in der Praxis jedoch von hoher Relevanz. Die Länder führen die Bundesgesetze als eigene aus. Hier besteht für das Land in Grenzen die Möglichkeit durch ihren Umgang mit dem Gesetzesvollzug praktisch eigene Schwerpunkte zu setzen (Münzner 2014). Ein Beispiel im Gebäudebereich war die EnEV. Unter anderem die Deutsche Umwelthilfe (DUH 2019a) beklagt die unzureichende Überprüfung z.B. von Sanierungspflichten im Gebäudebestand aufgrund häufiger Umgehungen der rechtlichen Vorschriften. Laut DUH (2019b) bestanden auch Kontrolldefizite bei den Marktüberwachungsbehörden der Länder bezüglich des Gebäudeenergieausweises. Es bleibt abzuwarten, wie sich die veränderten Vollzugsregelungen (Erfüllungserklärung bei Neubauten und bestimmten größeren Sanierungen im Gebäudebestand) praktisch auf das die EnEV ersetzende und seit dem 01. November 2020 in Kraft getretene GEG auswirken. Ein Fokus auf den konsequenten Vollzug bestehenden Bundesrechts kann hier und in ähnlich gelagerten Fällen starke THG-Minderungen bewirken.

Auch die **nicht gesetzessvollziehende Verwaltung** ist ein Bereich, in dem das Land direkten Einfluss auf THG-Minderungen haben kann. Die öffentliche Verwaltung ist zum einen eine wirtschaftliche Kraft in der Region, zum anderen hat sie eine Vorbildfunktion inne. Die THG-mindernde Vergabe kann bei einem ganzheitlichen Blick sogar durch das Sparsamkeits- und Wirtschaftlichkeitsprinzip der öffentlichen Verwaltung gefordert sein. Hessen hat sich mit dem Projekt CO₂-neutrale Landesverwaltung Klimaneutralität bis 2030 als Ziel gesetzt, und damit die Möglichkeit eine Vorbildrolle bei der Integration von Klimaschutzgedanken in Sparsamkeits- und Wirtschaftlichkeitsprinzipien zu spielen.

Wichtig ist auch die Unterstützung, die die Landesregierung für untere Verwaltungsebene - Bezirke, Landkreise und Kommunen- leisten kann. Auslegungshilfen, Informationen, Verwaltungsvorlagen und -handreichungen sind technische Unterstützungsleistungen, Schlüsselzuweisungen und finanzielle Hilfen spielen aber oft wichtige Rollen, wenn die Handlungsfähigkeit der Kommunen wichtig aber eingeschränkt ist. Dies ist leider in vielen klimaschutzrelevanten Feldern der Daseinsvorsorge der Fall.

6.3 Landeshaushalt

Der wichtigste Hebel für Landespolitik ist der Landeshaushalt. Dieser muss die Mittel für die in den anderen Abschnitten erwähnten Maßnahmen bereitstellen. Darüber hinaus beinhaltet er jedoch eine

hohe Anzahl an weiteren Ausgabenposten, von denen fast alle in der einen oder anderen Form klimarelevant sind.

Erstens, viele der Anschaffungen und Aufträge, die mit Mitteln aus dem Landeshaushalt beschafft werden, führen zu THG-Emissionen. Neben der bereits oben vorgeschlagenen Vergabe unter Einschluss von darauf bezogenen Kriterien werden viele Investitionsprojekte (z.B. öffentliche Infrastrukturen) zu höheren Emissionen führen. Diese sollten bereits in der Mittelplanung als zu minimierender Faktor integriert werden.

Zweitens betrifft auch die Anpassung an den Klimawandel fast alle Ausgabenbereiche, vom Strafvollzug bis zum Bildungswesen.

Drittens beinhalten die Landeshaushalte typischerweise auch die Beteiligungen des Landes an Infrastrukturunternehmen und anderen landeseigenen Betrieben. Diesen Unternehmen sollte vorgegeben werden, Dekarbonisierungsstrategien und -programme aufzulegen.

Insgesamt sollte ein systematisches Instrument zur Überprüfung des Haushalts auf klimakompatible Ausgabenplanung entwickelt werden und zur Anwendung kommen („Klimacheck“). Dies sollte mit einer nachträglichen Pflicht zur Evaluierung verbunden werden, die dazu führen kann, dass die Planungen in zukünftigen Haushaltsperioden verbessert werden.

Zudem sollte sich die Anlagestrategie des Landes möglichst stark an emissionsarmen oder -freien Investitionsmöglichkeiten orientieren, um indirekte Emissionen an anderer Stelle weitestmöglich zu vermeiden.

6.4 Förderung

Die Landesregierung hat über **investive** Instrumente einen weiteren – bisher häufig nicht umfänglich ausgenutzten – Hebel zur THG-Minderung zur Verfügung. Zusätzlich zu landeseigenen Förderprogrammen kann das Land finanzielle Förderungen aus der EU- oder Bundesebene auf regionale Eigenheiten oder landespolitische Prioritäten mit Zusatzförderungen aus Landesmitteln effektivieren und verstärken. Ein Beispiel kann die Richtlinie zur Förderung der Erneuerung der Nutzfahrzeugflotte sein (BMVI 2021e). Die Bundesrichtlinie sieht zum Beispiel eine Förderung für Nutzfahrzeuge ab der EURO VI Norm vor. Eine zusätzliche Förderung für Elektrofahrzeuge aus Landesmitteln könnte die Bundesförderung trennschärfer auf THG-Minderungen ausrichten und langfristige Investitionen in Richtung Klimaneutralität lenken.

Als weitere Beispiele können die Bereiche Wirtschaftsförderung, Forschungsförderung, Förderung von Investitionen (Privatpersonen, Unternehmen), Förderung von zivilgesellschaftlichen Akteuren (z.B. Vereine, Verbände), und die Förderung von Kommunen und Landkreisen genannt werden.

Zusätzlich besteht ein starker Einfluss der Länder über **informative** Instrumente. Durch die Nähe der regionalen Politikebenen – Land und Kommunen – zu lokaler Bevölkerung und Wirtschaft, sind zielgenaue Motivations- und Informationskampagnen, vornehmlich im Zusammenspiel mit den bereits genannten Instrumenten, von besonderer Effektivität. In diesem Bereich ist Hessen bereits stark engagiert: mit Informations- und Mobilisierungskampagnen (z.B. „Klimaschutz beginnt hier. Mit mir.“), Beratungskampagnen und Dauerberatungsmaßnahmen (Beispiel: Hessische Energiespar-Aktion, Handbuch Altbaumodernisierung, Fachzentrum Nachhaltige Urbane Mobilität [FZ-NUM]), und beratende Institutionen (LEA).

Zum Strauß der informativen Instrumente kommt die Erhebung von umfassenden Daten, um Monitoring und datenbasierte Politikgestaltung zu ermöglichen, hinzu.

6.5 Zusammenfassende Würdigung des Einflussbereichs der Länder

Die einzelnen Kompetenzbereiche der Länder können bei kohärenter Abstimmung einen im Zusammenspiel faktisch starken, maßgeblichen Einfluss auf den Transformationsprozess hin zu einer treibhausgasneutralen Gesellschaft einnehmen, wenn ein politischer Gestaltungswille besteht und eine ganzheitliche, pragmatische Herangehensweise gewählt wird. Es sei hier exemplarisch der Bereich des Windenergieausbaus genannt. Eine wirkungsvolle Politik wird hier nicht allein durch die Vorschriften des EEG, sondern die Ausgestaltung des Landes ob, wo und wie Windflächen ausgewiesen werden, wie der Mindestabstand gewählt wird, wie schnell Baugenehmigungen umgesetzt werden u.v.m. bestimmt.

Insgesamt fallen Hessen bei der Umsetzung des Klimaschutzes daher maßgebliche Aufgaben zu, die nicht nur dazu führen müssen, dass die Bundesziele erreicht werden, sondern auch, dass lokal die Investitionen der öffentlichen Hand sowie der privaten Investoren in die richtige Richtung gelenkt werden, und eigene regulatorische Maßnahmen dies steuern.

7 Bibliographie

- Agentur für Erneuerbare Energien. (2021). Spezifische CO₂-Emissionen der Fernwärmeerzeugung Wärme – Übersicht zur Entwicklung Erneuerbarer Energien in allen Bundesländern. https://www.foederal-erneuerbar.de/uebersicht/bundeslaender/BW|BY|B|BB|HB|HH|HE|MV|NI|NRW|RLP|SL|SN|ST|SH|TH|D/kategorie/waerme/auswahl/734-spezifische_co2-emis/ordnung/2016 .
- Agora Energiewende. (2021). Abschätzung der Klimabilanz Deutschlands für das Jahr 2021. Version 2.0. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_227_Abschaetzung-Klimabilanz-DE-2021_WEB.pdf.
- Alstom. (2020). Startschuss für die erste Wasserstofftankstelle für Passagierzüge in Hessen. Pressemitteilung. <https://www.alstom.com/de/press-releases-news/2020/10/startschuss-fuer-die-erste-wasserstofftankstelle-fuer-passagierzuege>.
- Arepo Consult, & LITE – Lankwitz Institute for Technology and Environment. (2020). Optionen für einen vorzeitigen Kohleausstieg in Hessen: Kurzstudie für das Hessische Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Arepo Consult und LITE. https://arepoconsult.com/wp-content/uploads/2020/09/Optionen_fuer_einen_vorzeitigen_Kohleausstieg_in_Hessen.pdf.
- Bayern Innovativ. (2021). Bayerisches Förderprogramm öffentliche Ladeinfrastruktur. bayern-innovativ.de. <https://www.bayern-innovativ.de/seite/bayerisches-foerderprogramm-oeffentliche-ladeinfrastruktur>.
- BDEW – Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2021). Fernwärme: 126 Milliarden Kilowattstunden. <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/zdw-fernwaerme-126-milliarden-kilowattstunden/>.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2017). Daten und Fakten. Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft mit Fischerei und Wein- und Gartenbau. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Daten-und-Fakten-Landwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=6.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2019). Zukunftsstrategie ökologischer Landbau: Impulse für mehr Nachhaltigkeit in Deutschland Impulse für mehr Nachhaltigkeit in Deutschland. https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ZukunftsstrategieOekologischerLandbau2019.pdf?__blob=publicationFile&v=4.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2020). Düngung. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/duengung.html>.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2021a). Systemwechsel bei der GAP, Stärkung der Verbraucher, Reduktion von Glyphosat, mehr Tierschutz. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/108-bundesrat.html>.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2021b). Pressemitteilung: Klöckner: Wir stärken heimische Bauernfamilien und honorieren Umwelt- und Klimamaßnahmen der Landwirtschaft. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/058-gap.html>.
- BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2021c). Ackerbaustrategie 2035. <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/ackerbau/ackerbaustrategie.html>.
- BMF – Bundesministerium der Finanzen. (2021). Klimaschutz Sofortprogramm 2022. https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Downloads/klimaschutz-sofortprogramm-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=1.

- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und nukleare Sicherheit. (2020). Moorschutzstrategie der Bundesregierung: Diskussionspapier. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/diskussionspapier_moorschutzstrategie_bundesregierung_bf.pdf.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und nukleare Sicherheit. (2021a). Treibhausgasemissionen sinken 2020 um 8,7 Prozent. <https://www.bmu.de/pressemitteilung/treibhausgasemissionen-sinken-2020-um-87-prozent/>.
- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und nukleare Sicherheit. (2021b). Förderung der Elektromobilität durch die Bundesregierung. <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/foerderung/>.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2020a). Mobilität in Deutschland - Regionalbericht Hessen. https://wirtschaft.hessen.de/sites/default/files/media/hmwvl/infas_mid2017_regionalbericht_hessen.pdf.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2020b). Verkehr in Zahlen 2020/21. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2020-pdf.pdf?__blob=publicationFile.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2021a). Artikel: Ladeinfrastruktur. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/Alternative-Kraftstoffe/ladeinfrastruktur.html>.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2021b). Elektromobilität mit Batterie - Förderrichtlinie Elektromobilität. <https://www.bmvi.de/DE/Themen/Mobilitaet/Elektromobilitaet/Elektromobilitaet-mit-batterie/elektromobilitaet-mit-batterie.html>.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2021c). Förderrichtlinie Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/foerderrichtlinie-ladeinfrastruktur-elektrofahrzeuge.html>.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2021d). Bald laden wir allerorts und jederzeit - Masterplan Ladeinfrastruktur. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/masterplan-ladeinfrastruktur.html>.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2021e). BMVI legt nationales Flottenaustauschprogramm für Lkw auf. <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/001-scheuer-lkw-austauschprogramm.html>.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2015). Energieeffizienzstrategie Gebäude: Wege zu einem nahezu klimaneutralen Gebäudebestand - Kurzfassung. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energieeffizienzstrategie-gebäude-kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=7.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2021a). Roadmap Energieeffizienz 2050. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/Energieeffizienz/roadmap-energieeffizienz-2050.html>.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2021a). Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz (GEIG) - Gesetzentwurf der Bundesregierung. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Service/Gesetzesvorhaben/gebäude-elektromobilitaetsinfrastruktur-gesetz.html>.
- BMWi - Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2021c). CO₂-Abscheidung und -Nutzung in der Grundstoffindustrie. Förderaufruf CO₂-Abscheidung und -Nutzung in der Grundstoffindustrie. <https://www.energieforschung.de/antragsteller/foerderangebote/co2-abscheidung-und-nutzung>.

- Bockholt, K. 2020. Carbon Farming: Mit Humus CO2 binden, mit Zertifikaten Geld verdienen Agrarheute. <https://www.agrarheute.com/pflanze/getreide/carbon-farming-humus-co2-binden-zertifikaten-geld-verdienen-574343>.
- BAG – Bundesamt für Güterverkehr. (2020). Mautstatistik – Jahrestabellen 2020. https://www.bag.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Lkw-Maut/Jahrestab_19_20.pdf?__blob=publicationFile&v=1.
- BR - Bayerischer Rundfunk. (2021). Bald eine Million Elektroautos in Deutschland. <https://www.br.de/nachrichten/wirtschaft/elektroautos-in-deutschland-bald-eine-million,SbzoM1J>.
- Bundesregierung. (2016). Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/318676/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie-data.pdf?download=1>.
- Bundesregierung. (2019). Masterplan Ladeinfrastruktur der Bundesregierung. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur.pdf?__blob=publicationFile.
- Bundesregierung. (2021). Kaufprämie für Elektroautos erhöht. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/kaufpraemie-fuer-elektroautos-erhoeht-369482>.
- Bundestag. (2021). Bundestag beschließt Umsetzung der Gemeinsamen Agrarpolitik. <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2021/kw23-de-gap-direktzahlungen-843424>.
- Dekra. (2021). Traton setzt auf batterie-elektrischen Antrieb. <https://www.dekra.net/de/traton-setzt-auf-batterie-elektrischen-antrieb/>.
- Deloitte. (2020). Elektromobilität in Deutschland: Marktentwicklung bis 2030 und Handlungsempfehlungen. Deloitte. <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/consumer-industrial-products/articles/elektromobilitaet-in-deutschland.html>.
- dena – Deutsche-Energie-Agentur, & Allianz für Gebäude-Energie-Effizienz. (2017). Gebäudestudie: Szenarien für eine marktwirtschaftliche Klima- und Ressourcenschutzpolitik 2050 im Gebäudesektor. dena und geea. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9220_Gebaeuestudie_Szenarien_Klima-_und_Ressourcenschutzpolitik_2050.pdf.
- dena – Deutsche-Energie-Agentur. (2020). dena Factsheet: Das Energiesprung-Prinzip. <https://www.dena.de/en/newsroom/publication-detail/pub/dena-factsheet-das-energiesprung-prinzip/>.
- dena – Deutsche-Energie-Agentur. (2021a). Zwischenbericht dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität - Ein Blick in die Werkstatt: Erste Erkenntnisse und Ableitungen zentraler Handlungsfelder. Deutsche-Energie-Agentur GmbH. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-Leitstudie_Aufbruch_Klimaneutralitaet_ES.pdf.
- dena – Deutsche-Energie-Agentur GmbH. (2021b). Was ist ein Energiesprung? <https://www.energiesprung.de/startseite/>
- destatis. (2019). Land und Forstwirtschaft, Fischerei – Viehbestand. https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/Publikationen/Downloads-Tiere-und-tierische-Erzeugung/viehbestand-2030410195324.pdf?__blob=publicationFile.
- DUH – Deutsche Umwelthilfe. (2019a). Keine Überwachung von Klimaschutzvorschriften durch Landesbehörden: Deutsche Umwelthilfe kritisiert fehlende Kontrolle des Gebäudeenergieausweises. DUH. <https://www.duh.de/presse/pressemitteilungen/pressemitteilung/keine-ueberwachung-von-klimaschutzvorschriften-durch-landesbehoerden-deutsche-umwelthilfe-kritisiert/>.

- DUH – Deutsche Umwelthilfe. (2019b). DUH. Vollzug der EnEV durch die Bundesländer: Auswertung einer Abfrage nach dem Umweltinformationsgesetz (UIG).
https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Pressemitteilungen/Energieeffizienz/Vollzug_Gebaeudesanierung_Umfrage_190823.pdf#.
- EK - Europäische Kommission. (2011). Weißbuch zum Verkehr: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem.
https://ec.europa.eu/transport/sites/default/files/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_de.pdf.
- EK - Europäische Kommission. (2012). Energy Roadmap 2050.
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf.
- EK – Europäische Kommission. (2020a). Energieeffizienz von Gebäuden.
https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/energy_climate_change_environment/events/documents/in_focus_energy_efficiency_in_buildings_de.pdf.
- EK – Europäische Kommission. (2020b). Fragen und Antworten: Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität Strategie für nachhaltige und intelligente Mobilität.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/QANDA_20_2330.
- EK – Europäische Kommission. (2021a). Klima- und energiepolitischer Rahmen bis 2030.
https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_de.
- Elektromobilität NRW. (2021). Nicht-öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur.
<https://www.elektromobilitaet.nrw/foerderprogramme/nicht-oeffentlich-zugaengliche-ladeinfrastruktur/>.
- Ember. (2020). EU ETS Emissions 2019. <https://ember-climate.org/project/ets-2019-release/>.
- eMobilServer. (2020). Ladesäulenverteilung in Deutschland – Welches Bundesland hat die Nase vorn? <https://www.emobilserver.de/nachrichten/energie-ladetechnik/2288-lades%C3%A4ulenverteilung-in-deutschland-%E2%80%93-welches-bundesland-hat-die-nase-vorn.html>.
- EnBW – Energie Baden-Württemberg AG. (2021). SAFE - Ein Elektro-Ladenetz für das ganze Land <https://safe-bw.net/>.
- Energieland Hessen. (2021). Energierechtliche Grundlagen.
<https://www.energieland.hessen.de/rechtliche-grundlagen>.
- Europäisches Parlament. (2020). The Green Deal and the CAP: policy implications to adopt farming practices and to preserve the EU's natural resources.
[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/629214/IPOL_STU\(2020\)629214_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/629214/IPOL_STU(2020)629214_EN.pdf).
- Europäisches Parlament. (2021). Legislative train schedule. Fit for 55 package under the European Green Deal. <https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/package-fit-for-55>.
- Expertenrat Klimaschutz. (2021). Bericht zur Vorjahresschätzung der deutschen Treibhausgasemissionen für das Jahr 2020
- Fachagentur Windenergie. (2021 a). Länderinformationen Windenergie Hessen.
<https://www.fachagentur-windenergie.de/veroeffentlichungen/laenderinformationen/laenderinformationen-zur-windenergie/hessen/>.

- Fachagentur Windenergie. (2021b). Überblick zu den Abstandsempfehlungen zur Ausweisung von Windenergiegebieten in den Bundesländern*. Fachagentur Windenergie. https://www.fachagentur-windenergie.de/fileadmin/files/PlanungGenehmigung/FA_Wind_Abstandsempfehlungen_Laender.pdf.
- Frankfurter Rundschau. (2021). Hessen will klimaneutral bis 2045 sein. <https://www.fr.de/rhein-main/landespolitik/hessen-will-klimaneutral-bis-2045-sein-90806842.html>.
- Gesetze im Internet. (2021). Bundes-Klimaschutzgesetz Anlage 2 (zu § 4): Zulässige Jahresemissionsmengen. https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/anlage_2.html.
- Haas, M. (2017). Kann man so den Klimawandel stoppen? Süddeutsche Zeitung. <https://sz-magazin.sueddeutsche.de/die-loesung-fuer-alles/kann-man-so-den-klimawandel-stoppen-84181https://sz-magazin.sueddeutsche.de/die-loesung-fuer-alles/kann-man-so-den-klimawandel-stoppen-84181#:~:text=Um%20ihn%20zur%C3%BCck%20zu%20bringen,Wissenschaftliche%20Direktor%20von%20Kiss%20the>.
- Haenel, H.-D., Rösemann, C., Dämmgen, U., Döring, U., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Freibauer, A., Döhler, H., Schreiner, C., Osterburg, B., & Fuß, R. (2020). Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 - 2018: Input data and emission results. <https://doi.org/10.3220/DATA20200312140923>.
- Hauptstadtbüro Bioenergie. 2019. Gemeinsame Stellungnahme: Maßnahmen zum Ausbau der Güllevergärung. https://www.hauptstadtbuero-bioenergie.de/application/files/4015/6757/9932/19-08-28_BBE_et_al_Massnahmen_zum_Ausbau_der_Guellevergaerung_update_final.pdf.
- Hessen Mobil. (2020). ELISA - Elektrifizierter, innovativer Schwerverkehr auf Autobahnen. <https://ehighway.hessen.de/elisa>.
- Hessische Landesregierung. (2019). Koalitionsvertrag zwischen CDU Hessen und BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN Hessen für die 20. Legislaturperiode <https://www.cduhessen.de/data/documents/2019/02/01/313-5c53f4c0d9690.pdf>
- Hessische Landesregierung. (2021a). Klimaschutz im Luftverkehr. Hessen wird Technologie-Hub für alternative Kraftstoffe. Pressemitteilung. <https://www.hessen.de/presse/pressemitteilung/klimaschutz-im-luftverkehr-0>.
- Hessische Landesregierung. (2021b). Auftakt Runder Tisch Landwirtschaft und Naturschutz. <https://www.hessen.de/presse/pressemitteilung/auftakt-runder-tisch-landwirtschaft-und-naturschutz-0>.
- Hessischer Landtag. (2020). Kleine Anfrage René Rock (Freie Demokraten) vom 19.02.2020: CO₂-Ausstoß in Hessen und Antwort Ministerin für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. <http://starweb.hessen.de/cache/DRS/20/0/02440.pdf>.
- HLNUG – Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie. (2021). Windenergie in Hessen. <https://www.hlnug.de/themen/luft/windenergie-in-hessen>.
- HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2012). Zukunftspakt hessische Landwirtschaft. <https://umwelt.hessen.de/landwirtschaft/landwirtschaft-hessen/agrarpolitik/zukunftspakt-hessische-landwirtschaft>.
- HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2015). Kabinettsbeschluss „Klimaneutrales Hessen“. <https://umwelt.hessen.de/energie-klima/hessische-klimaschutzpolitik/hessische-klimaschutzpolitik>.
- HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2017). Integrierter Klimaschutzplan Hessen 2025. https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/integrierter_klimaschutzplan_web_barrierefrei.pdf.

HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2019). Projekt EmiGüll — Emissionsminderung von Rindergülle durch Zugabe von anorganischen und organischen Zusatzstoffen.

https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/projektsteckbrief_projekt_emiguell_final_30.04.2020.pdf.

HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2020a). Monitoringbericht 2020 zum Integrierten Klimaschutzplan Hessen 2025.

https://www.klimaschutzplan-hessen.de/files/iksp/content/bilder/Monitoring_Sofortp/IKSP_Monitoringbericht2020.pdf.

HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2020b). Treibhausgasbilanz für das Land Hessen Bilanzjahr 2018.

https://umwelt.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/hessische_treibhausgasbilanz_2018.pdf.

HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2021a). Mehr-Klimaschutz-Programm: 18 weitere Maßnahmen für Klimaschutz und -anpassung.

<https://www.klimaschutzplan-hessen.de/mehr-klimaschutz-programm>.

HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2021b). Windenergie und Artenschutz: Landesprogramm schützt Schwarzstorch, Rotmilan und Abendsegler. <https://umwelt.hessen.de/presse/pressemitteilung/windenergie-und-artenschutz-landesprogramm-schuetzt-schwarzstorch-rotmilan-und-abendsegler>.

HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2021c). Agrarumweltprogramm. <https://umwelt.hessen.de/agrarumweltprogramm>.

HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2021d). Der Entwicklungsplan für den ländlichen Raum (EPLR) des Landes Hessen 2014–2020.

[https://umwelt.hessen.de/landwirtschaft/laendlicher-raum/foerderung-der-laendlichen-entwicklung/eplr#:~:text=Der%20EPLR%202014%2D2020%20setzt,Raums%20\(ELER\)%20gew%C3%A4hrt%20wird](https://umwelt.hessen.de/landwirtschaft/laendlicher-raum/foerderung-der-laendlichen-entwicklung/eplr#:~:text=Der%20EPLR%202014%2D2020%20setzt,Raums%20(ELER)%20gew%C3%A4hrt%20wird).

HMUKLV – Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. (2021d). Förderung der Entwicklung des ländlichen Raums 2023-2027.

<https://umwelt.hessen.de/landwirtschaft/laendliche-raeume/foerderung-der-entwicklung-des-laendlichen-raums/foerderung-der-entwicklung-des-laendlichen-raums-2023-2027>.

HMWEVL – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung. (2018). Hessen Strategie Mobilität 2035

https://www.mobilehessen2030.de/mm/105_55_Hessenstrategie_Mobilitat_2035_online.

HMWEVW – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. (2018). Energiewende in Hessen — Monitoringbericht 2018.

https://wirtschaft.hessen.de/sites/default/files/media/hmwvl/monitoringbericht_2018_100dpi.pdf.

HMWEVW – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. (2019). Energiewende in Hessen — Monitoringbericht 2019. https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2019/995_Energiemonitoring2019_komplett_Internet_100dpi.pdf.

HMWEVW – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen (2020a). Energiewende in Hessen — Monitoringbericht 2020.

https://wirtschaft.hessen.de/sites/default/files/media/hmwvl/energiemonitoringbericht_2020_web_aktuelle_korr_fassung.pdf.

HMWEVW – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen (2020b): Elektrifizierung von 600 Kilometer Schienenstrecken geplant;

<https://www.hessen.de/presse/pressemitteilung/elektrifizierung-von-600-kilometer-schienenstrecken-geplant-0>.

- HMWEVW – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. (2021a). Energierechtliche Grundlagen. <https://www.energieland.hessen.de/rechtliche-grundlagen>.
- HMWEVW – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. (2021b). Erneuerbare Energien in Hessen. <https://wirtschaft.hessen.de/energie/erneuerbare-energien-hessen>.
- HMWEVW – Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen. (2021c). Mobiles Hessen 2030. <https://www.mobileshessen2030.de/mobiles-hessen>.
- HSL – Hessisches Statistisches Landesamt. (2020a). Daten zur Energiewirtschaft in Hessen: Ausgabe Juli 2020. https://wirtschaft.hessen.de/sites/default/files/media/hmwvl/daten_zur_energiwirtschaft_in_hessen_ausgabe_2020_web.pdf.
- HSL – Hessisches Statistisches Landesamt. (2020b). Nachhaltigkeitsstrategie Hessen Ziele und Indikatoren. https://www.hessen-nachhaltig.de/files/content/downloads/ziele_und_indikatoren/2020_Fortschrittsbericht_Hessen_nachhaltig.pdf.
- HSL – Hessisches Statistisches Landesamt. (2021a). Datenbereitstellung Treibhausgasemissionen in Hessen, 1990-2019.
- HSL – Hessisches Statistisches Landesamt. (2021b). Statistische Berichte des Bereiches Land- und Forstwirtschaft. <https://statistik.hessen.de/zahlen-fakten/land-und-forstwirtschaft/statistische-berichte>.
- HSL – Hessisches Statistisches Landesamt. (2021c). Tabelle: Landwirtschaftlich genutzte Fläche in Hessen 1949 bis 2019 nach Betriebsgrößenklassen. https://statistik.hessen.de/sites/statistik.hessen.de/files/Landwirtschaftsflaeche_1949-2019_Betriebsgoessenklassen_05122019.xlsx.
- IEA – International Energy Agency. (2021). Methane Tracker 2021. <https://www.iea.org/reports/methane-tracker-2021>.
- ifeu – Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg, Ecofys Germany, IWU Institut Umwelt und Wohnen GmbH, & Universität Bielefeld. (2015). Weiterentwicklung des bestehenden Instrumentariums für den Klimaschutz im Gebäudebereich. IFEU, Ecofys, IWU, Universität Bielefeld. https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Leitf%C3%A4den_und_Brosch%C3%BCren/Sanierungsfahrplan-AP-1-final.pdf.
- ifeu – Institut für Umwelt und Energieforschung Heidelberg, Fraunhofer IEE, & Consentec. (2018). Wert der Effizienz im Gebäudesektor in Zeiten der Sektorenkopplung. Agora Energiewende. https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/2018_Agora_ifeu_Effizienzwert_f%C3%BCr_Sektorenkopplung.pdf.
- infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, IVT Research, & infas 360. (2019). Mobilität in Deutschland - MiD: Ergebnisbericht. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Ergebnisbericht.pdf.
- Initiative Zukunftsmobilität. (2018). Studie zur Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge im Ländlichen Raum Baden-Württembergs. Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz. https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/mlr/intern/dateien/PDFs/L%C3%A4ndlicher_Raum/2018_05_04_Studie_LIS_MLR.pdf.
- Innovationsförderung Hessen. (2021a). Elektromobilität. <https://www.innovationsfoerderung-hessen.de/elektromobilitaet>.
- Innovationsförderung Hessen. (2021b). Ladeinfrastruktur. <https://www.innovationsfoerderung-hessen.de/ladesaeulen>.

- IWU – Institut Wohnen und Umwelt. (2018). Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016: Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. https://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/gebaeudebestand/prj/Endbericht_Datenerhebung_Wohngeb%C3%A4udebestand_2016.pdf.
- Kamman, Claudia, & Grünhage, Ludger. (2016). Risikoabschätzung des Einsatzes von Biokohle in Böden gemäßiger Breiten: Ein Weg zur dauerhaften C-Sequestrierung? Abschlussbericht. https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/INKLIM__A/boden/biokohle.pdf.
- KfW – Kreditanstalt für Wiederaufbau. (2021). Ladestationen für Elektroautos – Wohngebäude (440). [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/Foerderprodukte/Ladestationen-fuer-Elektroautos-Wohngebäude-\(440\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestehende-Immobilie/Foerderprodukte/Ladestationen-fuer-Elektroautos-Wohngebäude-(440)/).
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. Hrsg. 2017. KTBL-Heft 119 - Klimaschutz in der Landwirtschaft.
- LAK - Länderarbeitskreis Energiebilanzen. (2021). Online-Datenbanken Energie- und CO2-Bilanzen. <https://www.lak-energiebilanzen.de/>.
- Länderinitiative Kernindikatoren. (2021). Stickstoffüberschüsse der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland. <https://www.lanuv.nrw.de/lik/index.php?mode=indi&indikator=10#grafik>.
- Landesregierung Hessen. (2021). Der Wald in Hessen. <https://www.hessen.de/fuer-buerger/umwelt-natur/der-wald-hessen>.
- LLH - Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen. (2019). Nachlese zur Fachtagung Schwein: Tierwohl & Klimaschutz. <https://llh.hessen.de/tier/schweine/tierwohl-schweine/nachlese-zur-fachtagung-schwein-tierwohl-klimaschutz/>.
- LLH - Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen. (2021). HALM C.1. „Vielfältige Kulturen im Ackerbau“. <https://llh.hessen.de/unternehmen/agrarpolitik-und-foerderung/halm/halm-c-1-vielfaeltige-kulturen-im-ackerbau-antragstellung-eroeffnet/>.
- LEA - Landesenergieagentur Hessen. (2021a). Beratungsprogramm: Unternehmen - Energiewende und Klimaschutz. <https://landesenergieagentur-hessen.de/angebote/angebot-29375>.
- LEA - Landesenergieagentur Hessen. (2021b). Beratungsprogramm: Unternehmen - Energiewende und Klimaschutz. <https://www.energieeffizienz-hessen.de/investitionsfoerderung.html>.
- Leipziger Institut für Energie GmbH. (2016). Endbericht: Vorstudie zum Klimaschutzplan 2025 für Hessen. Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. <http://www.be-kassel.de/pdf/Vorstudie%20Klimaschutzplan%202025%20Hessen.pdf>.
- Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. (2017). Förderbekanntmachung: Flächendeckendes Sicherheitsladenetz für Elektrofahrzeuge (SAFE) in Baden-Württemberg. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. https://vm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mvi/intern/Dateien/PDF/PM_Anhang/180521_Elektromobilitaet_Foerderbekanntmachung_SAFE_12-2017.pdf.
- Münzner, M. (2014). Energie und Klima Ländersache? Landeskompetenzen zur Förderung von Energiewende und Klimaschutz. rescriptum, 1. http://www.rescriptum.org/Aufs%C3%A4tze/2014_1_047_Muenzner.pdf.
- Naturschutzbund. (2021). Wunderwelt der Insekten. <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/insekten-und-spinnen/info/24171.html>.
- NOW-GmbH. (2021). Auswertung KB-Daten Februar 2021. <https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/03/KBA-Report-02-2021.pdf>.

Öko-Institut. (2018). Das Handwerk als Umsetzer der Energiewende im Gebäudesektor. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Handwerker-als-Umsetzer-Policy-Paper.pdf>.

Prognos, Fraunhofer ISI, GWS, & iinas. (2020a). Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050: Dokumentation von Referenzszenario und Szenario mit Klimaschutzprogramm 2030 10. März 2020. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/klimagutachten.pdf?__blob=publicationFile&v=8.

Prognos, Öko-Institut, Wuppertal Institut. (2020b). Klimaneutrales Deutschland. Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB.pdf.

Scania. (2021). Electrified Solutions. <https://www.scania.com/group/en/home/sustainability/sustainable-transport/electrified-solutions.html>.

SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen. (2017). Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor. https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2016_2020/2017_11_SG_Klimaschutz_im_Verkehrssektor.pdf?__blob=publicationFile&v=13.

Statista. (2020). Elektromobilität - Öffentliche Ladepunkte nach Bundesländern 2020. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/590068/umfrage/anzahl-der-oeffentlichen-ladestationen-fuer-elektrofahrzeuge-nach-bundeslaendern/>.

Statista. (2021a). Größte Flughäfen in Europa im Jahr 2020 nach der Anzahl der abgefertigten Passagiere. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157929/umfrage/groesste-flughafen-europas-nach-anzahl-der-passagiere/>.

Statista. (2021b). Anteil von Elektroautos am Bestand der Personenkraftwagen in Deutschland 2018 bis 2020 und Prognose bis 2030. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1202904/umfrage/anteil-der-elektroautos-am-pkw-bestand-in-deutschland/>.

Statistisches Bundesamt. (2019). Energieverbrauch in der deutschen Industrie 2019, nach Energieträger. <https://service.destatis.de/DE/karten/EnergieverbrauchIndustrie2019.html>.

Stiftung Klimaneutralität. (2021a). Wie kann die Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergie an Land schnell und rechtssicher erhöht werden? Regelungsvorschlag. Berlin, 21. Januar. Online unter <https://www.stiftung-klima.de/de/themen/energie/flaechen-wind/>

Stiftung Klimaneutralität. (2021b). Genehmigungsverfahren beschleunigen mit einem Windenergie-an-Land-Gesetz. Regelungsvorschlag. Berlin, Mai 2021, online unter <https://www.stiftung-klima.de/de/themen/energie/wind-an-land-gesetz/>

UBA – Umweltbundesamt. (2011). Klimaschutzziele in den deutschen Bundesländern (Nr. 15/2011; Climate Change). <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4146.pdf>

UBA – Umweltbundesamt. (2016). Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer „veränderter“ Biomasse als Bodenhilfsstoffe oder für die C-Sequestrierung in Böden. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_04_2016_chance_n_und_risiken_des_einsatzes_von_biokohle.pdf.

UBA – Umweltbundesamt. (2019). Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität – RESCUE-Studie. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie.

UBA - Umweltbundesamt. (2020). Abschätzung der Treibhausgasminderungswirkung des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung. Teilbericht des Projektes „THG-Projektion: Weiterentwicklung der Methoden und Umsetzung der EU-Effort Sharing Decision im

Projektionsbericht 2019 („Politiksznarien IX“) (Climate Change 33/2020). Öko-Institut, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fh-ISI), Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie des Umweltbundesamtes.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-03-19_cc_33-2020_klimaschutzprogramm_2030_der_bundesregierung.pdf

UBA – Umweltbundesamt. (2021a). Vorjahreschätzung der deutschen Treibhausgas-Emissionen für das Jahr 2020.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2021_03_10_trendtabelle_n_thg_nach_sektoren_v1.0.xlsx.

UBA – Umweltbundesamt. (2021b). Kraftstoffverbrauch im Personen- und Güterstraßenverkehr. UBA. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/kraftstoffe>.

UBA – Umweltbundesamt. (2021c). Ökologischer Landbau.

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/oekologischer-landbau>.

UBA – Umweltbundesamt. (2021d). Klimaverträgliche Abfallwirtschaft.

<https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/klimavertraegliche-abfallwirtschaft#abfallbehandlung-schutzt-heute-das-klima>.

Unnerstall, Thomas. 2021a. Klimaneutralität schon 2040? In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen 71. Jg. (2021) Heft 4. http://thomas-unnerstall.com/wp-content/uploads/2021/05/Klimaneutralität%20C3%A4t-2040_et_PDF.pdf.

Unnerstall, Thomas. 2021b. Klimaneutralität schon 2040? <http://thomas-unnerstall.com/wp-content/uploads/2021/04/Mythos-Energieeffizienz.pdf>.

WBAE/WBW – Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz & Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik. (2018). Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.

https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Ministerium/Beiraete/agrarpolitik/Klimaschutzgutachten_2016.pdf?__blob=publicationFile&v=3.

Wissenschaft.de. (2021). Algen im Rinderfutter verringern Methanausstoß.

<https://www.wissenschaft.de/umwelt-natur/algen-im-rinderfutter-verringern-methanausstoss/>.

Wissenschaftlicher Dienst des Deutschen Bundestags. (2016). Verfassungsmäßigkeit der Länderöffnungsklausel zur Vorgabe von Mindestabständen zwischen Windenergieanlagen und anderen baulichen Nutzungen.

<https://www.bundestag.de/resource/blob/422408/fea90abf90d9a02e09180bce089862f5/wd-3-120-14-pdf-data.pdf>.

Wuppertal Institut. (2020). CO2-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze: Diskussionsbeitrag für Fridays for Future Deutschland mit finanzieller Unterstützung durch die GLS Bank (2. korrigierte Auflage). https://fridaysforfuture.de/wp-content/uploads/2020/10/FFF-Bericht_Ambition2035_Endbericht_final_20201011-v.3.pdf.

Die genannten online verfügbaren Quellen wurden im Zeitraum vom 20.03.2021 bis 19.08.2021 aufgerufen. Eine Ausnahme besteht bei der Quelle „LAK - Länderarbeitskreis Energiebilanzen. (2021).“ Der Datenabruf zur Berechnung der Sektorziele aus dieser Quelle erfolgte im Februar und März 2021.