

Studie

Treibhausgasneutrales Rheinland-Pfalz 2035/2040

Ermittlung von sektorspezifischen Treibhausgasemissionsgrenzen für das Erreichen eines treibhausgasneutralen Rheinland-Pfalz zwischen 2035 und 2040.



Quelle: Fotalia / Jörg Sebell

© Prognos 2023

Das Unternehmen im Überblick

Prognos – wir geben Orientierung.

Wer heute die richtigen Entscheidungen für morgen treffen will, benötigt gesicherte Grundlagen. Prognos liefert sie – unabhängig, wissenschaftlich fundiert und praxisnah. Seit 1959 erarbeiten wir Analysen für Unternehmen, Verbände, Stiftungen und öffentliche Auftraggeber. Nah an ihrer Seite verschaffen wir unseren Kunden den nötigen Gestaltungsspielraum für die Zukunft – durch Forschung, Beratung und Begleitung. Die bewährten Modelle der Prognos AG liefern die Basis für belastbare Prognosen und Szenarien. Mit rund 180 Expertinnen und Experten ist das Unternehmen an neun Standorten vertreten: Basel, Berlin, Bremen, Brüssel, Düsseldorf, Freiburg, Hamburg, München und Stuttgart. Die Projektteams arbeiten interdisziplinär, verbinden Theorie und Praxis, Wissenschaft, Wirtschaft und Politik. Unser Ziel ist stets das eine: Ihnen einen Vorsprung zu verschaffen, im Wissen, im Wettbewerb, in der Zeit.

Geschäftsführer

Christian Böllhoff

Rechtsform

Aktiengesellschaft nach schweizerischem Recht; Sitz der Gesellschaft: Basel
Handelsregisternummer
CH-270.3.003.262-6

Präsident des Verwaltungsrates

Dr. Jan Giller

Handelsregisternummer

Berlin HRB 87447 B

Gründungsjahr

1959

Umsatzsteuer-Identifikationsnummer

DE 122787052

Arbeitssprachen

Deutsch, Englisch, Französisch

Hauptsitz

Prognos AG

St. Alban-Vorstadt 24
4052 Basel | Schweiz
Tel.: +41 61 3273-310
Fax: +41 61 3273-300

Prognos AG

Résidence Palace, Block C
Rue de la Loi 155
1040 Brüssel | Belgien
Tel: +32 280 89-947

Prognos AG

Hermannstraße 13
(c/o WeWork)
20095 Hamburg | Deutschland
Tel.: +49 40 554 37 00-28

Weitere Standorte

Prognos AG

Goethestr. 85
10623 Berlin | Deutschland
Tel.: +49 30 5200 59-210
Fax: +49 30 5200 59-201

Prognos AG

Werdener Straße 4
40227 Düsseldorf | Deutschland
Tel.: +49 211 913 16-110
Fax: +49 211 913 16-141

Prognos AG

Nymphenburger Str. 14
80335 München | Deutschland
Tel.: +49 89 954 1586-710
Fax: +49 89 954 1586-719

Prognos AG

Domshof 21
28195 Bremen | Deutschland
Tel.: +49 421 845 16-410
Fax: +49 421 845 16-428

Prognos AG

Heinrich-von-Stephan-Str. 17
79100 Freiburg | Deutschland
Tel.: +49 761 766 1164-810
Fax: +49 761 766 1164-820

Prognos AG

Eberhardstr. 12
70173 Stuttgart | Deutschland
Tel.: +49 711 3209-610
Fax: +49 711 3209-609

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

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
Zusammenfassung	IX
1 Auftrag und Vorgehen	1
1.1 Auftrag und Problemstellung	1
1.2 Methodik der Szenarien-Erstellung für Rheinland-Pfalz	1
1.2.1 Definition und Ergebnisse des Szenarios auf Bundesebene	2
1.2.2 Methodik der Regionalisierung	6
1.2.3 Strukturelle Rahmendaten auf Bundesebene und ein Vergleich zu Rheinland-Pfalz	9
1.3 Sektorale Abgrenzung und Bilanzierung	11
2 Treibhausgasneutrales Rheinland-Pfalz 2035 – 2040	15
2.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen bis 2040	15
2.2 Sektorale Entwicklungen	23
2.2.1 Industrie	23
2.2.2 Gebäude	32
2.2.3 Verkehr	38
2.2.4 Energiewirtschaft	44
2.2.5 Landwirtschaft	49
2.2.6 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)	52
2.2.7 Abfall und Sonstige	54
2.3 Sektorale Emissionsziele	56
2.4 Treibhausgasneutralität vor 2040	57
3 Handlungsrahmen der Landespolitik	60
3.1 Verteilung klimapolitischer Kompetenzen	60

3.2	Maßnahmen auf Landesebene	62
4	Ergebnisse der Stakeholder-Beteiligung	65
4.1	Vorgehen	65
4.2	Zusammenfassung der Ergebnisse nach Sektoren	66
4.2.1	Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Energiewirtschaft	66
4.2.2	Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Industrie	66
4.2.3	Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Gebäude	67
4.2.4	Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Verkehr	67
4.2.5	Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Land- und Forstwirtschaft	68
5	Fazit	70
	Quellenverzeichnis	71
	Impressum	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Sektorale Emissionsziele Rheinland-Pfalz	XI
Tabelle 2:	Rahmendaten des Bundesszenarios (Auszug)	9
Tabelle 3:	Sektorale Abgrenzung der Treibhausgasemissionen laut Bundes-Klimaschutzgesetz 2021	13
Tabelle 4:	Treibhausgasemissionen nach Regionalisierung	17
Tabelle 5:	Maßnahmen im Sektor Industrie	23
Tabelle 6:	Maßnahmen im Sektor Gebäude	33
Tabelle 7:	Zusätzliche Maßnahmen im Sektor Verkehr zur Erreichung der Klimaziele 2030	39
Tabelle 8:	Maßnahmen im Sektor Energiewirtschaft	45
Tabelle 9:	Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft	50
Tabelle 10:	Maßnahmen im Bereich Abfall und Sonstige	54
Tabelle 11:	Sektorale Emissionsziele Rheinland-Pfalz	56

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Treibhausgasemissionen Gesamt	X
Abbildung 2:	Eingesetzter Modellverbund zur Modellierung der Energieversorgung	4
Abbildung 3:	Treibhausgasemissionen auf Bundesebene nach Sektoren des Klimaschutzplans	6
Abbildung 4:	Vorgehen der Regionalisierung	8
Abbildung 5:	Entwicklung von Bevölkerung, Haushalten und Erwerbstätigen	10

Abbildung 6:	Unterschiede in Bruttowertschöpfung: Deutschland & Rheinland-Pfalz	11
Abbildung 7:	Treibhausgasemissionen nach Regionalisierung	18
Abbildung 8:	Treibhausgasemissionen Gesamt	19
Abbildung 9:	Entwicklung des Primärenergiebedarfs	20
Abbildung 10:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs	21
Abbildung 11:	Bundesweiter Bedarf an Wasserstoff und synthetischen Energieträgern	22
Abbildung 12:	Produktionsmengen energieintensiver Industriebranchen	25
Abbildung 13:	Bruttowertschöpfung Industriebranchen	26
Abbildung 14:	Endenergieverbrauch Industrie nach Energieträger	27
Abbildung 15:	Endenergieverbrauch Industriebranchen	28
Abbildung 16:	Treibhausgasemissionen Industrie	29
Abbildung 17:	Energieverbrauch der Grundstoffchemie	31
Abbildung 18:	Treibhausgasemissionen der Grundstoffchemie	32
Abbildung 19:	Bevölkerungs- und Wohnraumentwicklung, Sanierungsrate	35
Abbildung 20:	Beheizungsstruktur Privater Haushalte	36
Abbildung 21:	Endenergieverbrauch Gebäude nach Energieträger	37
Abbildung 22:	Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude	38
Abbildung 23:	Fahrzeugbestand nach Art des Antriebs	41
Abbildung 24:	Endenergieverbrauch Verkehr nach Energieträger	42
Abbildung 25:	Endenergieverbrauch Verkehr nach Verkehrsträger	43
Abbildung 26:	Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr nach Verkehrsträger	43
Abbildung 27:	Fossilthermischer Kraftwerkspark Rheinland-Pfalz	44
Abbildung 28:	Nachfrageentwicklung Strom und Fernwärme	46
Abbildung 29:	Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien	47

Abbildung 30:	Stromerzeugung im Sektor Energiewirtschaft	48
Abbildung 31:	Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft	49
Abbildung 32:	Entwicklung der Tierbestände	51
Abbildung 33:	Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft	52
Abbildung 34:	Treibhausgasemissionen im Sektor LULUCF	54
Abbildung 35:	Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstige	55
Abbildung 36:	Emissionsentwicklung Rheinland-Pfalz 2035 – 2040	57
Abbildung 37:	Handlungsmöglichkeiten der Bundesländer im Klimaschutz	60
Abbildung 38:	Kompetenz im Bereich Klimaschutz und Energie	61

Abkürzungsverzeichnis

BECCS	Bioenergy with Carbon Capture & Storage, <i>dt. Bioenergie mit CCS</i>
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz (<i>Referenz</i>)
BEV	Batterieelektrisches Fahrzeug
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BWS	Bruttowertschöpfung
CCS	Carbon Capture and Storage, <i>dt. Kohlenstoff-Abtrennung und Speicherung</i>
CO ₂ eq	Kohlendioxid-Äquivalent
CRF	Common Reporting Format, d.h. einheitliches Berichtsformat; int. THG-Berichtsformat der UNFCCC; Systematik der internationalen Klimaberichterstattung
DACCS	Direct Air Carbon Capture and Storage, <i>dt. Kohlenstoff-Abscheidung direkt aus der Luft und Speicherung</i>
EEV	Endenergieverbrauch
EU-ETS	European Union Emission Trading System, <i>dt. europäisches Emissionshandelssystem</i>
EZFH	Ein- und Zweifamilienhaus
FCV	Brennstoffzellen-Fahrzeuge
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

HVC	High value chemicals, <i>dt. hochwertige Chemikalien</i> ; eigentlich: Grundstoffe, auf deren Basis hochwertige Chemikalien, insbesondere Kunststoffe, hergestellt werden, wie z.B. Ethylen, Benzol
IKW	Industriekraftwerk
KSG	(Bundes-)Klimaschutzgesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LKSG	Landesklimaschutzgesetz
LULUCF	Land use, land use change and forestry, <i>dt. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forsten</i>
MFH	Mehrfamilienhaus
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mt	Megatonnen = 1 Million Tonnen
NEV	Nichtenergetischer Verbrauch
NIR	National Inventory Report, <i>dt. nationaler Inventarbericht</i>
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PHEV	Plug-in-Hybrid Fahrzeug
PJ	Petajoule
Pkw	Personenkraftwagen
THG	Treibhausgasemissionen
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change, <i>dt. Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen</i>

Zusammenfassung

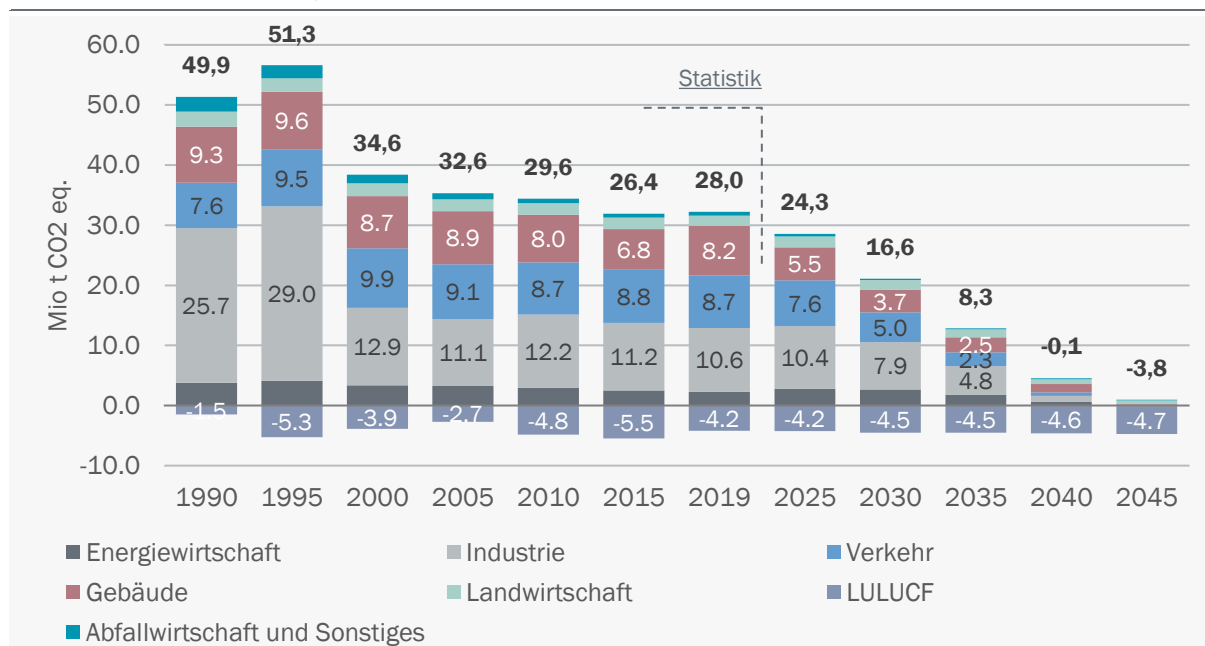
Die rheinland-pfälzische Landesregierung hat es sich im Koalitionsvertrag von 2021 zum Auftrag gemacht, das Landes Klimaschutzgesetz hinsichtlich der Klimazielverschärfung auf europäischer und Bundesebene fortzuschreiben. Analog zur Bundesgesetzgebung soll in Rheinland-Pfalz ein sektoraler Ansatz der Emissionsentwicklung gewählt werden: Das **Ziel der landesweiten Treibhausgasneutralität** wird auf sektorspezifische Zwischenziele heruntergebrochen.

Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass viele Treibhausgas-emittierende (THG-emittierende) Aktivitäten nicht ausschließlich durch Landesgesetzgebung beeinflusst werden, wird das Szenario zur Darstellung der sektoralen Zielpfade in Rheinland-Pfalz als **Regionalisierung eines Zielszenarios auf Bundesebene** dargestellt. Das verwendete Szenario ist ein Zielszenario, welches aufzeigt, wie Deutschland insgesamt eine Treibhausgasneutralität gemäß dem Bundesklimaschutzgesetz erlangen kann. Das Szenario für Rheinland-Pfalz respektiert die sektorspezifischen Besonderheiten der Wirtschafts- und Sozialstruktur des Landes und zeigt einen **Weg zur Treibhausgasneutralität Rheinland-Pfalz** – innerhalb der bundesdeutschen Entwicklungen der Treibhausgasneutralität bis 2045 – **bis 2040 auf**.

Die bedeutendsten Einsparungen erfolgen im **Sektor Industrie**, der historisch den größten Anteil an Emissionen zur Landesbilanz beiträgt. Umstellungen der Prozesse und der Ausstieg aus dem Betrieb von Industriekraftwerken sind hier Haupttreiber der sinkenden Emissionen. Die Emissionen in den **Sektoren Verkehr und Gebäude** sinken jeweils durch Energieeffizienz und Brenn- bzw. Treibstoffwechsel: Im Sektor Gebäude durch energetische Sanierungen der Gebäudehülle und Heizungsanlagen, und insbesondere durch den Wechsel von fossilen Brennstoffen zur Wärmeherzeugung hin zu dezentraler, strombasierter Wärmeversorgung mit Wärmepumpen und leitungsgebundener Wärmeversorgung mithilfe von Fern- und Nahwärmenetzen. Im Sektor Verkehr bewirkt der Antriebswechsel zum einen die Vermeidung von Emissionen durch die Verbrennung fossiler Kraftstoffe. Zum anderen sorgt die Elektrifizierung aufgrund der Wirkungsgradvorteile von Elektromotoren gegenüber Verbrennungsmotoren für hohe Einsparungen im Endenergieverbrauch. Die öffentliche Strom- und Wärmeversorgung – im **Sektor Energiewirtschaft** bilanziert – wird durch die Verwendung regenerativer Energiequellen sowie den Betrieb von KWK-Kraftwerken mit synthetischen Kraftstoffen statt fossilem Erdgas emissionsfrei. Im **Sektor Landwirtschaft** werden Einsparungen bei der Fermentation aber auch beim Stickstoffeinsatz im Düngemittelmanagement und anderen Bereichen durch eine Reduktion der Tierbestände erreicht. Zudem werden Anwendungen elektrifiziert. Die Senkenwirkung des **Sektors LULUCF** wird in Rheinland-Pfalz leicht ausgeweitet. Maßgeblich sind hier der Erhalt der Kohlenstoffbindung durch den Wald trotz Klimawandel in einer ähnlichen Größenordnung wie heute, Bindung von Kohlenstoff in langlebigen Holzprodukten sowie ein leichter Rückgang der Emissionen bei der Landnutzung. Die nachfolgende Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen je Sektor für Rheinland-Pfalz auf.

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen Gesamt

1990 – 2045, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Quellenbilanzierte **Treibhausgasneutralität bis 2040** in Rheinland-Pfalz zu erreichen, erscheint innerhalb der bundesdeutschen Ambition, bis 2045 Treibhausgasneutralität zu erreichen, möglich. Eine regionale Auswertung eines bundesweiten Zielszenarios für Rheinland-Pfalz verpasst um weniger als 1 Mio. t CO₂eq die Zielvorgabe für den Bilanzraum Rheinland-Pfalz. Mit zusätzlichen Maßnahmen in Rheinland-Pfalz können diese bis 2040 eingespart werden. Dies betrifft insbesondere eine schnelle Reduktion des Einsatzes von Brennstoffen in Kraftwerken (öffentlich und industriell) und zeitlich ambitioniertere Umstellungen im Bereich Landwirtschaft (Düngermanagement und Reduktion von Großvieh). Mit der Umstellung der Kraftwerke ist ein beschleunigter Aufbau von erneuerbaren Kapazitäten zur Stromerzeugung verknüpft.

Eine deutlich schnellere **Treibhausgasneutralität bis 2035** erscheint anhand des Szenarios deutlich unwahrscheinlicher. Hierzu müssten in allen Sektoren weitere Einsparungen von 8,3 Mio. t CO₂eq im Bilanzraum Rheinland-Pfalz geschaffen werden. Dies erfordert Umstellungen auf der Aktivitätenebene, auf die Rheinland-Pfalz durch landesgesetzgeberische Kompetenzen nur bedingt einwirken kann.

Als **Sektorale Emissionsziele** werden somit die die sektoralen Emissionswerte des Szenarios der Treibhausgasneutralität in Rheinland-Pfalz bis 2040 vorgeschlagen. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 1 enthalten.

Der **Handlungsrahmen der Landespolitik** im Bereich des Klimaschutzes ist vielfältig. Zum einen gibt es Handlungsmöglichkeiten im Rahmen der Gesetzgebung. Hier gibt es sowohl Möglichkeiten in der Landesgesetzgebung als auch der Mitwirkung des Landes im Bundesrat. Viele Bereiche des Klimaschutzes fallen unter die konkurrierende Gesetzgebung von Bund und Ländern, daher muss das Land genau prüfen, wo die Landesgesetzgebung Kompetenzen hat. Das Land Rhein-

land-Pfalz trägt für die Umsetzung der Transformation zu einer treibhausgasneutralen Volkswirtschaft bis 2040 insbesondere eine starke Rolle in **Planungs-, Koordinierungs- und Verwaltungsaufgaben**, um die Transformationen bis zu den Zielvorgaben umzusetzen und in die Fläche zu tragen.

Tabelle 1: Sektorale Emissionsziele Rheinland-Pfalz

2025 – 2040, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz

Sektor	2025	2030	2035	2040
Energiewirtschaft	2,8	2,7	1,8	0,6
Industrie	10,4	7,9	4,8	1,0
Verkehr	7,6	5,0	2,3	0,6
Gebäude	5,5	3,7	2,5	1,4
Landwirtschaft	1,8	1,6	1,3	0,8
LULUCF	-4,2	-4,5	-4,5	-4,6
Abfallwirtschaft und Sonstige	0,4	0,3	0,2	0,2
Gesamt	24,3	16,6	8,3	-0,1

Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Sehr wichtig für die Zielerreichung der Treibhausgasneutralität ist die **Bereitstellung zentraler Infrastrukturen**: Strom, Wasserstoff und Wärme werden zunehmend über Netze bereitgestellt. Deren Ausbau muss in gesellschaftlichen Prozessen ausgestaltet werden. Auch die **Abscheidung von CO₂** und dessen Transport über Pipelines ist Bestandteil eines zukünftigen Energiesystems und sollte frühzeitig angedacht werden. Mit der **Raumordnung**, und hier im speziellen dem Landesentwicklungsprogramm, kann das Land zum einen raumplanerisch im Bereich solcher Infrastrukturen als auch in anderen Bereichen aktiv werden (Siedlungsstruktur, Flächenbereitstellung für erneuerbare Energien). Schlussendlich ist in Rheinland-Pfalz eine Zielerreichung nur unter der Voraussetzung möglich, dass die natürliche **Kohlenstoffsenke im Bereich der Forstwirtschaft** mindestens in der heutigen Größenordnung erhalten bleibt.

Das Projekt wurde Ende 2021 in Auftrag geben; das den auf Rheinland-Pfalz zugeschnittenen Regionalisierungs-Rechnungen zugrunde liegende Szenario auf Bundesebene ist ebenfalls von 2021; es bildet das Bundes-Klimaschutzgesetz und die damalige Diskussion zur instrumentellen Verstärkung ab. Zum Teil haben sich die dann tatsächlich umgesetzten Instrumente in etwas andere Richtungen entwickelt, was im Rahmen dieser Arbeit nicht abgebildet werden konnte. Die für die Zielsetzung abgeleiteten Aussagen auf der technischen Ebene sowie der Mengengerüste sind nach wie vor gültig.

1 Auftrag und Vorgehen

1.1 Auftrag und Problemstellung

Das Bundesland Rheinland-Pfalz ist durch das aktuell gültige Landesklimaschutzgesetz von 2014 (LKSG) verpflichtet, seine Treibhausgasemissionen (THG) gegenüber 1990 bis zum Jahr 2050 um mindestens 90% zu reduzieren und eine bilanzielle Treibhausgasneutralität zu erreichen. Im Koalitionsvertrag der Landesregierung¹ aus dem Jahr 2021 wurde vereinbart, das LKSG fortzuschreiben und weiterzuentwickeln: Die Treibhausgasemissionsziele im LKSG im Zuge von nationalen und europäischen Zielverschärfung sollen ebenfalls verschärft werden und eine bilanzielle Treibhausgasneutralität soll für Rheinland-Pfalz bereits in den Jahren zwischen 2035 und 2040 erreicht werden. Betrachtet werden dabei die Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), fluorierte Kohlenwasserstoffe (FKWs), Schwefelhexafluorid (SF₆) sowie Stickstofftrifluorid (NF₃).

Um diese Aufgabe zu erfüllen, schreibt der Koalitionsvertrag vor, sektorspezifische Treibhausgasemissionsgrenzen festzulegen. Die sektorspezifischen Ziele sollen als Handlungsrahmen und Steuerungsinstrument für die Landesregierung dienen. Dafür soll das Landesklimaschutzgesetz entsprechend fortgeschrieben werden. Aufgrund von Gesetzgebungskompetenzen werden allerdings viele Prozesse, welche für Emissionen verantwortlich sind, auf nationaler bzw. europäischer Gesetzgebungsebene gesteuert. Aufgrund dieser Verflechtungen ist es besonders von Interesse und notwendig, die Entwicklungen des Landes Rheinland-Pfalz in Bezug auf Treibhausgasneutralität im Verhältnis zu bundesweiten Entwicklungen zu sehen.

Um eine bilanzielle Treibhausgasneutralität zwischen 2035 und 2040 in Rheinland-Pfalz zu erreichen und die hierfür erforderlichen Sektorziele zu bestimmen, wurde von dem rheinland-pfälzischen Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität ein Arbeitsauftrag zur Ermittlung von Sektorzielen durch wissenschaftliche Szenarienberechnungen mit nachfolgender Beteiligung der zentralen Stakeholder an Prognos AG vergeben. Die Szenarien zur Bestimmung der Sektorziele erfolgen – um den Vergleich mit den nationalen Emissionsentwicklungen zu gewährleisten – auf der gleichen sektoralen Aufteilung wie auf Bundesebene. Insgesamt wird in dem Szenario die Entwicklung des Bundeslands Rheinland-Pfalz innerhalb von bundesdeutschen Entwicklungen dargestellt.

1.2 Methodik der Szenarien-Erstellung für Rheinland-Pfalz

Um die Entwicklung der Treibhausgasemissionen in Rheinland-Pfalz innerhalb der bundesdeutschen und europäischen Entwicklungen abzubilden, werden die Szenarien für Rheinland-Pfalz aus einem gesamtdeutschen Szenario – welches für die Bundesregierung erstellt wurde und nachfolgend für die Klimaschutzziele im Bundesklimaschutzgesetz als Grundlage diente – abgeleitet. Verwendet wurde für diesen Zweck ein Szenario der Prognos AG, in dem die Treibhausgasemissionen bis 2045 auf „Netto-Null“ reduziert werden. Die diesem Szenario zugrundeliegenden Mengentreiber, die Energieverbräuche sowie die (sektoralen) Treibhausgasemissionen werden dargestellt. Dieses Szenario wird für Rheinland-Pfalz mit den entsprechenden Strukturdaten

¹ https://www.rlp.de/fileadmin/rlp-stk/pdf-Dateien/Staatskanzlei/rlp_Koalitionsvertrag2021-2026.pdf

„regionalisiert“. Das „Bundesszenario“ sowie die Methodik der Regionalisierung werden im Folgenden erläutert.

i

Bundesszenario, Zielszenario auf Bundesebene

Das genannte und als Grundlage verwendete „Bundesszenario“ wurde von Prognos AG 2020 / 2021 im Rahmen eines größeren Auftrags für das damalige BMWI, heute BMWK, erarbeitet. In diesem wurden verschiedene technische Maßnahmen und politische Instrumente, die aus verschiedenen Quellen vorgeschlagen wurden, auf ihren Beitrag zur Zielerreichung untersucht, insbesondere nach 2030.

Bis zum Jahr 2030 wurden die Instrumente angenommen, die in der Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes (KSG) von Mai 2021 genannt sind; nach 2030 wurden darüber hinaus weitere Instrumente angenommen, da mit den Instrumenten des KSG allein die Treibhausgasneutralität bis 2045 nicht erreichbar ist. Die nach 2030 zusätzlich untersuchten Instrumente sind als Vorschläge verschiedener Quellen zur Untersuchung der Auswirkungen aktuell diskutierter Instrumente zu verstehen. Es handelt sich hierbei nicht um Positionen oder Präferenzen des BMWK.

Der Vorteil bei der Verwendung dieses Szenarios ist, dass es nicht „nur“ die Ziele mit der Umsetzung technischer Maßnahmen erreicht, sondern z.T. bereits instrumentiert ist.

Aufgrund der Veränderungen nach der Bundestagswahl 2021 wurden die Szenarienergebnisse nicht veröffentlicht, dürfen aber als Grundlage für weitere Arbeiten wie die hier vorliegende verwendet werden.

Das hier vorgelegte Projekt wurde Ende 2021 in Auftrag geben; das den Rechnungen zugrunde liegende Szenario auf Bundesebene ist ebenfalls von 2021; es bildet das Bundes-Klimaschutzgesetz und die damalige Diskussion zur instrumentellen Verstärkung ab. Zum Teil haben sich die dann tatsächlich umgesetzten Instrumente in etwas andere Richtungen entwickelt, was im Rahmen dieser Arbeit nicht abgebildet werden konnte. Die für die Zielsetzung abgeleiteten Aussagen auf der technischen Ebene sowie der Mengengerüste sind nach wie vor gültig.

1.2.1 Definition und Ergebnisse des Szenarios auf Bundesebene

Definition des verwendeten Szenarios auf Bundesebene

Das für die Regionalisierung auf Bundesebene verwendete Szenario ist ein von der Prognos AG entwickeltes Zielszenario, das die neuen THG-Reduktionsziele gemäß den Beschlüssen vom Mai 2021 zur Novelle des Bundes-Klimaschutzgesetzes abbildet. Alle politischen Zielvorgaben bezüglich Treibhausgasemissionsgrenzen auf Bundesebene werden in dem Szenario eingehalten: sowohl die sektoralen Ziele 2030 als auch die Gesamtziele für 2040 und 2045.

Die Entwicklung bis 2030 basiert auf dem Klimaschutzprogramm 2030 sowie zusätzlicher Instrumente. Berücksichtigt wurden unter anderem aktuelle Beschlüsse wie das Sofortprogramm 2020 für Gebäude und die nationale Wasserstoffstrategie. Nach 2030 wurden per exogener Setzung zusätzliche technische Maßnahmen eingeführt, um das Ziel von Netto-Null THG-Emissionen bis 2045 sicherzustellen. Nicht enthalten waren zu dem Zeitpunkt der Szenarioerstellung neue Beschlüsse des Koalitionsvertrages von 2021 auf Bundesebene sowie die jüngsten Entwicklungen aufgrund des russischen Angriffskriegs in der Ukraine, da dies zeitlich nach der Fertigstellung der Arbeiten durch die Prognos AG erfolgte.

i

„Treibhausgasneutralität“ und „Klimaneutralität“

Die Begriffe „treibhausgasneutral“ und „klimaneutral“ werden im Sprachgebrauch oft synonym verwendet, so beispielsweise auch durch die Europäische Kommission und andere Akteure.

Der in diesem Bericht verwendete Begriff „treibhausgasneutral“ beschreibt den Ausgleich von anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen in die Atmosphäre in einem Jahr durch den anthropogenen Abbau von Treibhausgasen.

Klimaneutralität beschreibt einen Zustand, in dem menschliche Aktivitäten keine Nettoauswirkungen auf das Klimasystem haben. Dies geht allerdings über die Emissionen von Treibhausgasen hinaus (bspw. Veränderung der Oberflächenalbedo durch Versiegelung). Klimaneutralität in diesem sehr umfassenden Sinne wurde in der vorliegenden Studie nicht untersucht, da hierfür auch quantitative und methodische Grundlagen fehlen.

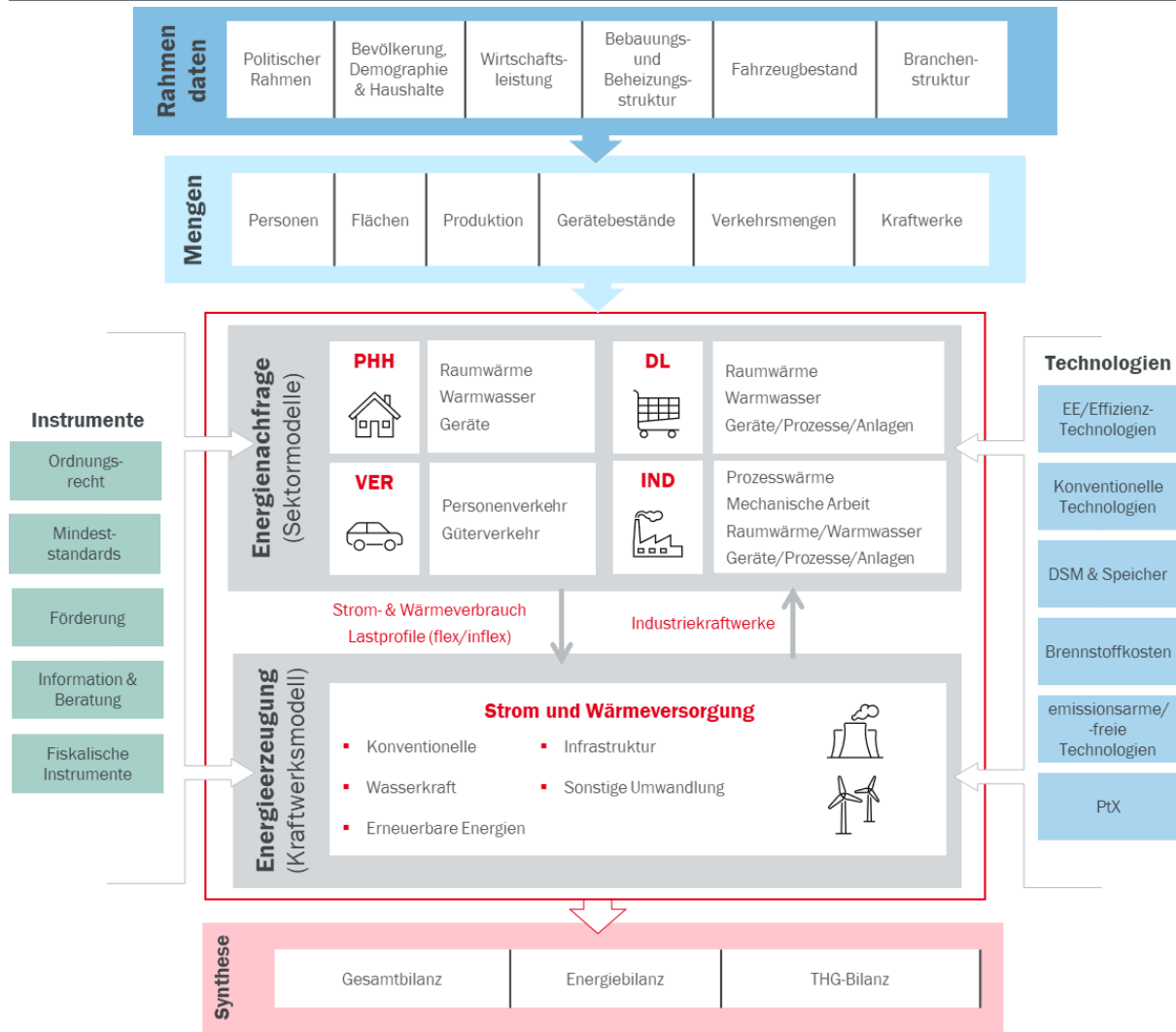
Den statistischen Rand des Szenarios bildet das Jahr 2019. Sofern vorhanden wurden ggf. Zahlen für 2020 auf Bundesebene berücksichtigt. Verwendet wurden aktuelle Annahmen zu Rahmendaten, die auch im Projektionsbericht 2021 verwendet werden (u. a. Bevölkerungsentwicklung, BIP, Energiepreise). (PB 2021). Die Bevölkerung steigt bis 2030 auf knapp 83 Mio. Personen an, und sinkt danach bis 2050 wieder auf knapp 79 Mio. Personen ab. Diese Abnahme ist der demographischen Entwicklung geschuldet, da selbst bei einem Netto-Zuwanderungssaldo von ca. 250'000 Personen jährlich der demografisch bedingte Rückgang (Sterberate ist höher als Geburtenrate) nicht ausgeglichen wird. Das BIP wächst mit durchschnittlich knapp 1 Prozent jährlich, so dass weiterhin sowohl von Wirtschafts- als auch von Wohlstandswachstum ausgegangen wird.

Alle energiebezogenen Emissionen im Bundesszenario ergeben sich aus der Entwicklung des Energiesystems in Deutschland. Diese Entwicklung wird mit einem Modellverbund der Prognos AG quantitativ simuliert. Der Modellverbund ist in Abbildung 2 abgebildet. Im Wesentlichen wird die Energienachfrage als Folge von volkswirtschaftlichen, technologischen und instrumentellen Entwicklungen und Rahmenbedingungen mithilfe von Sektormodellen für die Zukunft berechnet. Diese Nachfrage wird unter Berücksichtigung technologischer Entwicklungen und regulatorischer Rahmenbedingungen bedient. Aus den hierbei eingesetzten fossilen Energieträgern ergeben sich in Summe die energiebedingten Treibhausgasemissionen.

Weitere, nicht verbrennungsbedingte Emissionen wurden ebenfalls mithilfe von Modellberechnungen fortgeschrieben. Teilweise sind diese ebenfalls mit quantitativen Modellen verknüpft (wie

beispielsweise die stoffliche Nutzung von Energieträgern oder Prozessemissionen in der Industrie). Teilweise sind diese unabhängig vom Energiesystem, und werden mithilfe eigener Modelle abgebildet (wie beispielsweise Emissionen aus der Fermentation in der Landwirtschaft).

Abbildung 2: Eingesetzter Modellverbund zur Modellierung der Energieversorgung



Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Entwicklung der Treibhausgasemissionen auf Bundesebene

In Deutschland wurden im Jahr 2019 793 Mio. t CO₂eq emittiert (inkl. Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft, kurz: LULUCF²). In dem verwendeten Szenario verringern sich die THG-Emissionen bis zum Jahr 2030 auf rund 412 Mio. t CO₂eq. Ohne Berücksichtigung des LULUCF-Sektors ergeben sich im Jahr 2030 THG-Emissionen im Umfang von 437 Mio. t CO₂eq.

² Siehe 1.3, Definition der Sektoren

Das sind 65 Prozent weniger als im Jahr 1990.³ Ab 2045 ist die Treibhausgasbilanz ausgeglichen. Definitionsgemäß werden somit die im novellierten KSG vorgeschriebenen Klimaschutzziele im Szenario erfüllt.

Rund ein Drittel der im Jahr 2019 emittierten THG-Emissionen entfielen auf den Umwandlungssektor, hauptsächlich für die Erzeugung von Strom und Fernwärme. Der Umwandlungssektor trägt mit rund 151 Mio. t CO₂eq auch mit Abstand am meisten zur THG-Reduktion im Zeitraum 2019 bis 2030 bei, insbesondere durch den Rückgang der Stromproduktion aus Kohle. Es folgen Verkehr (-79 Mio. t CO₂eq), Industrie (-69 Mio. t CO₂eq), Gebäude (-57 Mio. t CO₂eq), Landwirtschaft (-12 Mio. t CO₂eq) und Abfall (-5 Mio. t CO₂eq). Damit gehen die THG-Emissionen in allen Sektoren im Zeitraum 2019 bis 2030 zurück und erreichen die Sektorziele definitionsgemäß.

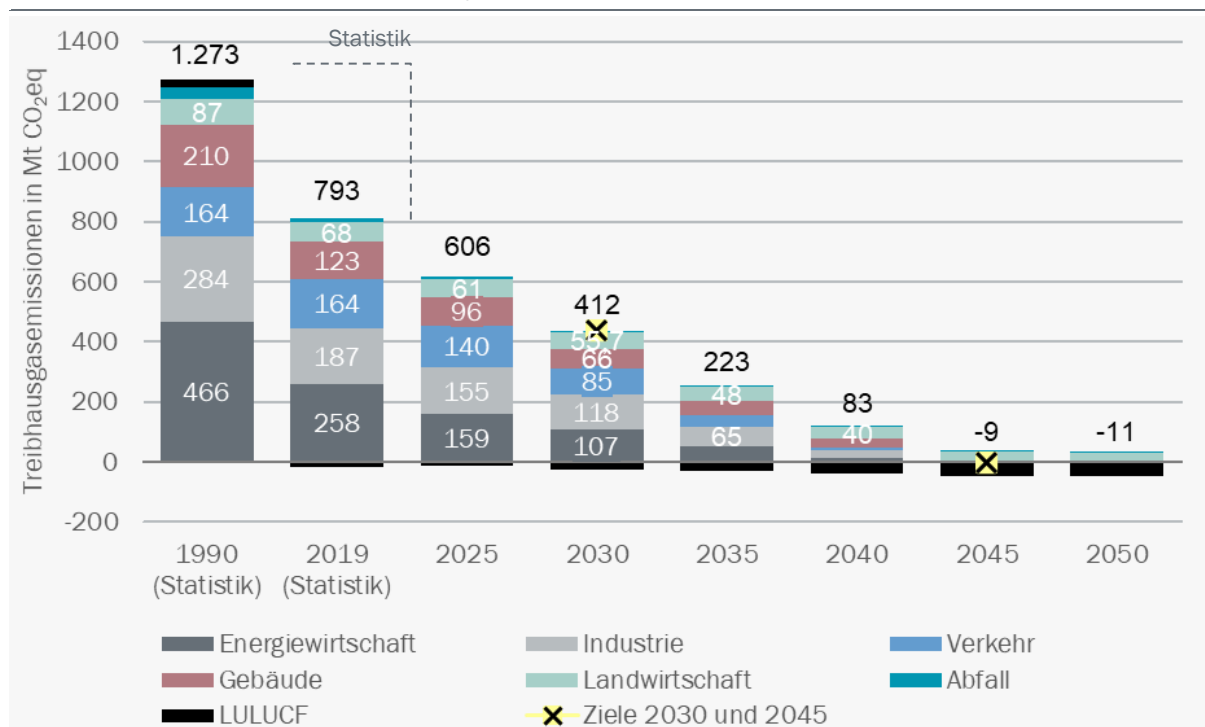
Einen Sonderfall stellt der LULUCF-Sektor dar, der in den Jahren 2021 und 2022 kurzzeitig von einer Senke zur Quelle wird. Grund hierfür ist vor allem die heiße und trockene Witterung in den Jahren 2018–2020, welche die Senkenleistung des Waldes temporär verminderte. Bis 2030 erhöht sich die Senkenleistung auf Bundesebene wieder auf dann 25 Mio. t CO₂eq, was einer Zunahme um rund 50 Prozent gegenüber 2019 entspricht.

Bis zum Jahr 2045 wird das Reduktionsziel mit Netto-Null THG-Emissionen erreicht. Die THG-Emissionen in den Sektoren Verkehr und Industrie (unter Einschluss von Carbon-Capture and Storage, CCS) liegen dann bei unter einer Mio. t CO₂eq, im Gebäudesektor verbleiben noch Restemissionen von knapp 3 Mio. t CO₂eq. Im Sektor Energiewirtschaft sowie Industrie werden mit Biomasse-CCS negative Emissionen „erzeugt“, für den Sektor ergeben sich Emissionen im Umfang von insgesamt -5 Mio. t CO₂eq. Die THG-Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und Abfall verringern sich bis zum Jahr 2045 auf noch 34 Mio. t CO₂eq, die Senkenleistung des LULUCF-Sektors beträgt dann rund 42 Mio. t CO₂eq. Insgesamt ergeben sich im Jahr 2045 THG-Emissionen im Umfang von -9 Mio. t CO₂eq; das Reduktionsziel wird damit leicht übererfüllt. Ein etwas langsamerer Hochlauf von CCS und Negativ-Emissionstechnologien (NET) (u. a. im Sektor Energiewirtschaft) wäre ausreichend für die Zielerreichung. Bis zum Jahr 2050 verringern sich die THG-Emissionen auf -11 Mio. t CO₂eq (inkl. Senke des LULUCF-Sektors). Die Abnahme nach 2045 ist im Wesentlichen auf den weiteren Rückgang der Emissionen in den Sektoren Gebäude und Industrie zurückzuführen.

³ Auf die auf Bundesebene definierten Zwischenziele zur Erreichung der Treibhausgasneutralität wird der Sektor LULUCF nicht angerechnet. Für die Treibhausgasneutralität in 2045 wird die Senke angerechnet.

Abbildung 3: Treibhausgasemissionen auf Bundesebene nach Sektoren des Klimaschutzplans

1990 – 2050, KSP-Sektoren, in Mio. t CO₂eq



Quelle: UBA 2021 und eigene Berechnung

1.2.2 Methodik der Regionalisierung

Die Grundlage des Szenarios für Rheinland-Pfalz bildet das in Kap. 1.2.1 beschriebene Szenario der Treibhausgasemissionen auf Bundesebene. Die Ergebnisse liegen hoch aufgelöst (z.B. nach Branchen und Verwendungszwecken) vor und können daher auf die regionalen Gegebenheiten des Bundeslandes Rheinland-Pfalz angewandt werden. Dabei gibt es methodische Unterschiede je Sektor.

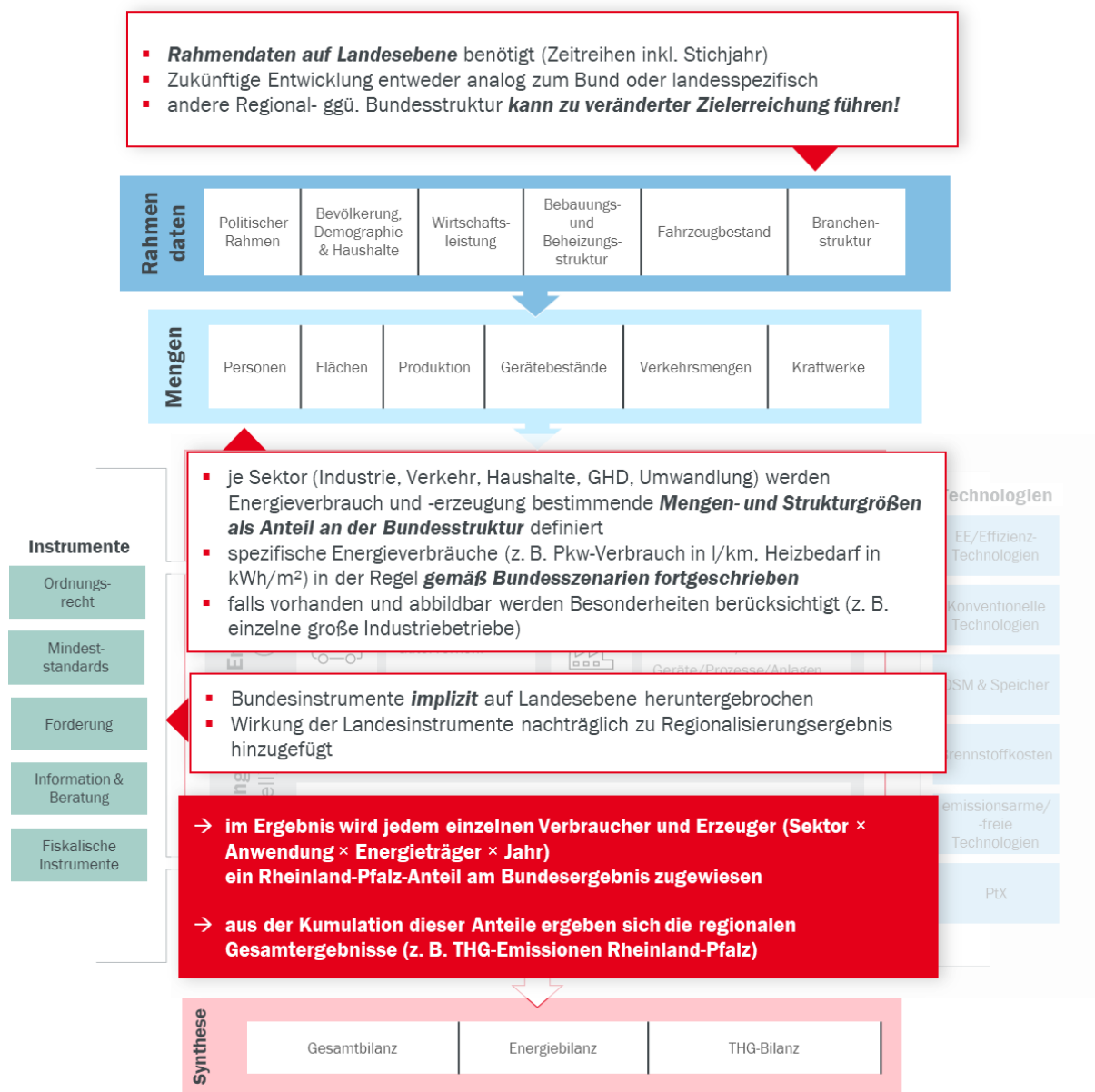
- Zum einen liegen Entwicklungen von Einzelanlagen so hoch aufgelöst vor, dass die in Rheinland-Pfalz stattfindenden Prozesse aus den Ergebnissen herausgelöst werden können und somit schon die Ergebnisse für den Bilanzraum Rheinland-Pfalz in den Bundesentwicklungen enthalten sind (Bspw. Einsatz von Kraftwerken aus Rheinland-Pfalz im europäischen Strommarkt).
- Andererseits müssen Bundesentwicklungen anhand von regional vorliegenden Verteilungen und Daten erst auf eine höhere Granularität „regionalisiert“ werden (bspw. Nachfrageentwicklung der Raumwärme in Rheinland-Pfalz).

Für die einzelnen Aktivitäten wird, je nach vorliegenden Ergebnissen und Berechnungsweisen auf Bundesebene, so die Entwicklung der Aktivitäten und Emissionen für den Bilanzraum Rheinland-Pfalz aus dem Bundesszenario herausgelöst. Die Ergebnisse bilden eine Berechnung, wie sich die Aktivitäten im Bilanzraum Rheinland-Pfalz unter den im Bundesszenario definierten Entwicklungen aufgrund der regionalen Gegebenheiten entwickeln.

Ausgehend von der regionalisierten Basis kann in einem zweiten Schritt durch zusätzliche Maßnahmen die Bedingung erfüllt werden, dass die Gesamtheit der Aktivitäten in Rheinland-Pfalz eine bilanzielle Treibhausgasneutralität angestrebt in einem Zeitraum zwischen 2035 und 2040 erreicht wird. Die im Koalitionsvertrag des Bundeslandes Rheinland-Pfalz „Zukunftsvertrag 2021-2026“ definierten Ziele sind in dem bundesdeutschen Szenario nicht explizit berücksichtigt worden. Beispielsweise mussten in dem Szenario auf Landesebene bestimmte Verbrennungsprozesse bis spätestens 2040 in Rheinland-Pfalz umgestellt werden, um zusätzlich Emissionen zu vermeiden. In dem bundesdeutschen Szenario war dies aufgrund der Vorgaben der Treibhausgasneutralität bis 2045 nicht nötig. Das vorliegende Szenario enthält somit zusätzliche, ambitioniertere Vorgaben als das Bundesszenario, um die im LKSG definierten Ziele zu erreichen.

Abbildung 4: Vorgehen der Regionalisierung

am Beispiel der Energienachfragemodellierung



Eigene Darstellung Prognos

In Summe lässt sich allerdings sagen, dass die reine Regionalisierung des Szenarios und somit das Herauslösen der Aktivitäten in Rheinland-Pfalz schon fast zu einer Zielerreichung unter den in Rheinland-Pfalz gegebenen Anforderungen führen. Die Nachsteuerung für eine Treibhausgasneutralität bis 2040 in Rheinland-Pfalz war nur noch für weniger als 1 Mio. t CO₂eq notwendig.

1.2.3 Strukturelle Rahmendaten auf Bundesebene und ein Vergleich zu Rheinland-Pfalz

Für das Bundesszenario wurden wesentliche Rahmendaten herangezogen, um eine fundierte Grundlage für die Analyse der Treibhausgasemissionen und mögliche Reduktionsstrategien zu schaffen. Dabei wurden unter anderem die Bevölkerung, Haushalte und Erwerbstätige im Zeitraum von 2000 bis 2050 betrachtet. Die Bevölkerung Deutschlands stieg zunächst von 81,3 Millionen im Jahr 2000 auf 83,5 Millionen im Jahr 2020 an, bevor sie bis 2050 wieder auf 79 Millionen zurückgeht. Die Anzahl der Haushalte und Erwerbstätigen verzeichnet ebenfalls Veränderungen im betrachteten Zeitraum.

Tabelle 2: Rahmendaten des Bundesszenarios (Auszug)

2000 – 2050, verschiedene Einheiten, Deutschland

Bezugsgröße	Einheit	2000	2016	2020	2030	2040	2050
übergeordnete Größen							
Bevölkerung ¹	Mio.	81,3	82,8	83,5	82,9	81,3	79,0
Haushalte ¹	Mio.	37,5	41,4	42,4	42,9	43,3	42,8
Erwerbstätige ¹	Mio.	39,9	43,4	43,9	41,5	38,4	35,7
BIP ²	Mrd. Euro ₂₀₁₀	2.359	2.801	3.047	3.416	3.744	4.057
CO ₂ -Preis EU-EHS	Euro ₂₀₂₀ /t		9	25	80	160	225
Grenzübergangspreise³							
Rohöl	Euro ₂₀₁₆ /GJ	6,5	6,6	13,4	16,7	18	19,4
Erdgas	Euro ₂₀₁₆ /GJ	3,6	4,3	7,8	9,2	10,1	10,6
Steinkohle	Euro ₂₀₁₆ /GJ	1,7	2,5	2,5	3,6	4	4,3

Quellen: 1) eigene Berechnungen auf Basis von Destatis (2017) 2) eigene Berechnungen auf Basis von Bundesbank (2017) und EU-COM (2016a) 3) Öko-Institut et al. (2017) und EU-COM (2016a)

Darüber hinaus wurden das Bruttoinlandsprodukt (BIP) und der CO₂-Preis im EU-Emissionshandelssystem (EU-EHS) als weitere wichtige Rahmendaten betrachtet. Das BIP steigt von 2.359 Milliarden Euro im Jahr 2000 auf 4.057 Milliarden Euro im Jahr 2050, während der CO₂-Preis im EU-EHS von 9 Euro pro Tonne im Jahr 2016 auf 225 Euro pro Tonne im Jahr 2050 ansteigt. Zudem wurden die Grenzübergangspreise für Rohöl, Erdgas und Steinkohle in die Analyse einbezogen. Im betrachteten Zeitraum stiegen die Preise für Rohöl von 6,5 Euro/GJ im Jahr 2000 auf 19,4 Euro/GJ im Jahr 2050, für Erdgas von 3,6 Euro/GJ auf 10,6 Euro/GJ und für Steinkohle von 1,7 Euro/GJ auf 4,3 Euro/GJ.

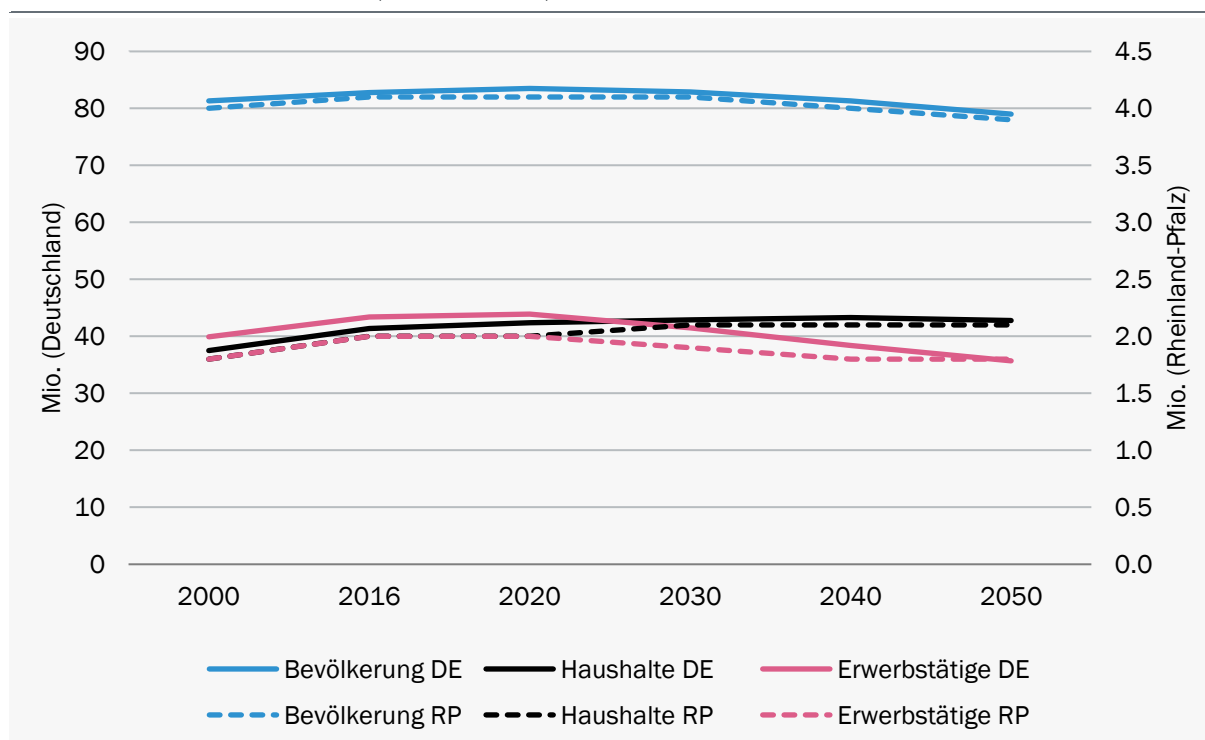
Viele der für das Bundesszenario verwendeten Rahmendaten sind auch für die Regionalisierung in Rheinland-Pfalz relevant. Jedoch gibt es einige Unterschiede, insbesondere in Bezug auf die Struktur der industriellen Bruttowertschöpfung, die eine angepasste Betrachtung erfordern. Im Folgenden werden die strukturellen Unterschiede zwischen Deutschland und Rheinland-Pfalz hinsichtlich zentraler Rahmendaten dargestellt, um die Auswirkungen dieser Unterschiede auf die Zielerreichung und die Anpassung von Szenarien zur Treibhausgasneutralität bis 2040 besser zu verstehen.

Die Entwicklung von Bevölkerung, Haushalten und Erwerbstätigen in Rheinland-Pfalz verläuft weitgehend parallel zu den Entwicklungen in Deutschland insgesamt, wie aus den Projektionen des Statistischen Bundesamts hervorgeht (Destatis 2022b). So steigt die Zahl der Haushalte kontinuierlich an, während sich die Haushaltsstruktur ändert. Gleichzeitig sinkt die Zahl der Erwerbspersonen aufgrund der demografischen Entwicklung und der Alterung der Bevölkerung. In diesem Zusammenhang werden keine Annahmen über ein späteres Rentenalter jenseits der aktuellen Beschlüsse getroffen.

Im Jahr 2050 wird die Bevölkerung in Deutschland auf 79 Millionen Menschen und in Rheinland-Pfalz auf 3,9 Millionen Menschen geschätzt. Die Zahl der Haushalte wird in Deutschland auf 42,8 Millionen und in Rheinland-Pfalz auf 2,1 Millionen ansteigen. Die Zahl der Erwerbstätigen wird in Deutschland auf 35,7 Millionen und in Rheinland-Pfalz auf 1,8 Millionen sinken (vgl. Abbildung 5). Hierbei wurden die aktuell geltenden Bedingungen des Rentensystems vorausgesetzt, jedoch keine darüber hinaus gehenden Anhebungen des Rentenalters.

Abbildung 5: Entwicklung von Bevölkerung, Haushalten und Erwerbstätigen

in Deutschland und Rheinland-Pfalz, 2000 bis 2050, in Mio.

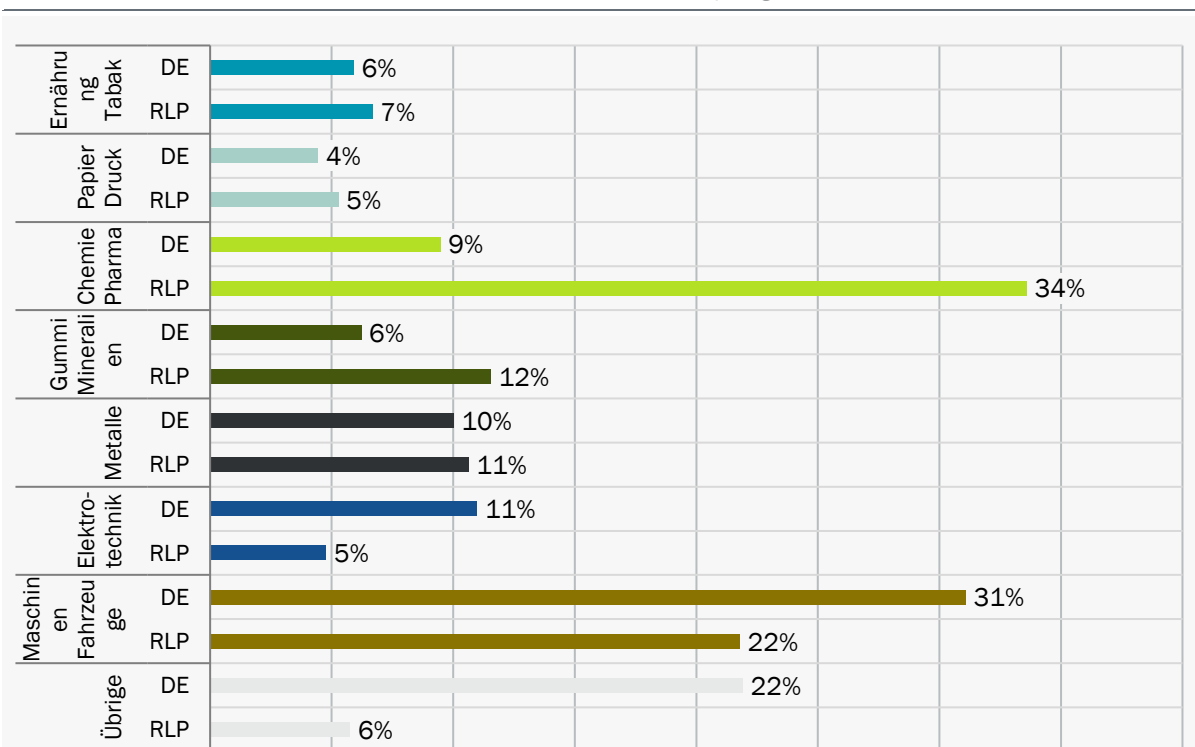


Quelle: Eigene Berechnung nach Destatis 2022b

In Bezug auf die Bruttowertschöpfungsstruktur der Industrie gibt es sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede zwischen Rheinland-Pfalz und Deutschland. Die Schwerpunkte in Rheinland-Pfalz liegen auf der Chemieindustrie (34 %) und dem Maschinen- und Fahrzeugbau (22 %), während sich die Schwerpunkte in Deutschland insgesamt auf den Maschinen- und Fahrzeugbau (31 %) und die „übrigen Industriezweige (22 %)“ verteilen. Gemeinsame Schwerpunkte sind die Metallindustrie (Deutschland: 10 %, Rheinland-Pfalz: 11 %), die Papier- und Druckindustrie (Deutschland: 4 %, Rheinland-Pfalz: 5 %) sowie die Ernährungs- und Tabakindustrie (Deutschland: 6 %, Rheinland-Pfalz: 7 %).

Abbildung 6: Unterschiede in Bruttowertschöpfung: Deutschland & Rheinland-Pfalz

Mittelwerte 2010 - 2020, % Anteil der Branche an der Bruttowertschöpfung, Deutschland und Rheinland-Pfalz



Eigene Darstellung Prognos. Datenquelle (VWGdL 2021)

Die strukturellen Unterschiede zwischen Deutschland und Rheinland-Pfalz verdeutlichen, dass bei der Erstellung von Szenarien zur Erreichung der Treibhausgasneutralität bis 2040 die regionalen Besonderheiten berücksichtigt werden müssen, insbesondere im Industriesektor. Rheinland-Pfalz weist eine stärkere Konzentration auf die Chemieindustrie auf, während der Maschinen- und Fahrzeugbau in Deutschland insgesamt stärker vertreten ist. Diese Unterschiede haben Auswirkungen auf die Art und Weise, wie Emissionen reduziert werden müssen, um Klimaziele auf unterschiedlichen Ebenen (Bund oder Rheinland-Pfalz) zu erreichen.

1.3 Sektorale Abgrenzung und Bilanzierung

Definition der territorialen Quellenbilanzierung

Die Modellierung der Emissionen in der vorliegenden Studie folgt der Bilanzierungsmethodik und der sektoralen Einteilung des Bundesklimaschutzgesetzes. Dieses bezieht sich in seiner Erfassung wiederum auf die Quellkategorien, wie sie im Common Reporting Format (CRF) der Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (englisch: United Nations Framework Convention on Climate Change, kurz: UNFCCC) festgelegt sind (siehe UNFCCC 2006). Bilanziert werden die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃).

Die im Regelwerk des UNFCCC festgelegte Art der Erfassung der THG-Emissionen ist eine so genannte (territoriale) **Quellenbilanz**. Treibhausgas-Emissionen werden dort erfasst⁴, wo durch eine Reaktion Kohlenstoff – welcher vorher beispielsweise in festen Brennstoffen gebunden war – in die Atmosphäre gelangt. Dies ist der wesentliche Unterschied zu anderen Bilanzierungsmethodiken wie beispielsweise der **Verursacherbilanz**, bei der zumindest teilweise Emissionen, die vorher entstanden sind, dem Endverbraucher angerechnet werden.⁵ Im Falle der Verursacherbilanz, wie sie der Landesarbeitskreis Energiebilanzen anwendet, ist dies die Anrechnung der Emissionen für die Erzeugung von Strom und Fernwärme zu den jeweiligen Verbrauchergruppen. Ferner gibt es noch weitere Bilanzierungsmethodiken, wie die **Greenhouse Gas Protocol Standards**,⁶ welche vermehrt in der Bilanzierung der Lieferketten einzelner Unternehmen angewandt werden. Hierbei werden ähnlich wie bei der Verursacherbilanz die „Vorketten“ – Energieträger, Vorprodukte, u. ä. - der erzeugten Produkte mitbilanziert.

Die Anrechnung der THG-Emissionen in der Quellenbilanz erfolgt geografisch in jeweils dem Territorium, in dem der Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangt oder ihr entzogen wird. Neben der territorialen Aufteilung bestehen im Regelwerk der Vereinten Nationen noch weitere Aufteilungen nach ökonomischer Aktivität, um ein Bild darüber zu erlangen, welche menschliche Aktivität zu welchen Emissionen von Treibhausgasen in die Atmosphäre führt. In Deutschland wird diese Aufteilung nach Aktivitätsbereich als „sektorale Aufteilung“ bezeichnet. Die Sektoren gemäß des deutschen Klimaschutzgesetzes sind: „Energiewirtschaft“⁷, „Industrie“, „Gebäude“, „Verkehr“, „Landwirtschaft“, „Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF)“ sowie „Abfallwirtschaft und Sonstige“. Auch hier werden die Emissionen dem Sektor zugerechnet, bei dem Kohlenstoff in die Atmosphäre gelangt.

Zur Verdeutlichung werden zwei Fälle beschrieben:

- 1.** Durch die Verwendung von Strom im Sektor Verkehr – etwa durch den Einsatz eines Elektroautos – werden dem Sektor Verkehr keine zusätzliche Emission zugerechnet. Die Umwandlung von Strom in kinetische Energie im Elektromotor erfolgt emissionsfrei. Verursacht die Erzeugung des Stroms allerdings noch Emissionen (bspw. durch die Erzeugung in einem fossilen Kraftwerk durch die Verbrennung von Gas) so werden die entstandenen Emissionen im Sektor Energiewirtschaft bilanziert.
- 2.** Die Verwendung von Zement für den Bau neuer Gebäude erfolgt ebenfalls emissionsfrei. Die entstehenden Emissionen für die Zementproduktion werden im Sektor Industrie bilanziert, zum Zeitpunkt, an dem durch die Zementklinkerproduktion Brennstoffe verfeuert werden, wodurch Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen. Ebenso werden die Prozessemissionen beim Kalkbrennen im Sektor Industrie bilanziert. Wird der Zement zudem noch aus einem anderen Land importiert, so werden die Emissionen, die bei der Herstellung des Zements entstehen, im Herstellungsland verbucht und tauchen nicht in Quellenbilanz des Landes auf, in dem der Zement beispielsweise zum Bau neuer Wohnungen eingesetzt wird.

Diese Methodik wird von den Ländern zum Monitoring und zur Berichterstattung eingesetzt, da sie Mehrfachzählungen ausschließt, und somit additiv und eindeutig ist – d. h. die Summe aller Länderemissionen bildet die Weltemissionen. Außerdem ist das Landesterritorium die wesentliche Handlungsebene nationaler Politik. Ähnliches gilt auch für die Bundesländer: Die der Politik

⁴ Die Erfassung erfolgt laut im Common Reporting Format festgelegter Methodik rechnerisch unter Verwendung vorliegender Informationen (siehe UNFCCC 2006).

⁵ Siehe hierzu auch LAK 2022

⁶ Siehe GHG 2022

⁷ Beinhaltet die Emissionen der öffentlichen Strom- und Wärmeversorgung. Strom- oder Wärmeerzeugung in der Industrie ist hiervon ausgenommen.

zur Verfügung stehenden "harten" Instrumente wie ökonomische Instrumente (Preise, Steuern, Ordnungsrecht und Fördermittelvergabe), aber auch die "weichen" Instrumente wie Information, Beratung, Kampagnen, Netzwerkarbeit etc. werden jeweils auf dem Territorium der (Bundes-)Länder angewendet.

Definition der Sektoren

Etwa 83 Prozent der THG-Emissionen in Deutschland waren 2020 dem Energiesystem zuzurechnen – sie stammen also aus der Verbrennung fossiler Energieträger zur Energiegewinnung (UBA, 2022). Das Energiesystem mit den Energieträgern ist in der Energiebilanz abgebildet, die ebenfalls eine territoriale Quellenbilanz ist, jedoch in einigen Details der Zuordnung nicht ganz deckungsgleich mit der Methodik des THG-Inventars ist. Auch die Energiebilanz ist nach Sektoren aufgeteilt, nach den Nachfragesektoren „Private Haushalte“, „Gewerbe Handel Dienstleistungen“, „Industrie“, „Verkehr“ sowie dem „Umwandlungssektor“, in dem die Energieflüsse zur Erzeugung und „Veredelung“ von Energieträgern verbucht sind, z.B. zur Stromerzeugung, zur Fernwärmeerzeugung, zur Erzeugung von Mineralölprodukten (insbes. Kraftstoffen), sowie künftig zur Erzeugung vom Wasserstoff und synthetischen Energieträgern. Mit dieser Bilanzierung wird nach Endenergieverbrauch (in den Nachfragesektoren) und Primärenergieverbrauch (inklusive Umwandlungseinsatz, Infrastrukturverlusten, nichtenergetischem Einsatz etc.) unterschieden.

Die Emissionen des Sektors **Energiewirtschaft** setzen sich zusammen aus den verbrennungsbedingten Emissionen der öffentlichen Strom- und Wärmeerzeugung (CRF 1.A.1.a), den Raffinerien (CRF 1.A.1.b) und den Emissionen des übrigen Umwandlungssektors (CRF 1.A.1.c, u.a. Kokereien und Brikettfabriken). Zusätzlich werden der Energiewirtschaft die Emissionen von Pipeline-Kompressorstationen (CRF 1.A.3.e) sowie die nicht-verbrennungsbedingten flüchtigen Emissionen (CRF 1.B; von Gas-Pipelines oder Kohlebergwerken) zugerechnet.

Die Emissionen aus Industriekraftwerken sind hingegen beim **Industriesektor** subsumiert (CRF 1.A.2.a und 1.A.2.g viii). Ebenfalls der Industrie zugerechnet werden die Emissionen der Wärmeerzeugung im verarbeitenden Gewerbe (überwiegend CRF 1.A.2 a-f). Darin sind auch die Emissionen des Verbrauchs für Raumwärme und Warmwasser in Industriegebäuden enthalten. Weiter umfassen die Emissionen des Industriesektors die Emissionen des bauwirtschaftlichen Verkehrs (CRF 1.A.2.g vii) und die nicht-verbrennungsbedingten Emissionen aus industriellen Prozessen (u. a. Zement und Stahl; CRF 2).

Der **Gebäudesektor** umfasst in der Abgrenzung des Klimaschutzplans die Emissionen der Sektoren „Private Haushalte“ (CRF 1.A.4 b), „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen“ (kurz: GHD; CRF 1.A.4 a) sowie die verbrennungsbedingten Emissionen des militärischen Bereichs (CRF 1.A.4 c). Im Gegensatz zur Energiebilanz wird der bauwirtschaftliche Verkehr im NIR und im Klimaschutzplan nicht dem GHD-Sektor, sondern dem Industriesektor zugerechnet. Trotzdem enthält der Sektor Gebäude einen geringen Anteil an Emissionen, welcher nicht gebäudebezogen ist. Es sind insbesondere die Emissionen aus der Erzeugung von Prozesswärme.

Tabelle 3: Sektorale Abgrenzung der Treibhausgasemissionen laut Bundes-Klimaschutzgesetz 2021

Sektoren	Quellkategorie CRF	Beschreibung der Quellkategorie
Energiewirtschaft	1.A.1	Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft

	1.A.3.e	Pipelinetransport (übriger Transport)
	1.B	Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen
Industrie	1.A.2	Verbrennung von Brennstoffen im Verarbeitenden Gewerbe und in der Bauwirtschaft
	1.C	CO ₂ -Transport und -Lagerung
	2	Industrieprozesse und Produktverwendung
Gebäude	1.A.4.a	Verbrennung von Brennstoffen in Handel und Behörden
	1.A.4.b	Verbrennung von Brennstoffen in Haushalten
	1.A.5	Sonstige Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Verbrennung von Brennstoffen (insbesondere in militärischen Einrichtungen)
Verkehr	1.A.3.a	Ziviler inländischer Luftverkehr
	1.A.3.b	Straßenverkehr
	1.A.3.c	Schienenverkehr
	1.A.3.d	inländischer Schiffsverkehr
Landwirtschaft	1.A.4.c	Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft und in der Fischerei
	3	Landwirtschaft
Abfallwirtschaft und Sonstiges	5	Abfall und Abwasser
	6	Sonstige
LULUCF	4	Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete, Siedlungen; Holzprodukte; Änderungen zwischen Landnutzungskategorien

Die Abkürzung CRF bezieht sich auf das Common Reporting Format

Quelle: Bundesklimaschutzgesetz 2021, Anlage 1

Der **Verkehrssektor** beinhaltet im NIR und im Klimaschutzplan die verbrennungsbedingten Emissionen des Verkehrs insgesamt, ohne den Pipelinetransport (1.A.3 ohne 1.A.3 e). Darin enthalten sind die Emissionen des inländischen Flugverkehrs (1.A.3.a), des Straßenverkehrs (1.A.3.b), des Schienenverkehrs (1.A.3.c) und des inländischen Schiffsverkehrs (1.A.3.d). Nicht dem Verkehrssektor zugerechnet werden, wie erwähnt, der Pipelinetransport, der bauwirtschaftliche Verkehr, aber auch der Verkehr von Landwirtschaftsmaschinen.

Die Emissionen aus stationären und mobilen Quellen der **Landwirtschaft**, der Forstwirtschaft und der Fischerei (CRF 1.A.4.c) werden im Klimaschutzplan dem Sektor Landwirtschaft zugeordnet. Im NIR und in der Energiebilanz werden diese Verbraucher dem GHD-Sektor zugerechnet. Der Sektor Landwirtschaft umfasst zusätzlich die nicht-verbrennungsbedingten Emissionen der Landwirtschaft (CRF 3).

Der Bereich **Sonstige** (CRF 5) umfasst die Emissionen der Bereiche Abfall und Abwasser. Die Treibhausgasemissionen und -aufnahmen der Landnutzung, der Landnutzungsänderung sowie der Forstwirtschaft werden im gleichnamigen Sektor (**LULUCF**) erfasst. (CRF 4).

2 Treibhausgasneutrales Rheinland-Pfalz 2035 – 2040

Das vorliegende Szenario beschreibt die mögliche Entwicklung von Aktivitäten und Treibhausgasemissionen, um eine Treibhausgasneutralität bis spätestens 2040 in Rheinland-Pfalz, wie im Koalitionsvertrag der Landesregierung von 2021 vorgesehen, zu erreichen.

In Kapitel 2.1 werden die Entwicklung der Gesamtemissionen zur Erreichung der Treibhausgasneutralität beschrieben, um einen Überblick über das Gesamtgefüge zu schaffen. Als wichtiger Baustein wird dabei auf die Entwicklung der Endenergienachfrage eingegangen. **Die Treibhausgasneutralität wird in dem Szenario für Rheinland-Pfalz im Jahr 2040 erreicht.**

In Kapitel 2.2 werden die Entwicklungen der Emissionen je eingangs definierten Sektors des KSG im Detail beschrieben. Hierbei wird auf die Maßnahmen des jeweiligen Sektors im Bundesszenario, bundeslandspezifische Besonderheiten der Sektoren für -Rheinland-Pfalz, Entwicklung der Aktivitäten in Rheinland-Pfalz und die daraus abgeleitete Emissionsentwicklung in Rheinland-Pfalz eingegangen.

In Kapitel 2.3 werden die auf Basis des Szenarios abgeleiteten sektoralen Emissionsziele zur Erreichung der bilanziellen Treibhausgasneutralität beschrieben.

In Kapitel 2.4 werden zusätzliche Möglichkeiten beschrieben, eine Treibhausgasneutralität in Rheinland-Pfalz bereits vor 2040 zu erreichen.

2.1 Entwicklung der Treibhausgasemissionen bis 2040

Entwicklung der Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2019

Historisch sind im Bilanzraum Rheinland-Pfalz die Treibhausgasemissionen zwischen 1990 und 2019 um 37 Prozent von 51,4 Mio. t CO₂eq auf 32,2 Mio. t CO₂eq gefallen. Diese Minderung beruht maßgeblich auf dem Rückgang der Lachgasemissionen (N₂O) durch Verfahrensänderungen insb. der Adipinsäure-Herstellung zwischen den Jahren 1995 und 2000 in der chemischen Industrie. Viele andere Emissionsentwicklungen weisen im Vergleich nur geringfügige Änderungen im Zeitraum zwischen 1990 und 2019 auf.

Rheinland-Pfalz war 1995 laut umweltökonomischer Gesamtrechnung der Länder das Bundesland mit den höchsten N₂O-Emissionen. Die Lachgasemissionen sanken allerdings in Rheinland-Pfalz im Zeitverlauf von 17,5 Mio. t CO₂eq im Jahr 1995 auf 3,2 Mio. t CO₂eq im Jahr 2000 ab. Trotz des starken Rückgangs bei den Lachgasemissionen bleibt der Sektor Industrie historisch gesehen der treibhausgasemissionsstärkste Sektor in Rheinland-Pfalz. Zwischen 2000 und 2019 nahmen die Emissionen nur geringfügig von 12,9 Mio. t CO₂eq auf 10,6 Mio. t CO₂eq ab.

Nach den Emissionen des Sektors Industrie folgen in Bezug auf ihre Höhe die Sektoren Verkehr und Gebäude. In beiden Sektoren haben die Emissionen zwischen 1990 und 2019 nur geringfügig abgenommen:

- Im Sektor Verkehr lagen die Emissionen 1990 bei 7,6 Mio. t. CO₂eq. Zwischenzeitlich haben sie im Jahr 2000 9,9 Mio. t. CO₂eq erreicht, und sind danach wieder gefallen. Im Gesamtzeitraum zwischen 1990 und 2019 haben sie um 15,1 Prozent zugenommen und liegen 2019 bei 8,7 Mio. t CO₂eq.
- Im Sektor Gebäude sind sie zwischen 1990 und 2019 um 11,4 Prozent zurückgegangen und liegen 2019 bei 8,2 Mio. t CO₂eq.

Der Sektor Energiewirtschaft bezieht sich auf die öffentliche Strom- und Wärmeversorgung sowie die übrige Energiewirtschaft wie Raffinerien, die allerdings in Rheinland-Pfalz nicht vorhanden sind. Ein Großteil der Stromproduktion findet in Rheinland-Pfalz in Industriekraftwerken statt und wird daher im Sektor Industrie bilanziert. Somit sind die Emissionen des Sektors Energiewirtschaft historisch gesehen gering (3,8 Mio. t CO₂eq in 1990). Bis 2019 sanken die Emissionen um 40 Prozent auf 2,3 Mio. t CO₂eq.

Die Sektoren Landwirtschaft, LULUCF sowie Abfallwirtschaft und Sonstige sind hauptsächlich durch nicht-verbrennungsbedingten Emissionen von Treibhausgasen charakterisiert. Wie auf Bundesebene spielen diese Sektoren mengenmäßig eine kleinere Rolle (auf Bundesebene sind ca. 80 Prozent der Emissionen dem Energiesystem zuzurechnen). Als regionale Besonderheit ist hier allerdings die verhältnismäßig hohe Kohlenstoffsénke im Sektor LULUCF für Rheinland-Pfalz zu nennen. Das Bundesland hat den höchsten Waldanteil je Landesfläche im Vergleich aller Bundesländer. Die Senkenfunktion des Sektors LULUCF (und hier insbesondere des Waldes) betrug 2019 -4,2 Mio. t CO₂eq.

Szenario-basierte Entwicklung der Treibhausgasemissionen bis 2040

Um die von der Landesregierung im Koalitionsvertrag angestrebte Treibhausgasneutralität zwischen 2035 und 2040 zu erreichen, müssen in allen Sektoren in Rheinland-Pfalz die Emissionen verringert werden. Im Vergleich mit den bundesdeutschen Entwicklungen hat das Land Rheinland-Pfalz die Besonderheit, dass durch die hohe Senkenfunktion des Sektors LULUCF in Rheinland-Pfalz noch bei verhältnismäßig hohen Emissionen von einer Treibhausgasneutralität (im Sinne von „Netto-Null Emissionen“) gesprochen werden kann, da sich die jährlichen Summen an freigesetzten und gebundenen Treibhausgasen die Waage halten. Für den bundesdeutschen Bilanzraum sind dies nach Ziel der Bundesgesetzgebung rund 45 Mio. t. CO₂eq. Für Rheinland-Pfalz sind es nach diesem Szenario rund 5 Mio. t. CO₂eq.

Das hier dargestellte Szenario ist die Endfassung der Regionalisierung des Bundes-Szenarios. Es wurden zwei Berechnungsschritte angewandt. Zum einen wurde das Bundesszenario anhand der Rahmen- und Strukturdaten auf Bundesländer heruntergebrochen, um so eine Übersicht zu erlangen, wie sich die prognostizierten Entwicklungen auf Bundeslandesebene entwickeln. Da der Arbeitsauftrag beinhaltete, ein Treibhausgasneutrales Szenario für Rheinland-Pfalz zu entwerfen, wurden im zweiten Arbeitsschritt bestimmte Maßnahmen angepasst und teilweise vorgezogen, um die Treibhausgasneutralität bis 2040 in Rheinland-Pfalz zu gewährleisten. Die hier dargestellten Zahlen entsprechen dem finalen Szenario der Treibhausgasneutralität für Rheinland-Pfalz bis 2040. Für einen Überblick der reinen Regionalisierung des Bundeslandsszenario sei auf die Infobox „Ergebnis der Regionalisierung ohne Berücksichtigung der Zielerreichung“ verwiesen.

Ergebnis der Regionalisierung ohne Berücksichtigung der Zielerreichung 2040

Nach der Regionalisierung des Bundesszenarios verfehlt Rheinland-Pfalz die Treibhausgasneutralität bis 2040 um zwei Jahre und erreicht sie erst 2042. Statt des Ziels der Treibhausgasneutralität erreicht Rheinland-Pfalz bei der Übertragung des Szenarios auf die Regionalstruktur bilanzielle Treibhausgasemissionen von ca. 0,4 Mio. t CO₂eq im Jahr 2040. Dass für den Bilanzraum Rheinland-Pfalz in einem auf Bundesebene bis 2045 ausgelegten Szenario bis 2040 fast eine Treibhausgasneutralität erreicht werden kann, liegt an der unterschiedlichen Struktur Rheinland-Pfalz' im Vergleich zu Deutschland. So hat Rheinland-Pfalz beispielsweise eine bedeutendere natürliche Senkenleistung im Vergleich zu seinen emittierten Emissionen als der Bund.

In der Szenarienbetrachtung erreicht Rheinland-Pfalz bis 2040 unter Maßgabe der Treibhausgasneutralität im Bund bis 2045 die Treibhausgasneutralität nicht. Es müssen daher zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, um die für Rheinland-Pfalz angestrebten Ziele zu erreichen. Zusätzliche Maßnahmen müssen ab 2035 eingeführt werden, um sicherzustellen, dass eine Treibhausgasneutralität bis 2040 gewährleistet ist.

Die in diesem Szenario unterstellten Maßnahmen und Anpassungen betreffen die Sektoren Energiewirtschaft und Landwirtschaft. Im Sektor Energiewirtschaft betrifft dies CCS in Wärmekraftwerken und Abfallverbrennung sowie den Einsatz von Wasserstoff bei Backup-Kraftwerken. Im Sektor Landwirtschaft wird ein verstärktes Düngermanagement und eine schnellere Reduktion von Großvieh unterstellt.

Tabelle 4: Treibhausgasemissionen nach Regionalisierung

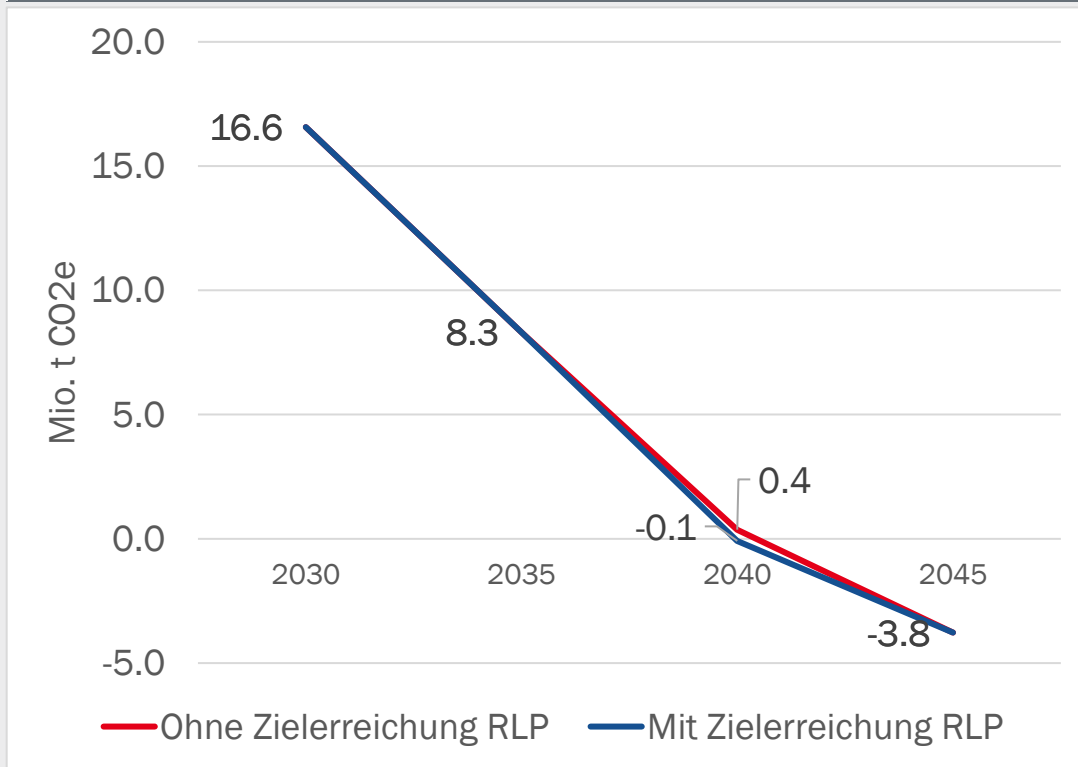
2030-2040, in Mio. t. CO₂eq, Rheinland-Pfalz, mit und ohne Berücksichtigung der Zielerreichung RLP

Sektor	2030		2035		2040	
	mit	ohne	mit	ohne	mit	ohne
Energiewirtschaft	2,7	2,7	1,8	1,8	0,59	0,8
Industrie	7,9	7,9	4,8	4,8	0,99	0,99
Verkehr	5	5	2,3	2,3	0,6	0,6
Gebäude	3,7	3,7	2,5	2,5	1,41	1,41
Landwirtschaft	1,6	1,6	1,3	1,3	0,79	1,04
LULUCF	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-4,63	-4,63
Abfallwirts. und Sonstige	0,3	0,2	0,2	0,2	0,16	0,16
Gesamt	16,6	16,6	8,3	8,3	-0,08	0,37

Eigene Berechnung Prognos

Abbildung 7: Treibhausgasemissionen nach Regionalisierung

2030-2040, in Mio. t. CO₂eq, Rheinland-Pfalz, mit und ohne Berücksichtigung der Zielerreichung RLP

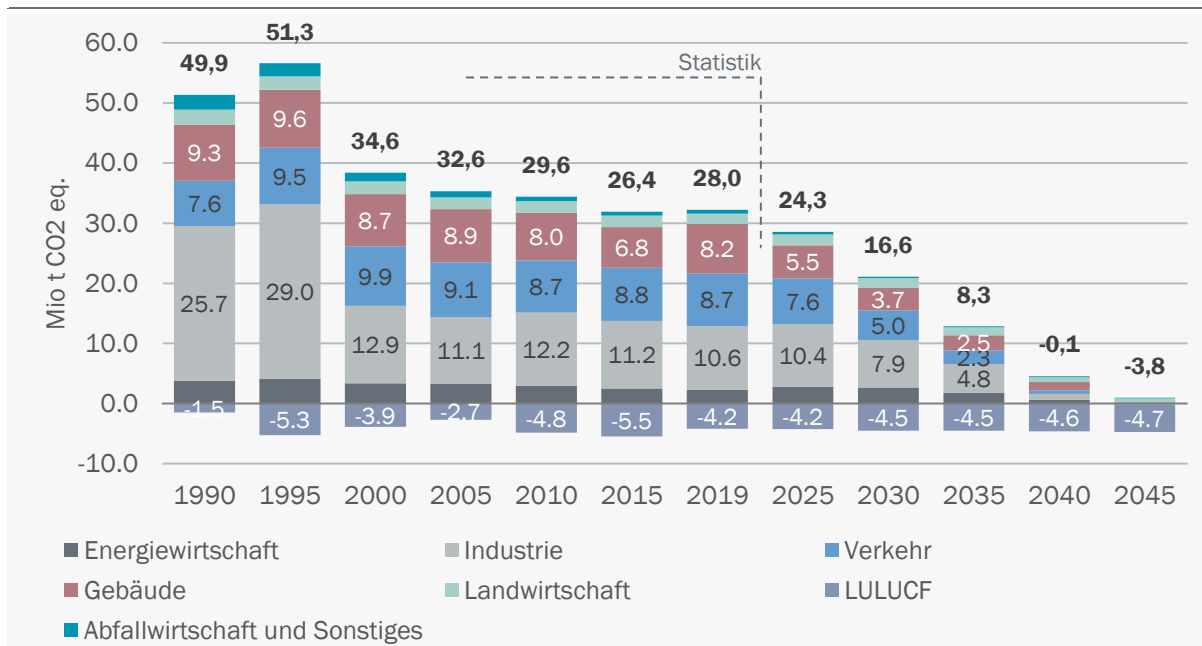


Eigene Darstellung Prognos

Perspektivisch vermindert sich die Summe der Treibhausgasemissionen (unter Anrechnung der Senkenleistungen) nach dem vorliegenden Szenario von 28 Mio. t CO₂eq in 2019 auf 16,6 Mio. t CO₂eq in 2030 und -0,1 Mio. t CO₂eq in 2040. Zwischen 2019 und 2030 findet somit eine bilanzielle Emissionsminderung von 11,4 Mio. t. CO₂eq und zwischen 2030 und 2040 eine Minderung um weitere 16,7 Mio. t CO₂eq statt. 2040 bestehen noch Restemissionen in allen Sektoren, die durch die Senkenwirkung des Sektors LULUCF ausgeglichen werden. Der Sektor Energiewirtschaft hat noch Restemissionen von 0,6 Mio. t CO₂eq. Die Industrie weist nach dem Szenario Restemissionen von 1 Mio. t CO₂eq auf. Die Sektoren Verkehr und Gebäude tragen Restemissionen von jeweils 0,6 und 1,4 Mio. t. CO₂eq bei. Auch die Sektoren Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstige weisen 2040 noch Sockelbeträge von 0,8 bzw. 0,2 Mio. t CO₂eq auf. 2045 sind nahezu alle Emissionen vermieden oder abgeschieden. Lediglich die Sektoren Landwirtschaft sowie Abfallwirtschaft und Sonstige weisen noch geringe Sockelbeträge auf. Die Senkenfunktion des Sektors LULUCF wird in den Berechnungen als nahezu konstant zwischen 4,5 und 4,7 Mio. t CO₂eq angenommen.

Abbildung 8: Treibhausgasemissionen Gesamt

1990 - 2045, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Im Energiesystem erfolgen Emissionsreduktionen hauptsächlich durch Nachfragereduktion aufgrund von Effizienzmaßnahmen und Brennstoffwechsel. Dies geschieht teilweise durch Anpassungen einzelner Aktivitäten und Umsetzung von Effizienzmaßnahmen (wie z.B. Wärmeschutz bei Gebäudehüllen), sowie durch grundlegende Veränderungen bei der Anwendung von Technologien. Im Verkehrssektor beispielsweise führt die Einführung von Elektroautos, insbesondere im Personen- und leichten Nutzverkehr, zu erheblichen Einsparungen im Endenergieverbrauch, der momentan noch durch fossile Brennstoffe gedeckt ist. Elektromotoren weisen einen wesentlich höheren Wirkungsgrad als Verbrennungsmotoren auf, sodass Elektroautos für die gleiche Fahrstrecke deutlich weniger Energie benötigen. Gleichzeitig vollzieht sich ein Wechsel der Energieträger: Anstelle von Mineralöl wird nun emissionsfreier Strom im Verkehrssektor eingesetzt, wobei die Emissionen der Stromerzeugung dem Umwandlungssektor zugerechnet werden.

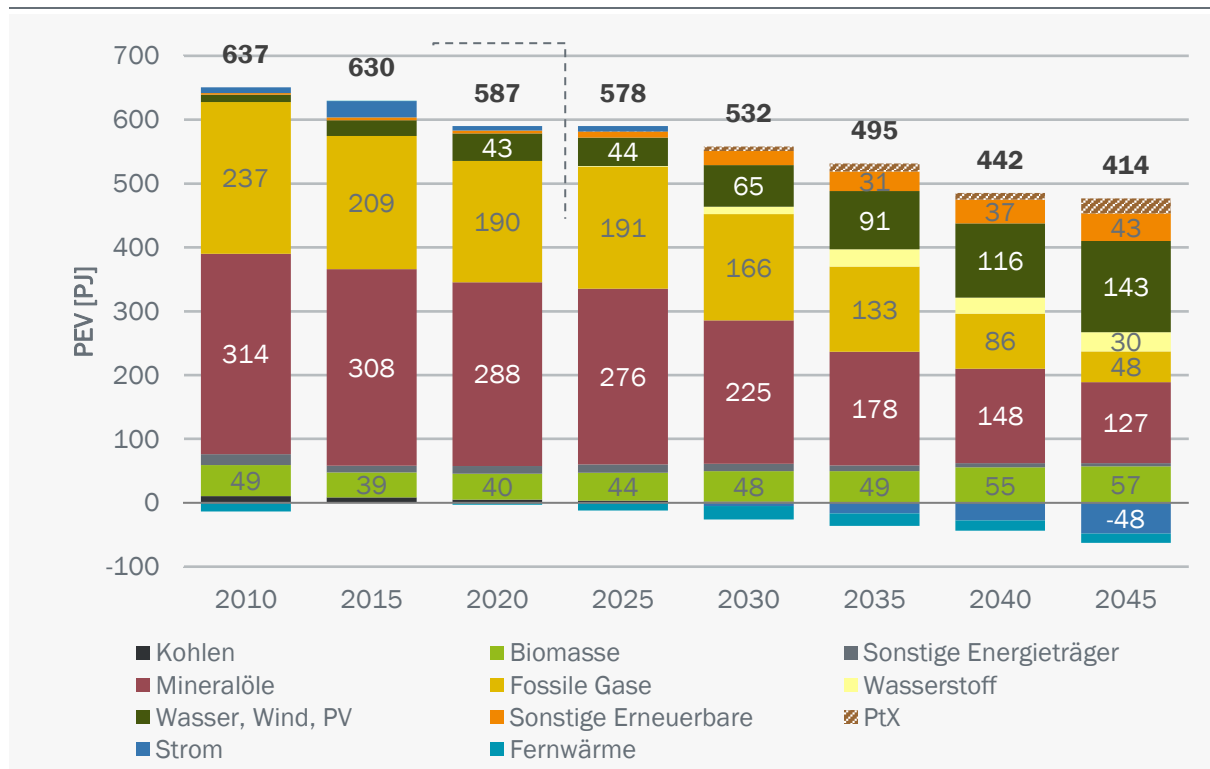
Bei der Veränderung von Technologien kommt es zu Verlagerungseffekten von Treibhausgasemissionen zwischen den einzelnen Sektoren der Treibhausgasbilanz oder über die territoriale Bilanzgrenze der Treibhausgasbilanz hinaus. Die Elektrifizierung von Prozessen und Aktivitäten sorgt beispielsweise in Nachfragesektoren wie der Industrie oder dem Gebäudesektor zu fallenden Emissionen. Gleichzeitig steigt die Nachfrage an Strom. Für die Produktion von Strom fallen Emissionen an, die wiederum im Sektor Energiewirtschaft (insofern es sich um Strom der öffentlichen Versorgung handelt) bilanziert werden. Hier findet also auf ersten Blick eine Verlagerung innerhalb der Bilanz statt. Wird dieser zusätzliche Strom allerdings auch zeitgleich durch technologischen Wandel nicht mehr unter Verwendung fossiler Brennstoffe erzeugt, werden auch hier die Emissionen reduziert. Allerdings kann es auch zu Verlagerungen über die Bilanzgrenze hinauskommen. Der rheinland-pfälzischen THG-Bilanz werden nur diejenigen strombedingten Emissionen bilanziert, die durch Stromerzeugung auf rheinland-pfälzischem Boden anfallen. Diese nehmen aufgrund der Reduktion fossil befeuerter Kraftwerke und Fernwärmeproduktion und des Ausbaus erneuerbarer Energieerzeugung bis auf null im Jahr 2045 ab.

Im deutschen Übertragungsnetz ist grundsätzlich nicht mehr im Detail nachvollziehbar, wo der Strom produziert wurde, und daher taucht Strom, der außerhalb des Bundeslandes Rheinland-Pfalz erzeugt wurde, als importierter Strom in den Energiebilanzen auf. Die mit der Produktion dieses importierten Stroms möglicherweise verbundenen Emissionen werden in der eingesetzten Bilanzierungskonvention (Quellenbilanzierung) nicht dem Land Rheinland-Pfalz angerechnet. Aus diesem Grund ist eine Betrachtung der szenarischen Entwicklung des Bundeslandes Rheinland-Pfalz als Teil bundesdeutscher Entwicklungen sinnvoll.

In Bezug auf den Primärenergiebedarf führen die Transformationen in Rheinland-Pfalz zu zwei Effekten: Zum einen verringert sich der Primärenergiebedarf bilanziell von 587 PJ in 2020 auf 414 PJ in 2045. Zum anderen verändert sich die Zusammensetzung des Primärenergieeinsatzes nach Energieträgern. Der Bedarf an fossilen primären Energieträgern wie Gas und Mineralöle geht zurück, während erneuerbare Energien, Wasserstoff sowie flüssige und gasförmige Power-to-X Produkte verstärkt nachgefragt werden. 2045 werden fossile Energieträger praktisch nur noch stofflich (als Input in industriellen Prozessen zur Produktherstellung) eingesetzt. Zudem hat Rheinland-Pfalz aufgrund der Umstellung im Bereich der Stromerzeugung erstmals einen bilanziellen Produktionsüberschuss im Bereich der Stromerzeugung. Die Entwicklung des Primärenergiebedarfs in dem Szenario ist in Abbildung 9 dargestellt. Um die Menge des (sowohl stofflich als auch energetisch) eingesetzten grünen Wasserstoffs im Verhältnis im Primärenergiebedarf abzubilden, wurde hier der Wasserstoff wie ein „importierter“ Primärenergieträger behandelt, also keine Annahme darüber getroffen, wo der Wasserstoff hergestellt wird. Rein bilanziell wäre es in Zukunft möglich, einen Teil des benötigten Wasserstoffs in Rheinland-Pfalz mit „rheinland-pfälzischem grünem Strom“ zu produzieren, da Rheinland-Pfalz aufgrund des erforderlichen Hochlaufs der erneuerbaren Energien vom Stromimporteur zum Stromexporteur wird.

Abbildung 9: Entwicklung des Primärenergiebedarfs

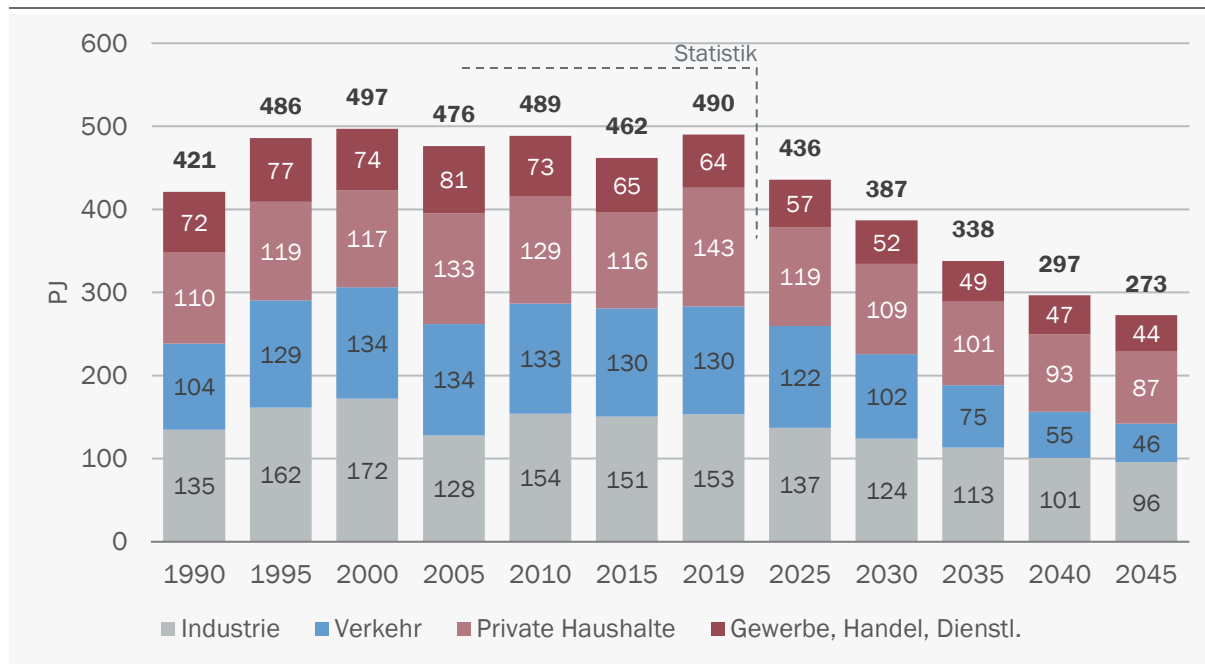
2010-2045, in Petajoule, Rheinland-Pfalz



Ein ähnliches Bild zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs auf, in Abbildung 10 nach Nachfragesektoren aufgeteilt. Hier ist zu erkennen, dass der Endenergieverbrauch zwischen 2019 und 2045 stark abnimmt. Insbesondere die Veränderungen im Verkehrsbereich führen zu einer geringeren Endenergienachfrage. Aber auch alle anderen Sektoren weisen Verminderungen in der Endenergie auf.

Abbildung 10: Entwicklung des Endenergieverbrauchs

1990-2045, in Petajoule, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz



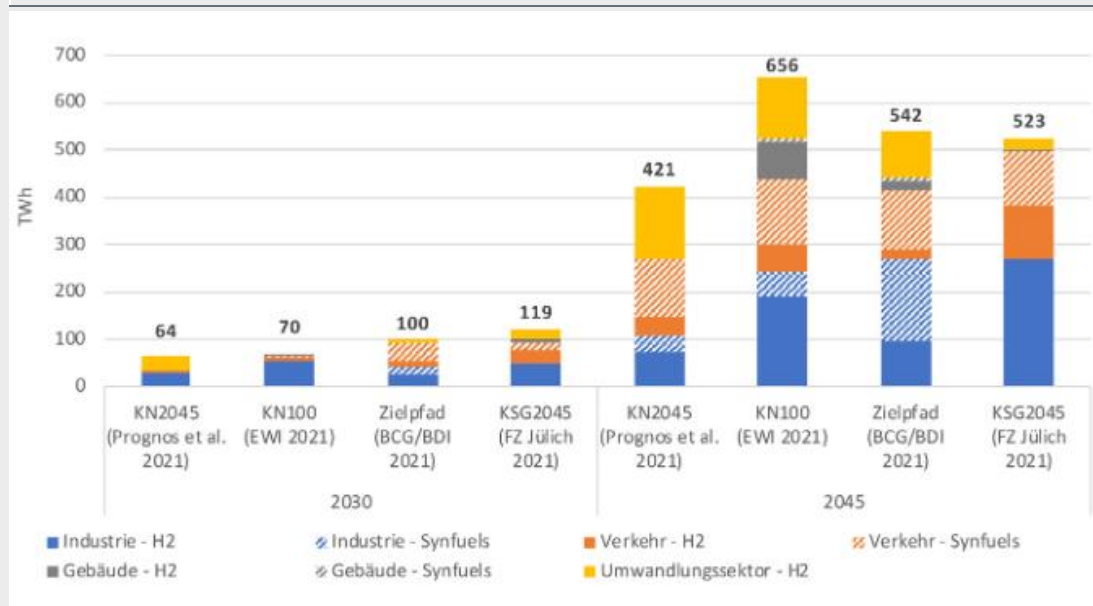
Die Rolle von Wasserstoff im Energiesystem

Wasserstoff als erneuerbar hergestellter Energieträger wird zukünftig eine wichtige Rolle in der Energieversorgung einnehmen. Auch in Rheinland-Pfalz wird Wasserstoff vor allem in der Industrie und im Umwandlungssektor zur Anwendung kommen. Über die Höhe des zukünftigen Bedarfs besteht allerdings in Deutschland noch eine gewisse Unschärfe, sowohl was die absolute Höhe als auch die Verteilung zwischen den Sektoren betrifft.

Die unten aufgeführte Grafik zeigt den Bedarf von Wasserstoff und synthetischen Energieträgern in 4 ausgewählten, aktuellen Szenarien nach Sektoren in den Jahren 2030 und 2045 im Vergleich für Deutschland auf. Hier zeigt sich, dass die Einsatzbereiche von Wasserstoff sowie deren Menge zwischen verschiedenen Szenarien noch variieren. Das Szenario „KN2045“ von Prognos et al. aus dem Jahr 2021 weist den bundesweit

geringsten Bedarf mit 421 TWh in 2045 auf. Das Szenario „KN100“ des EWI weist einen Bedarf von 656 TWh aus. Prognos verfährt hier mit konservativen Annahmen, was die Verfügbarkeit von Wasserstoff – sowohl inländische Erzeugung als auch Import – anbelangt.

Abbildung 11: Bundesweiter Bedarf an Wasserstoff und synthetischen Energieträgern
in verschiedenen Szenarien



Quelle: Samadi 2022

Auch für Rheinland-Pfalz ist zu erwarten, dass die Schätzungen über den Bedarf an Wasserstoff einer Schwankungsbreite unterliegen. Für das in dieser Studie verwendete Szenario wurde angenommen, dass in Rheinland-Pfalz Wasserstoff insbesondere stofflich in der Industrie sowie zum Betrieb von KWK-Anlagen im Sektor Energiewirtschaft verwendet wird. Es ergibt sich ein Wasserstoffbedarf von 10 – 12 TWh in 2040.

Der Einsatz von Wasserstoff in den Sektoren Gebäude und Verkehr ist nur in sehr geringem Umfang sinnvoll. Hier hat die Elektrifizierung der Anwendungen einen Effizienzvorteil, da in der direkten Anwendung weniger Strom aufgewendet werden muss als bei einer Transformation zu Wasserstoff. Im Schwerlastverkehr in Rheinland-Pfalz kommen etwa 6 TWh synthetischer Kraftstoffe zum Einsatz.

Die Ergebnisse des vorliegenden Szenarios decken sich im Rahmen der Unschärfe mit den Ergebnissen der parallel angefertigten Wasserstoffstudie für Rheinland-Pfalz.

2.2 Sektorale Entwicklungen

2.2.1 Industrie

Der Industriesektor gem. Energiebilanz und Treibhausgasinventar ist in Tabelle 3 definiert und umfasst im Wesentlichen die Verbrennung von Brennstoffen zur Wärmebereitstellung und Stromerzeugung im Verarbeitenden Gewerbe sowie die Industrieprozesse und Produktverwendung, denen kein Energieträgereinsatz zugrunde liegt.

Die Modellierung der Industrie und ihres Energieverbrauches antizipiert ein Produkt- bzw. Branchenspezifisches Mengenwachstum (s. u.), autonome Effizienzeinsparungen, wie sie sich durch marktgetriebene technische Neuerungen ergeben, autonome Energieträger-Substitutionstrends, wie sie sich bereits heute beobachten lassen, Energieträgersubstitution angereizt durch das Europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS) und durch das Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) ausgelöste Energieträgersubstitution sowie die verschiedenen Maßnahmenwirkungen (s. u.).

Emissionsquellen

Der Industriesektor in Rheinland-Pfalz emittiert in den 2010er Jahren 11–12 Mio. t. CO₂eq mit geringfügig fallendem Trend. Davon stammen grob 30 Prozent aus prozessbedingten Emissionen im Wesentlichen der Chemischen Industrie, der Mineralischen Industrie und dem Einsatz von Kältemitteln in Kälte- und Klimaanlage im gesamten Bundesland. Der überwiegende Teil stammt aus verbrennungsbedingten Emissionen zur Bereitstellung von Prozesswärme (~40 Prozent) sowie zur Stromerzeugung (~30 Prozent).

Maßnahmen

Tabelle 5 listet alle im Szenario hinterlegten Maßnahmen auf. Diese setzen sich aus den bereits bestehenden bzw. in Kraft getretenen Maßnahmen, darunter insbesondere das Klimaschutzprogramm 2030 (Klimaschutzgesetz aus dem Jahr 2019), sowie für die (weitgehende) Zielerreichung notwendigen zusätzlichen Maßnahmen zusammen. Letztere stammen aus dem genannten zugrunde gelegten Bundeszielszenario von Ende 2020, welches bis 2030 die Sektorziele (nahezu) und bis 2045 die Treibhausgasneutralität erreicht. Die Maßnahmen sind bis 2030 definiert und werden darüberhinausgehend mit zum Teil abgeschwächter Einsparwirkung bis 2045 fortgeführt.

Tabelle 5: Maßnahmen im Sektor Industrie

auf Bundesebene; Zahlen in eckigen Klammern geben die projizierte Einsparwirkung (EEV oder Emissionen) 2030/2050 auf Bundesebene an (wo bekannt)

Bestehende Maßnahmen

- diverse bestehende Förderprogramme für Unternehmen [moderate Wirkung]
 - Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG): Maßnahmen zur Effizienzsteigerung [174/318 PJ] sowie BEHG und Nationales Dekarbonisierungsprogramm [5/5 Mio. t. CO₂eq]
-

Zusätzliche Maßnahmen

übergeordnet

- Energieeinsparverpflichtungssystem (Weiße Zertifikate) [50/124 PJ]
-

- Förderung grüner Wasserstoff (H2Global) / H2-Förderrichtlinie / Important Project of Common European Interest (IPCEI): Wasserstoffstrategie [implizit berücksichtigt]

Energie-/Materialeffizienz

- Umsetzungspflicht für Maßnahmen aus Energieaudits unter Art. 8 EED [30/43 PJ]
- Strengere EU-Ökodesign-Standards [10/14 PJ]
- Beschleunigte Abschreibung für energieeffiziente Anlagen [17/56 PJ]
- Spitzenausgleich Änderung (Anknüpfung an Investitionen in Energieeffizienz) [35/52 PJ]
- Aufstockung der EEW-Förderung⁸ für außerbetriebliche Abwärmenutzung [1/4 PJ]
- Abwärmezwang in der Fernwärmeversorgung [keine direkte Wirkung]
- Klimamanagement in der Wirtschaft [keine direkte Wirkung]
- Grüne Leitmärkte [1/- Mio. t.]

Technologieentwicklung

- Aufstockung Nationales Dekarbonisierungsprogramm [10/- Mio. t.]
- Investitionsförderprogramm Stahlindustrie/Chemieindustrie [9/- Mio. t.]
- Nutzungswechsel von Biomasse (verstärkter Einsatz in Industrie) [5/- Mio. t.]
- Ausbau der Infrastruktur für grüne Energie und CCS [keine direkte Wirkung]
- Aufstockung/Verlängerung: CO₂-Abscheidung und -Nutzung in Grundstoffindustrien [implizit berücksichtigt]

flankierend*

- Weiterentwicklung EU-ETS
- Anpassung der Energie- und CO₂-Besteuerung
- Zertifizierungssystem für den CO₂-Fußabdruck bestimmter Stoffe
- Grenzausgleichsmechanismus (CBAM)
- Weiterentwicklung und Pilotprogramm CCfD⁹
- KlimPro-Industrie - Vermeidung von klimaschädlichen Prozessemissionen in der Industrie
- EU-Aktionsplan Circular Economy
- Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft

*) implizit berücksichtigt; keine direkte Abschätzung verfügbar; oft nach 2030 szenarisch relevant

■ Eigene Darstellung Prognos

Maßnahmen spezifisch für Rheinland-Pfalz wurden nicht explizit abgebildet. Das rheinland-pfälzische Förderprogramm „Zukunftsfähige Energieinfrastruktur“ ist das derzeit einzige im Energiebereich für Unternehmen. Die EFRE-Förderperiode 2021–2027 befindet sich noch im Aufbau. Die vom aktuellen Koalitionsvertrag an den Industriesektor adressierten Themenfelder sind jedoch in den gelisteten bundesweiten Maßnahmen bereits weitgehend antizipiert, darunter insbesondere:

- strukturelle Ausweitung der EffCheck-Beratungen für KMUs
- Unterstützung der energieintensiven Industrie (aber auch der Wiederverstromung und der Verkehrswende) bei der Wasserstofftechnologie; Rheinland-Pfalz als Modellregion für Wasserstoff etablieren
- Stärkung der Kreislaufwirtschaft (u. a. durch die Verbesserung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes, z. B. durch Erhöhung der Recyclingquote von Kunststoffen und Verpackungen)
- Technologievorreiter bei Batterietechnik, Industrie 4.0 und klimaneutrale Produktion
- Nutzung industrieller Abwärme

⁸ Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft (kurz: EEW)

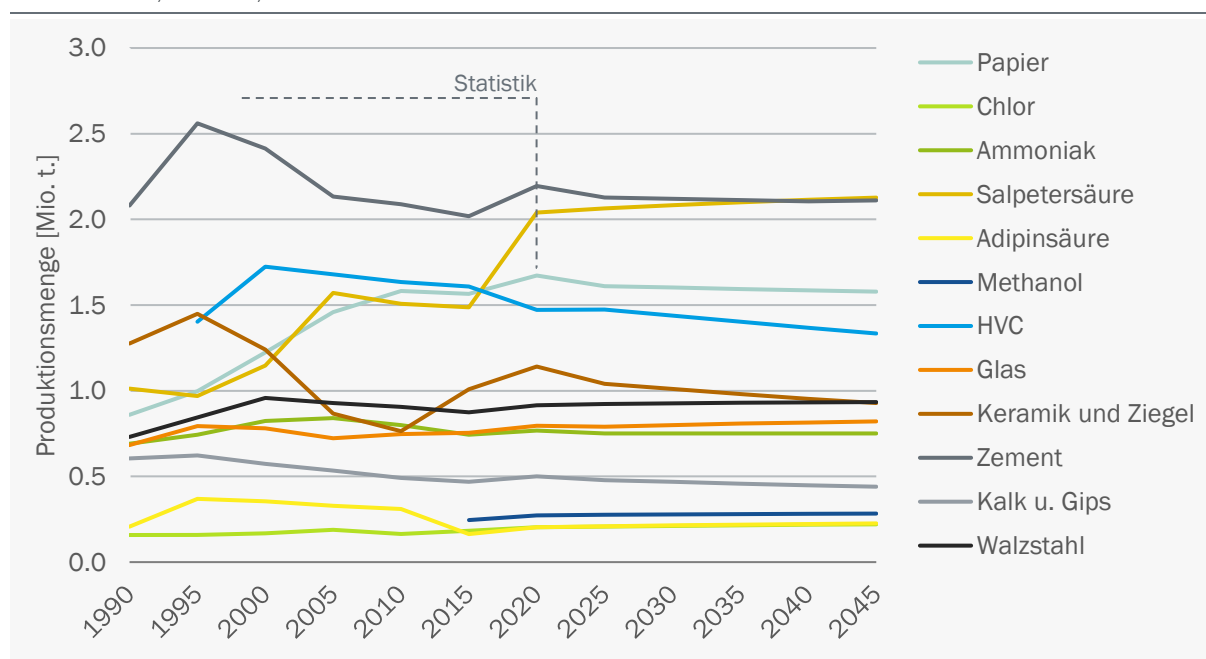
⁹ Carbon Contract for Difference, dt. Differenzverträge für Kohlenstoff.

Aktivitäten

Die Fortschreibung der industriellen Verbraucher erfolgt modellgestützt und so kleinteilig wie möglich anhand der Entwicklungen der Mengen, der Effizienz, der Energieträgersubstitution sowie der Maßnahmen. Die Produktionsmenge ist näherungsweise proportional zum Energieeinsatz, der zur Herstellung der Güter benötigt wird. Sie liegt für alle energieintensiven Branchen bzw. Produkte über die gesamt betrachtete Zeitspanne vor (Abbildung 12), wobei ihre zukünftige Entwicklung eine Annahme basierend auf den beobachteten historischen Trends ist. Die Produktionsmengen in Rheinland-Pfalz sind nicht öffentlich und wurden auf Basis der Anlagenkapazität und der Anlagenemissionen abgeleitet. Bei den energieintensiven Produkten ist – in Rheinland-Pfalz wie auch in Deutschland – meist eine stagnierende Entwicklung zu erkennen. Die Ausnahme bilden (a) Salpetersäure (Annahme, dass der Wegfall der Produktion von Yara (Poppendorf, MV) ab 2020 von den anderen Werken in Deutschland kompensiert wird), (b) High Value Chemicals (HVC, Plattformchemikalien) (sinkender Trend wird fortgeführt) und (c) Keramik und Ziegel (insbesondere die Ziegelproduktion weist einen sinkenden Trend auf, der fortgeführt wird).

Abbildung 12: Produktionsmengen energieintensiver Industriebranchen

1990 – 2045, in Mio. t., Rheinland-Pfalz

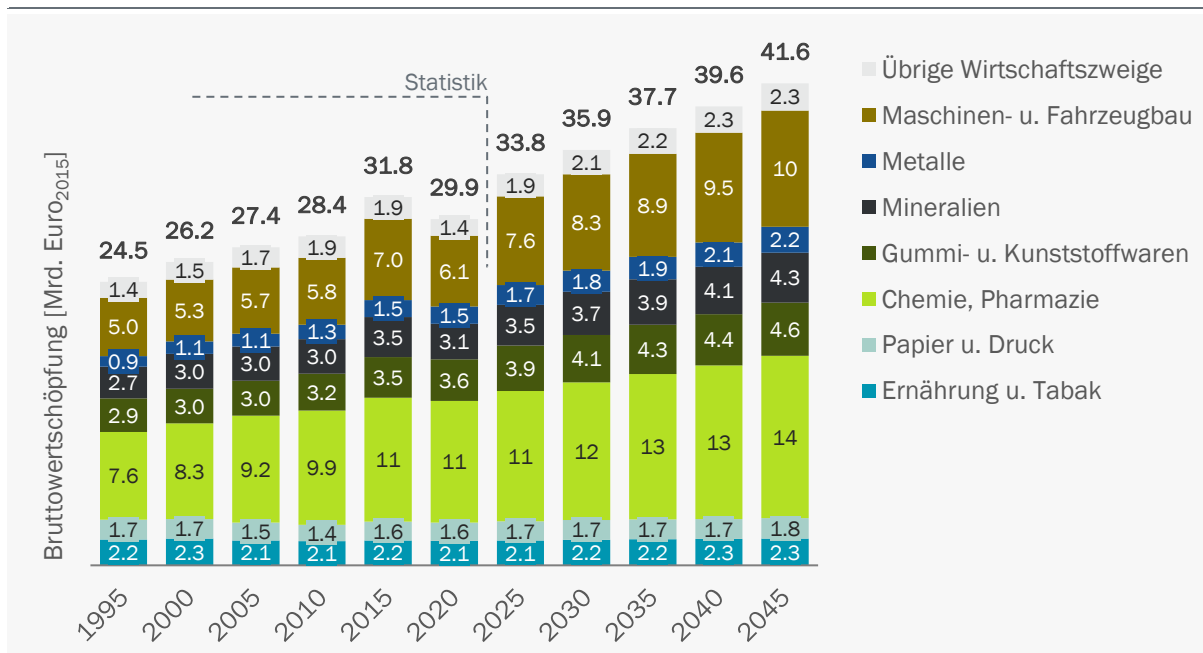


Eigene Darstellung Prognos, Daten bis 2019 EU-ETS

Für alle anderen, nicht-energieintensiven Industriebranchen, deren Produktpalette heterogen und damit kaum mit wenigen physischen Produktionsmengen dargestellt werden kann, wird die Bruttowertschöpfung (BWS) als Mengentreiber herangezogen. Diese ist a priori nicht proportional zum Energieeinsatz für die Herstellung, wird jedoch mit einer (dämpfenden) Wertdichte (ähnlich einer Elastizität in der Ökonomie) quasi-proportionalisiert. Insgesamt weist die Industrie (das Verarbeitende Gewerbe) ein moderates Wachstum von 1,0 Prozent p. a. zwischen 2018 und 2045 auf (Abbildung 13). Die Branchen Chemie und Pharmazie stellen rund ein Drittel der BWS in Rheinland-Pfalz; der Maschinen- und Fahrzeugbau etwas mehr als ein Fünftel.

Abbildung 13: Bruttowertschöpfung Industriebranchen

1995 – 2045, in Mrd. Euro₂₀₁₅ (real), Rheinland-Pfalz



Eigene Darstellung Prognos, Daten bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Endenergieverbrauch

Der Endenergieverbrauch¹⁰ der Industrie verringert sich zwischen 2019 und 2040 deutlich um ein Drittel auf rund 100 PJ, nachdem er mehrere Jahre bei rund 150 PJ stagnierte. Ursächlich für den Rückgang des Endenergieverbrauchs sind moderate Effizienzverbesserungen aufgrund der autonomen Marktdurchdringung mit tendenziell effizienteren Anlagen und Geräten sowie intensive Einsparwirkungen durch das bestehende und das zusätzliche Maßnahmenpaket, welches

- teilweise auf das Mengengerüst wirkt (z. B. reduziert sich der Zementbedarf geringfügig durch zunehmende Holzbauweise und andere bauliche Maßnahmen zur Reduktion des Betonbedarfs; gleichzeitig steigt jedoch der Klinkerbedarf deutlich an, weil die Klinkersubstitute Flugasche und Hüttensande wegfallen);
- eine Substitution von fossilen hin zu THG-neutralen Energieträgern veranlasst, entweder direkt wie im Falle der beiden Emissionshandelssysteme oder indirekt durch die umfangreiche Umstellung der Produktionsanlagen, sowie
- die Effizienz erhöhen, d. h. den Energieeinsatz bei gleicher Produktionsmenge senken.

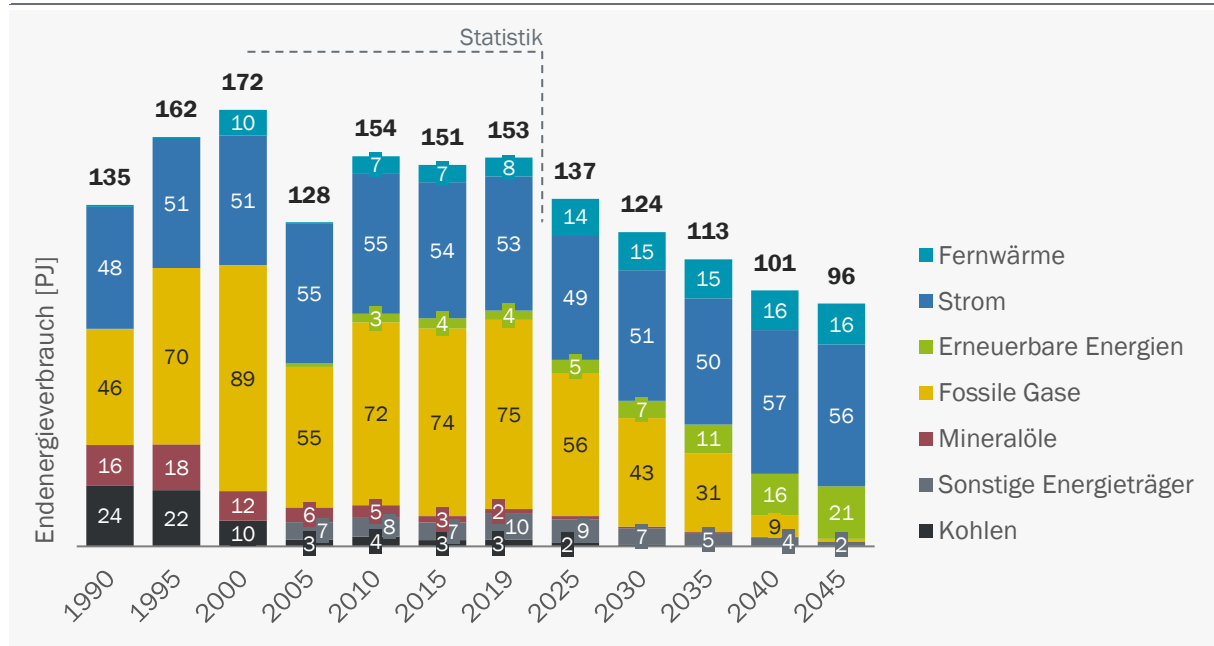
2019 beruht die Energieversorgung der Industrie in Rheinland-Pfalz vor allem auf Erdgas (49 Prozent) und Strom (34 Prozent). Durch vermehrte Elektrifizierung insbesondere von Prozesswärme-

¹⁰ Definitionsgemäß umfasst der Endenergieverbrauch alle von den Industrieunternehmen bezogenen Energieträger. Eine wichtige Ausnahme bilden jedoch diejenigen Energieträger, welche zur Energieträger-Umwandlung genutzt werden, also zur Stromerzeugung oder auch zur Herstellung von Wasserstoff. Die dafür benötigten Energieträger werden nicht im Endenergieverbrauch, sondern im Umwandlungssektor (Primärenergie) bilanziert. Die damit erzeugten Energieträger (Strom, Wasserstoff) hingegen werden im Endenergieverbrauch bilanziert. Außerdem werden stofflich genutzte Energieträger generell nicht im Endenergieverbrauch bilanziert. Dieses Thema wird weiter unten bei der Beschreibung der Grundstoffchemie nochmals aufgegriffen, weil es (nur) in dieser Branche relevant ist.

anwendungen dominiert nach dem vorliegenden Szenario bis 2040 der Strom (56 Prozent) (Abbildung 14). Auch der Ausbau des Fernwärmebezugs, welcher sich grob verdoppelt, und überwiegend feste, jedoch auch gasförmige Biomassen, welche Erdgas substituieren, tragen zum Wandel der Energieträgerstruktur bei.

Abbildung 14: Endenergieverbrauch Industrie nach Energieträger

2015 – 2045, in PJ, Rheinland-Pfalz

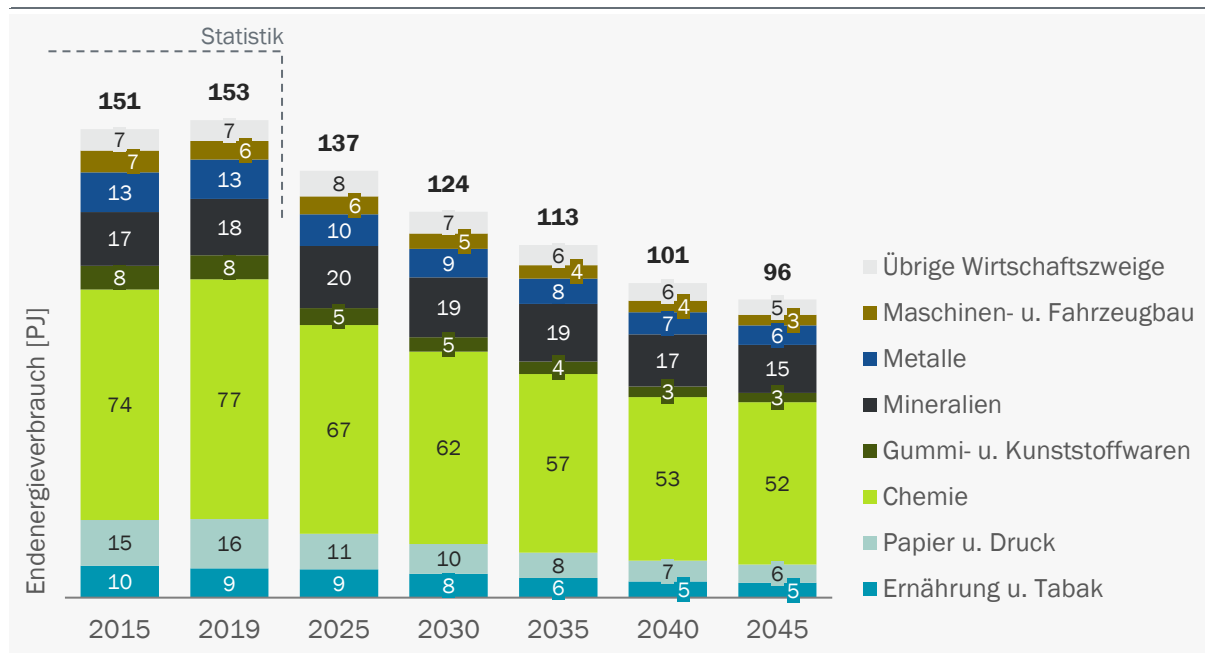


Eigene Darstellung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Größte Verbraucherin der Industrie in Rheinland-Pfalz ist und bleibt die Grundstoffchemie (Wirtschaftszweig 08-20.1) mit einem leicht steigenden Anteil von rund 50 Prozent 2019 auf 52 Prozent 2040 (Details zur Branche werden weiter unten erläutert). Danach folgt die Mineralienbranche mit Anteilen von 12 Prozent (2019) bzw. 17 Prozent (2040), zu welcher die Herstellung von Zement, Glas, Keramik und Ziegeln gehört (Abbildung 15). Dabei verschiebt sich deren Bedeutung innerhalb der Mineralienbranche: Während 2019 noch die Glasherstellung 37 Prozent und die Zementherstellung 23 Prozent des Energiebedarfs ausmachen, kehren sich diese Anteile bis 2040 nahezu um (Glas: 24 Prozent; Zement: 48 Prozent). Während die Glasherstellung durch Effizienzmaßnahmen und vor allem Elektrifizierung spezifisch Endenergie einsparen kann, muss bei der Herstellung von Zement bzw. Zementklinker zukünftig spezifisch mehr Energie eingesetzt werden. Grund ist die deutlich sinkende Verfügbarkeit geeigneter Klinkersubstitute wie Hüttensand und Flugasche. Die Branchen Ernährung, Papier und Metalle weisen ähnliche Anteile auf (2019: 6–8 Prozent; 2040: 5–7 Prozent). Deren spezifischer und absoluter Endenergieverbrauch kann deutlich abgesenkt werden, einerseits durch alternative Bereitstellung niedertemperaturiger Prozesswärme via Wärmepumpen, Solar- und Geothermieanlagen (Ernährung, Papier) sowie andererseits durch Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung (alle drei Branchen).

Abbildung 15: Endenergieverbrauch Industriebranchen

2015 – 2045, in PJ, Rheinland-Pfalz



Eigene Darstellung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

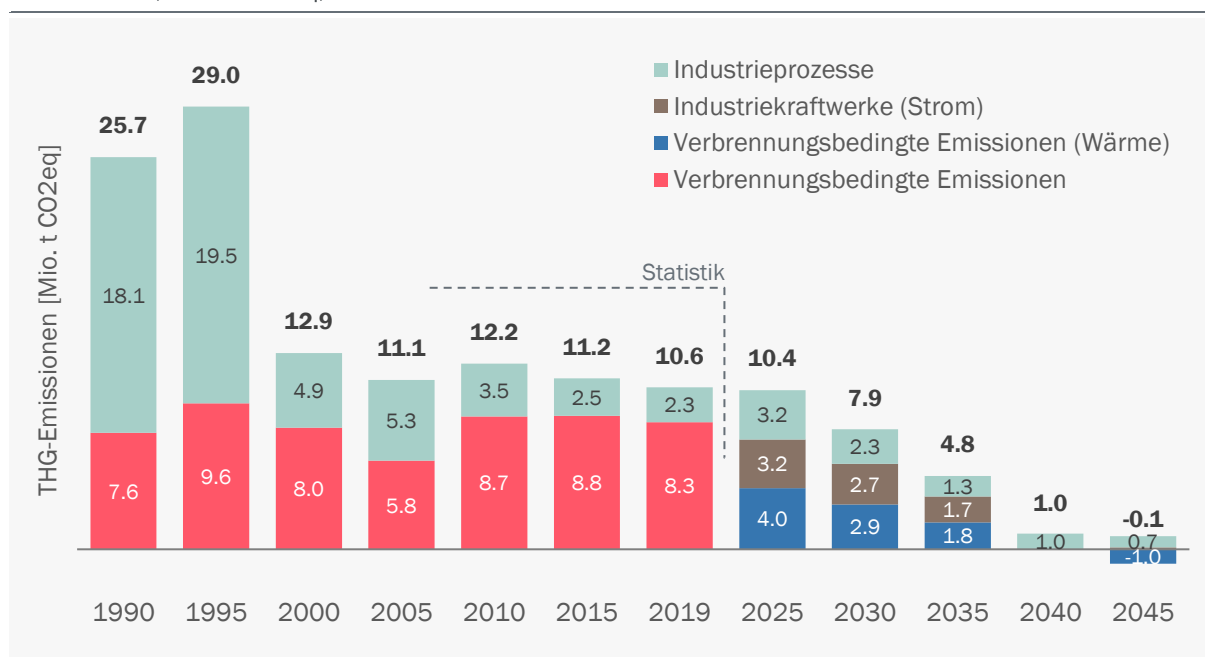
Treibhausgasemissionen

Eine treibhausgasneutrale Industrie in Rheinland-Pfalz wird 2045 erreicht. Bereits 2040 liegen die gesamten industriellen Emissionen bei 1 Mio. t. CO₂eq und damit 96 Prozent unter dem Niveau von 1990 (Abbildung 16). Der sukzessive Rückgang der Emissionen wird energiebedingt angetrieben durch die Einsparung von Energie aufgrund von Effizienzmaßnahmen, zunehmendem Ersatz fossiler Brennstoffe durch Strom, Fernwärme und Biomassen, welche aus der „Endenergie-Brille der Quellenbilanz“ alle bezogen auf den Industriesektor THG-neutral sind¹¹, sowie allmähliche altersbedingte Stilllegung aller Industriekraftwerke zur (kombinierten) Eigenstromerzeugung. Prozessbedingt sorgt der Aufbau von Kohlenstoffabscheidungsanlagen (CCS, siehe unten), Umstellungen der konventionellen auf klimafreundliche Produktionsverfahren insbesondere in der Grundstoffchemie sowie ein F-Gas-Phase-out und -Verbot für weitere notwendige THG-Reduktionen.

¹¹ Die Emissionen aus der Erzeugung von Strom und Fernwärme werden bilanziell dem Umwandlungssektor zugeordnet. Das zukünftige Stromsystem ist jedoch ohnehin THG-neutral. Biomassen sind per Definition THG-neutral.

Abbildung 16: Treibhausgasemissionen Industrie

1990 – 2045, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz



Quelle: Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

CCS

Trotz einiger Restmengen an fossilen Energieträgern in den Jahren 2040/45 können die THG-Emissionen weitestgehend vermieden werden. Grund hierfür ist der Einsatz von CCS (inkl. CCS nach Bioenergie-Anwendungen, englisch: Bioenergy with Carbon Capture & Storage, kurz: BECCS) bei der Zement- und Kalkherstellung sowie bei der Grundstoffchemie. Dabei wurde angenommen, dass rund 90 Prozent der Anlagenkapazitäten eine CCS-Anlage nachrüsten, deren Abscheidequote bei 90–95 Prozent des CO₂-Stromes liegt. Insbesondere bei der Herstellung von Zementklinker und Branntkalk ist CCS die einzige Option zur signifikanten Emissionsreduktion. Die rheinland-pfälzischen Zementwerke Dyckerhoff (Göllheim) und Wotan (Üxheim) sowie die Kalkwerke Schäfer (Hahnstätten), Südzucker (Offstein), Nikolaus Müller (Üxheim) und Rheinkalk (Pelmscheid) scheiden im Jahr 2040 insgesamt 0,9 Mio. t CO₂ (2045: 1,3 Mio. t CO₂) sowie 0,2 Mio. t CO₂ (2045: 0,3 Mio. t CO₂) ab. Bei der Grundstoffchemie beträgt die abgeschiedene CO₂-Menge 2040 0,6 Mio. t (2045: 0,8 Mio. t).

Grundstoffchemie

Die Grundstoffchemie (Wirtschaftszweige 08 bis 20.1) ist die hinsichtlich des Energiebedarfs und der THG-Emissionen bedeutendste Industriebranche in Rheinland-Pfalz, weshalb auf relevante Aspekte dieser Branche einzeln eingegangen wird.

Abbildung 17 (oberer Teil) zeigt den Endenergiebedarf (EEV) der Grundstoffchemie in Rheinland-Pfalz. Demnach kehrt sich das Verhältnis von Brennstoffen und Strom um: Wird 2019 ein Drittel des EEV durch Strom gedeckt, sind es 2040 zwei Drittel. Absolut steigt der Strombedarf im gleichen Zeitraum von 21 PJ auf 33 PJ (+57 Prozent). Die verbleibenden Brennstoffe sind meist biogen, allerdings finden sich auch (fossile) Abfallprodukte der chemischen Produktion darunter.

Weiterhin nimmt der spezifische Energiebedarf zur Herstellung der einzelnen Grundstoffe deutlich ab. Größter Einzelposten ist hier die HVC-Produktion (Ethylen, Propylen, Butadien und Aromaten) an den beiden aktuell im Einsatz stehenden Steamcrackern. Diese werden im Szenario beide elektrifiziert – der kleine mit einer Kapazität von 220 kt Ethylen pro Jahr im Jahr 2028 und der große mit 400 kt zehn Jahre später. Die genauen Umstellungszeitpunkte sind szenarisch gesetzt und in gewissem Maße beliebig. Die Erreichung der 2030er Zwischenziele sowie der Treibhausgasneutralität 2040 erfordern jedoch, dass ein Teil der Umstellung bereits vor 2030 und die restlichen Produktionskapazitäten bis 2040 umgestellt sind. Dies gilt auch für die Anlagen der anderen Produkte (und Branchen).

Die Ammoniak- sowie die Methanolproduktion werden beide komplett bis 2035 bzw. 2045 auf wasserstoffbasierte Verfahren umgestellt. Wichtig zu erwähnen ist, dass der nach der Umstellung benötigte (grüne) Wasserstoff nicht im EEV sondern im nichtenergetischen Verbrauch (NEV) bilanziert wird und deshalb in genannter Abbildung nicht zu sehen ist¹². Die beiden Produkte werden jedoch über den gesamten Zeitraum in gleichbleibenden Mengen hergestellt (Abbildung 12).

Die Herstellung von Chlor über die Chloralkali-Elektrolyse wird bis 2040 umgestellt auf das Membran-Verfahren und die Sauerstoffverzehrkathode etwa im Verhältnis von 50:50. Die Herstellung von Adipinsäure und der restlichen Produkte der Grundstoffchemie wird außer den moderaten Effizienzverbesserungen nicht direkt über Prozessumstellungen adressiert. Der Energieverbrauch bei der Adipinsäureherstellung steigt aufgrund steigender Produktionsmengen leicht an – ggü. 2019 sogar merklich - jedoch nur, weil in diesem Jahr die Adipinsäureproduktion außergewöhnlich niedrig lag. Beim Endenergiebedarf für den signifikanten Restposten der Grundstoffchemie kompensieren sich Mengenwachstum und Effizienzverbesserungen bis 2040.

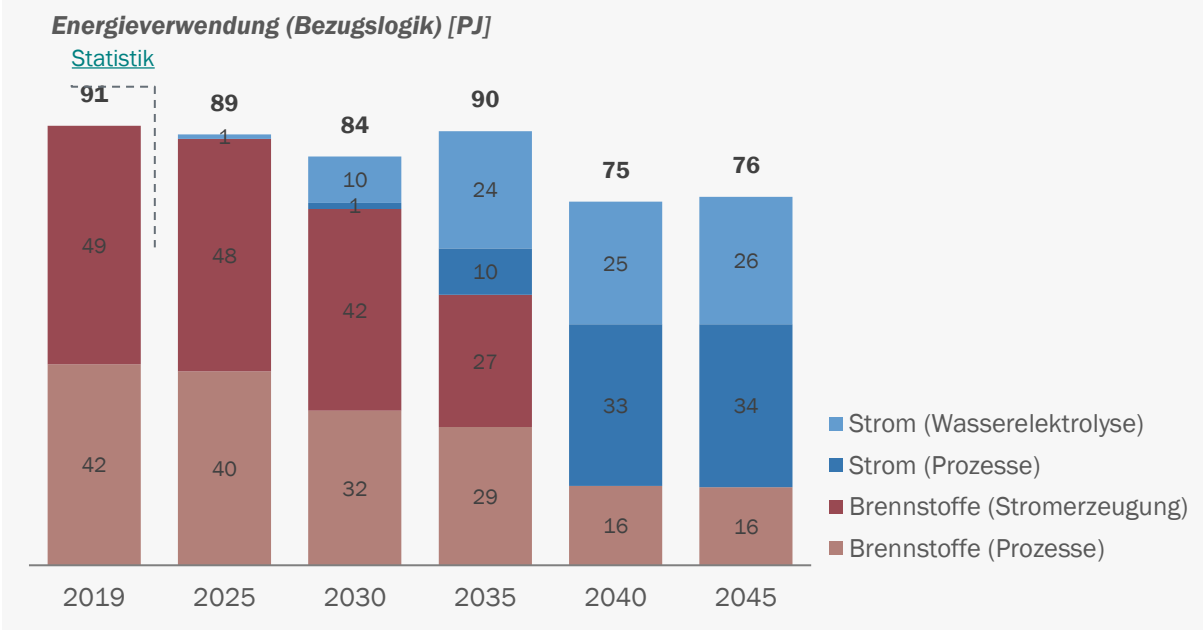
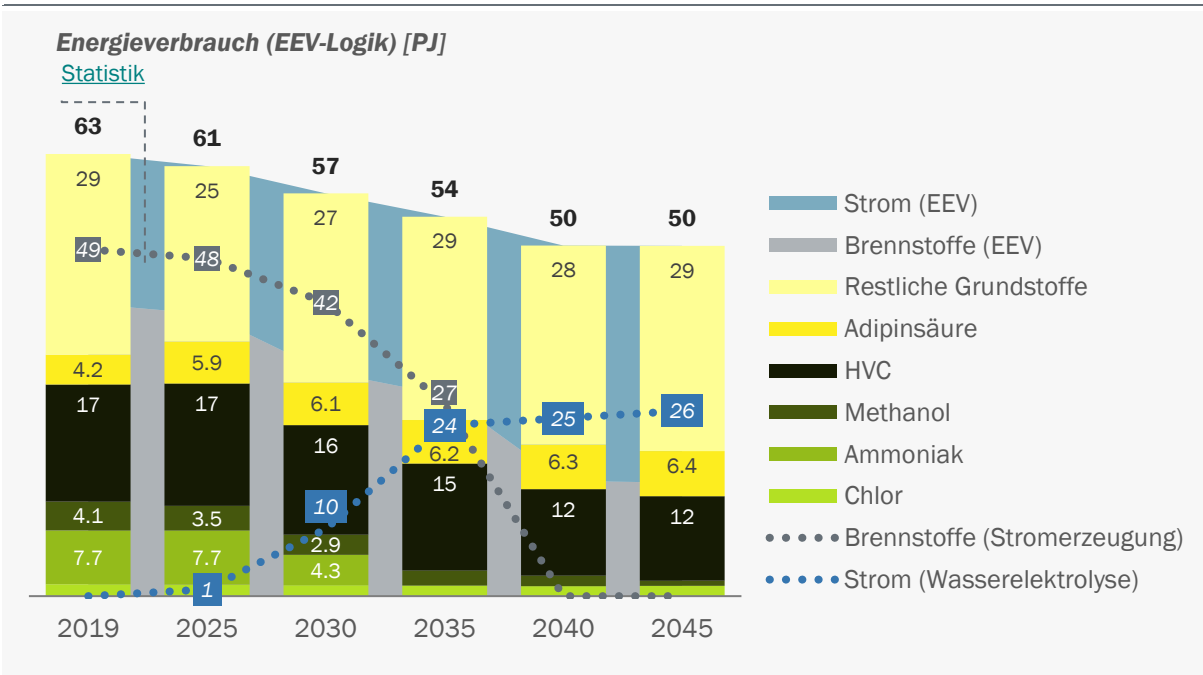
Eine andere Bilanzierungslogik verfolgt Abbildung 17 (unten): Hier wird die Energieverwendung dargestellt, also der gesamte Energiebezug¹³ der Branche. Während der Einsatz von Strom und Brennstoffen für die eigentlichen Produktionsprozesse bereits im EEV (Abbildung 17, oben) abgebildet ist, werden hier zusätzlich der Brennstoffeinsatz für die Stromeigenproduktion sowie der Stromeinsatz für die Wasserstoffproduktion bilanziert. Da bis 2019 eine quasi vollständige Stromselbstversorgung existiert, werden aktuell nur Brennstoffe bezogen, grob 55 Prozent für die Stromerzeugung und 45 Prozent für die Prozesse (inkl. Dampferzeugung). Dieses Bild ändert sich deutlich, wenn 2040 Strom bezogen statt selbst erzeugt wird und zusätzlich die werkseitige Wasserelektrolyse den Strombedarf signifikant weiter erhöht auf dann insgesamt fast 60 PJ.

¹² Bisher taucht im Verbrauch bei Ammoniak und Methanol im Wesentlichen das für die eigene Wasserstoffherstellung via Dampferformierung benötigte Erdgas auf, welches perspektivisch durch die Wasserelektrolyse bzw. Strom abgelöst wird.

¹³ „Bezug“ meint hier, dass die Energieträger tatsächlich (und nicht nur bilanziell) auf das Werksgelände importiert werden.

Abbildung 17: Energieverbrauch der Grundstoffchemie

2019 – 2045, in PJ, Rheinland-Pfalz / oben: EEV-Logik, unten: Bezugslogik



Hinweis oben: gepunktete Linie außerhalb der EEV-Logik, nur ergänzende Darstellung

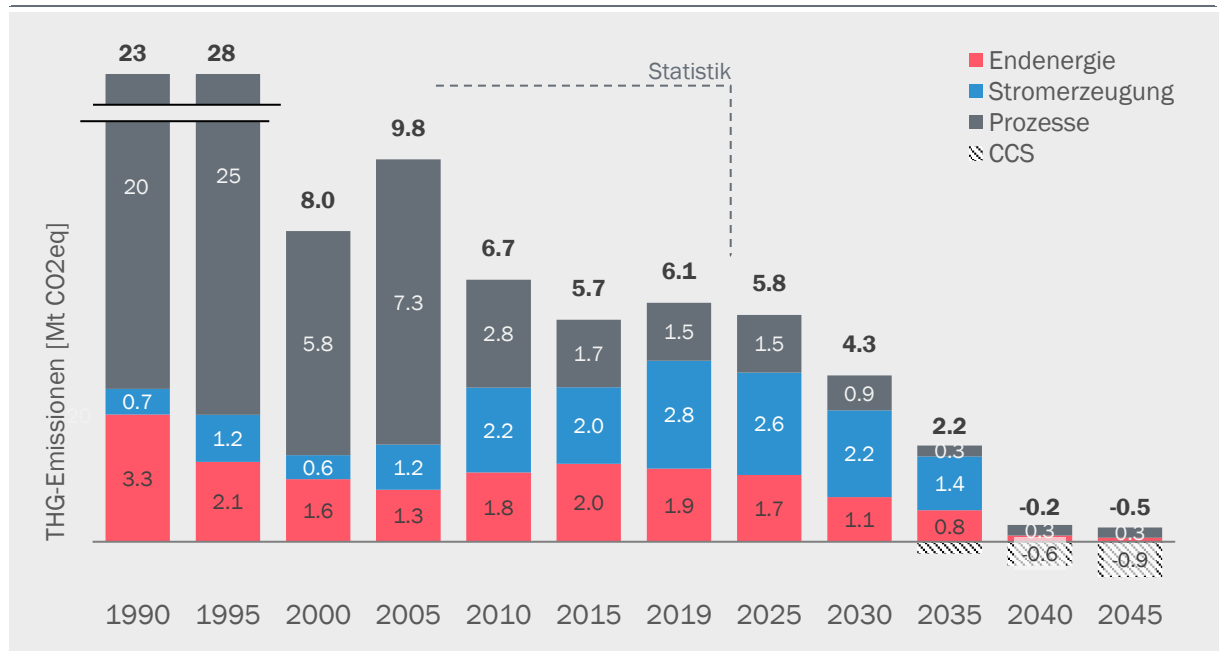
Hinweis unten: 2019 quasi Vollversorgung mit eigenerzeugtem Strom, darum (netto) kein Strombezug

Quelle: Eigene Berechnung Prognos, Werte 2019 auf Basis der EU-ETS-Datenbank, Informationen zur Produktionskapazität aller Anlagen und der Kraftwerksliste

Die Produktion von Grundstoffchemikalien weist ein stetiges Einsparpotenzial auf. So bewirkt das Maßnahmenbündel in seiner Breite neben Effizienzverbesserungen im Wesentlichen Prozessumstellungen, die beide zu THG-Einsparungen im Jahr 2040 gegenüber 2019 von rund 6 Mio. t. CO₂eq (-103 Prozent) führen (Abbildung 18). Außerdem wird unterstellt, dass spätestens 2040 keine Stromeigenerzeugung mehr stattfindet. Noch 2019 wurden dafür in Industriekraftwerken 47 PJ (davon 90 Prozent Erdgas) eingesetzt. Ab 2040 wird der Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen. Der für die Prozesse benötigte Dampf wird in Elektrodenkesseln oder (weitgehend) biogen befeuerten Dampfkesseln erzeugt. Durch CCS an den großen Anlagen, bei denen weiterhin fossile und biogene Brennstoffe eingesetzt werden sowie prozessbedingte Emissionen entstehen, wird in dieser Branche die Treibhausgasneutralität bereits 2040 erreicht. Bereits 2015 wurden gegenüber 1990 große Teile der Prozessemissionen eliminiert, hauptsächlich durch nahezu vollständiges Herausfiltern und anschließender thermischer Zerstörung des bei der Herstellung von Adipin- und Salpetersäure entstehenden Lachgases.

Abbildung 18: Treibhausgasemissionen der Grundstoffchemie

1990 – 2045, in PJ, Rheinland-Pfalz



Quelle: Eigene Berechnung Prognos

2.2.2 Gebäude

Der Gebäudesektor umfasst in der Abgrenzung des Klimaschutzgesetzes die beiden Sektoren Private Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD), ohne den Energieverbrauch der Landwirtschaft.¹⁴ Von großer Relevanz für den Gebäudesektor ist der Energieverbrauch für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser. Da hierzu noch meist fossile Energieträger eingesetzt werden, waren diese Anwendungen im Jahr 2019 ursächlich für rund 95 Prozent der THG-Emissionen im Gebäudesektor.

¹⁴ Dies im Gegensatz zur deutschen Energiebilanz, bei der der Energieverbrauch der Landwirtschaft im Sektor GHD subsumiert ist.

Die Entwicklung der THG-Emissionen des Gebäudesektors in RLP wies im Zeitraum 2000 bis 2015 einen rückläufigen Trend auf. Nach 2015 stiegen die THG-Emissionen wieder an, im Jahr 2019 betragen sie 8,2 Mio. t CO₂eq (Abbildung 22). Die Hauptherausforderung zur Reduktion der THG-Emissionen und Erreichung der Treibhausgasneutralität besteht in der Reduktion der Gebäudewärme (Raumwärme und Warmwasser) und in der THG-freien Erzeugung des verbleibenden Wärmebedarfs. Die hohe Lebensdauer der Bauteile von Gebäuden und der Wärmeerzeuger erschwert die Transformation, da jährlich nur geringe Anteile der Bestände erneuert werden.

Wichtigster Mengentreiber im Gebäudesektor ist die Bevölkerung. Die Bevölkerung und deren Struktur gibt die Zahl der Haushalte vor. Die Zahl der Haushalte entspricht beinahe exakt der Zahl der bewohnten Wohnungen, da in der Regel jeder Haushalt eine Wohnung bewohnt. Die Zahl der Wohnungen wiederum korreliert sehr stark mit der beheizten Wohnfläche. Auch der Warmwasserverbrauch und die Zahl der betriebenen Elektrogeräte korreliert stark mit der Bevölkerung. Die beheizte Gebäudefläche in Nichtwohngebäuden (NWG) steht in engem Zusammenhang mit der Zahl der Erwerbstätigen nach Wirtschaftsbranchen.

Bundesweit leben 2021 rund 46 Prozent der Haushalte in einem Ein- oder Zweifamilienhaus (EZFH), die übrigen 54 Prozent in einem Mehrfamilienhaus (MFH). In Rheinland-Pfalz liegt der Anteil der Haushalte in einem EZFH bei rund 61 Prozent und der Anteil der MFH liegt entsprechend bei rund 39 Prozent. Dies deutet auf einen im Vergleich zum gesamt deutschen Mittelwert etwas ländlicheren Charakter in Rheinland-Pfalz hin. Die durchschnittliche Wohnfläche pro Wohnung lag im Jahr 2021 in Rheinland-Pfalz bei knapp 105m². Aufgrund des höheren Bestands an EZFH ist die Wohnfläche pro Kopf höher als im bundesweiten Mittel von rund 92m² (alle Werte aus Destatis 2022).

Die Ergebnisse für den Energieverbrauch in RLP basieren auf einer Regionalisierung eines Bundeszenarios, welches bis 2045 die Treibhausgasneutralität erreicht (siehe Kapitel 1.2.2). Diesem Bundeszenario ist ein umfangreiches Maßnahmenpaket hinterlegt. Die den Gebäudesektor betreffenden Maßnahmen sind in der nachfolgenden Tabelle 6 zusammengefasst. Von großer Bedeutung für die Reduktion des Energieverbrauchs und der Reduktion der THG-Emissionen sind die Aufstockung und Weiterentwicklung der Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG), die Effizienzverpflichtungen für Gebäude (MEPS) und insbesondere die Nutzungspflicht für erneuerbare Energien beim Ersatz von Wärmeerzeugern.

Tabelle 6: Maßnahmen im Sektor Gebäude

übergeordnete Maßnahmen

- BEHG: Anhebung des Preisdeckels für CO₂ auf 100 Euro₂₀₂₀/t CO₂eq in 2026 und 180 Euro₂₀₂₀/t CO₂eq in 2030 (nominale Preise);
Aufteilung der Mehrkosten bei Mietobjekten
 - weitergehende Reduktion des Strompreises durch eine Absenkung der Stromsteuer
-

Wärmeerzeuger

Fossile Wärmeerzeuger

- Verbot für den Einbau in Neubauten
 - Nutzungspflicht von erneuerbaren Energien nach 2025 beim Anlagenersatz im Gebäudebestand, EE-Anteil steigt im Zeitverlauf an von 50 Prozent auf 100 Prozent im Jahr 2030
- Förderung im Rahmen der Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG):
- keine weitere Förderung fossiler Heizungen, auch nicht von EE-Ready-Systemen, ab 2023
 - Reduktion der Förderbeiträge für Biomasse
-

- Wärmepumpen: keine Veränderung gegenüber der aktuellen Förderung Wärmenetze
- Ausbau der Förderung über BEW
- Verbindliche Wärmenetzplanung in Kommunen

Gebäudeeffizienz

- BEG: Erhöhung der jährlichen Förderbeiträge bis 2030 auf 9–12 Mrd. Euro p.a.
- Anpassung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) Neubau:
 - ab 2023 mindestens KfW EH 55
 - ab 2025 mindestens KfW EH 40
 - Installationspflicht für PV/Solar
- Anpassung GEG im Gebäudebestand (Bauteile)
 - ab 2023 mindestens KfW 85
 - ab 2025 mindestens KfW 70
 - Abschaffung von geltenden Ausnahmeregelungen
- Effizienzverpflichtung – Minimal energy performance standards (MEPS): bis 2030 müssen alle Gebäude mindestens der Effizienzklasse E entsprechen

Geräte und Prozesse

- verschärfte Effizienzanforderungen an neue Elektrogeräte
 - verschärfte Effizienzanforderungen im Bereich Klima und Lüftung
 - Kennzeichnung und Förderung wassersparender Armaturen (Warmwasser)
 - Gewerbliche Prozesse: vgl. Maßnahmen im Industriesektor.
-

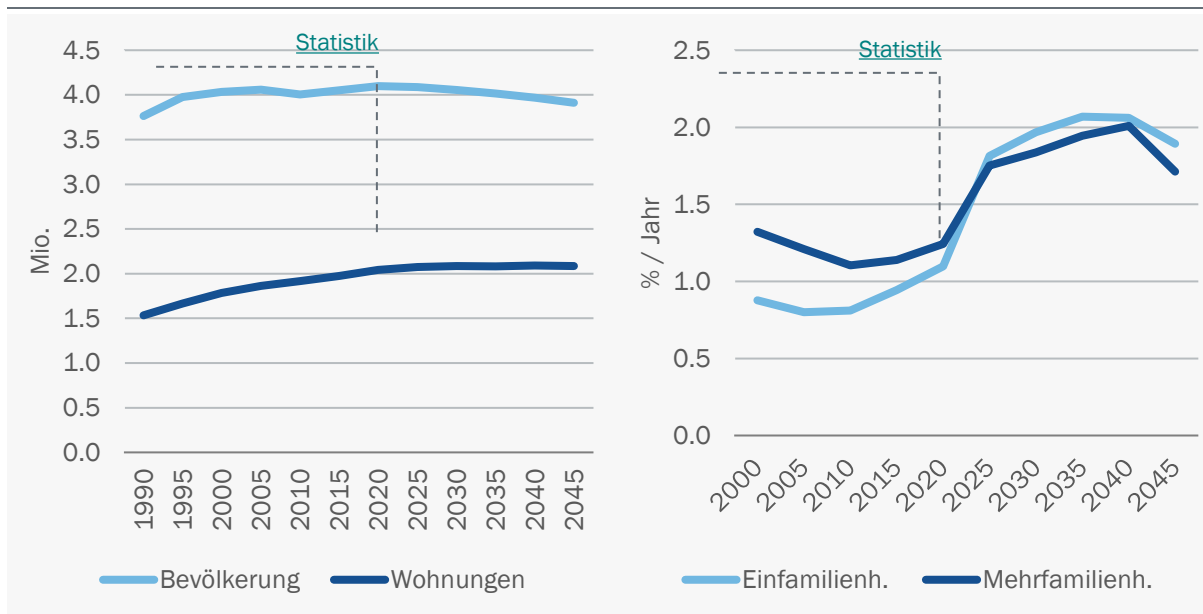
■ Eigene Darstellung Prognos

Einer der zentralen Mengentreiber für die Entwicklung des zukünftigen Energieverbrauchs im Gebäudesektor ist wie oben beschrieben die Bevölkerung. Im Szenarienzeitraum verändert sich die Bevölkerung in Rheinland-Pfalz nicht wesentlich und verbleibt im Zeitraum bis 2045 bei rund 4 Millionen. (Abbildung 19; linke Seite). Aufgrund der Verschiebung der Haushaltsstruktur – es gibt zukünftig vermehrt kleinere Haushalte – nimmt die Zahl der Haushalte und auch die der bewohnten Wohnungen leicht zu. Dies wirkt sich erhöhend auf beheizte Flächen und Nachfrage nach Raumwärme aus. Reduziert wird der Wärmebedarf durch die verschärften Effizienzanforderungen bei Neubauten und im Bestand sowie die steigende Sanierungsaktivität. Aufgrund der langen Lebensdauer der Bauteile der Gebäudehülle werden jedes Jahr nur geringe Anteile instandgesetzt bzw. modernisiert (je nach Bauteil 1 Prozent bis 3 Prozent). Durch die unterstellten Maßnahmen, insbesondere der Effizienzverpflichtung (MEPS), der Ausbau der Förderung (BEG) sowie den steigenden Energiepreisen (u.a. auch aufgrund des CO₂-Preises) nimmt die Sanierungsrate zu (Abbildung 19; rechte Seite). Die Gesamtsanierungsrate steigt von rund 1,2 Prozent im Jahr 2020 auf 1,9 Prozent im Jahr 2030.¹⁵ Im Zeitraum 2030 bis 2040 liegt die Rate bei rund 1,9-2 Prozent. Werden nur die Altbauten betrachtet, ergeben sich höhere Raten.

¹⁵ Gesamtsanierungsrate wird hier definiert als die energetisch sanierte Gebäudefläche zur gesamten Gebäudefläche im jeweiligen Jahr. Dabei werden Teilsanierungen zu Vollsanierungsäquivalenten zusammengefasst.

Abbildung 19: Bevölkerungs- und Wohnraumentwicklung, Sanierungsrate

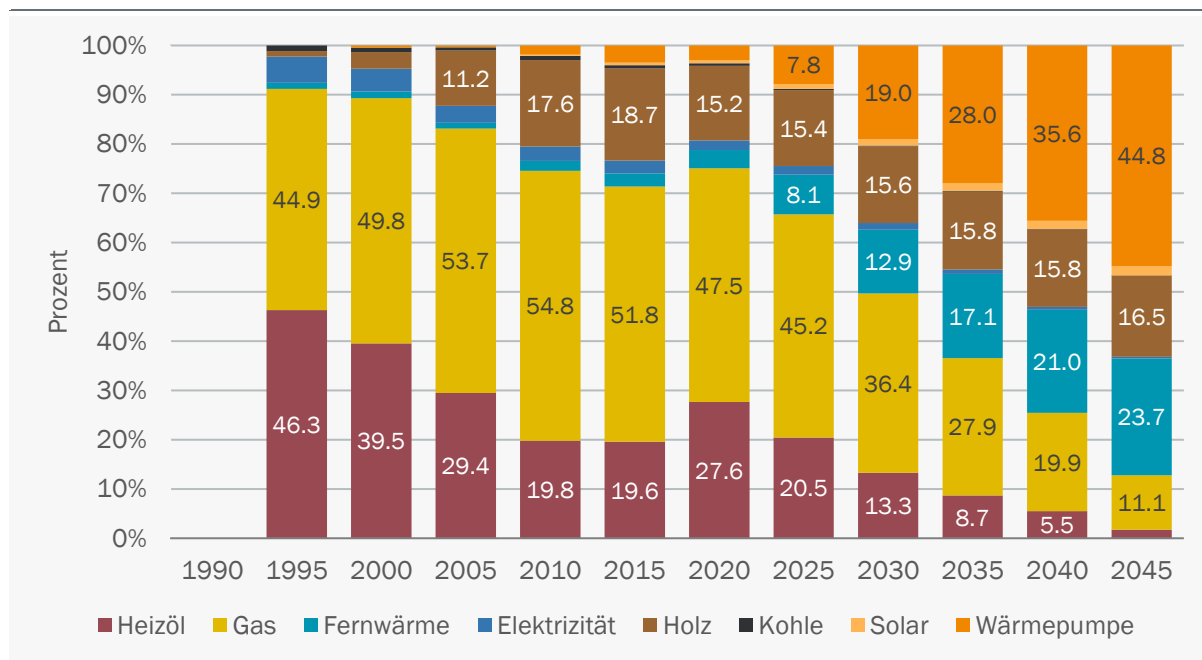
1990 – 2045, Bevölkerung und Wohnungen in Millionen (linke Seite) und Sanierungsrate in Prozent / Jahr (rechte Seite), Rheinland-Pfalz



Quelle: Eigene Berechnung Prognos

Die Nutzungspflicht für erneuerbare Energien, die steigenden Preise für fossile Energie (u.a. aufgrund des sich erhöhenden CO₂-Preises im BEHG), die Effizianzorderungen, die verpflichtende Wärmeplanung in den Kommunen sowie die ausgebaute Förderung verändern die Absatzstruktur der jährlich verkauften Wärmeerzeuger deutlich. Jährlich werden rund 3–4 Prozent der Wärmeerzeuger ausgetauscht. Dadurch verändern die abgesetzten Wärmeerzeuger zeitlich verzögert die Beheizungsstruktur im Gebäudebestand. Dargestellt ist dies in Abbildung 20 für die Wohngebäude im Sektor Private Haushalte. Ab 2023, und verstärkt ab 2025, nimmt der Anteil der fossilen Gas- und Heizölheizungen an der beheizten Wohnfläche deutlich ab. Am größten ist die Zunahme bei der elektrischen Wärmepumpe, deren Anteil von weniger als 5 Prozent im Jahr 2020 auf rund 45 Prozent im Jahr 2045 steigt. Mit annähernd 25 Prozent ist auch der Anteil der Fernwärme von hoher Bedeutung für die Beheizungsstruktur im Jahr 2045, insbesondere bei Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäuden des GHD-Sektors. Hoch ist im Jahr 2045 auch der Anteil von Holz, dieser beinhaltet jedoch auch anteilig das Kaminholz von Ergänzungsheizungen. Holz sollte nur noch in den Gebäuden eingesetzt werden, bei denen kein Fernwärmeanschluss zur Verfügung steht und der Einbau einer Wärmepumpe mit einem hohen Aufwand, bzw. mit einer sehr geringeren Effizienz verbunden ist (z. B. bei schwer zu sanierenden Altbauten, die eine hohe Vorlauftemperatur benötigen).

Abbildung 20: Beheizungsstruktur Privater Haushalte
1990 - 2045, in Prozent der beheizten Wohnfläche, Rheinland-Pfalz



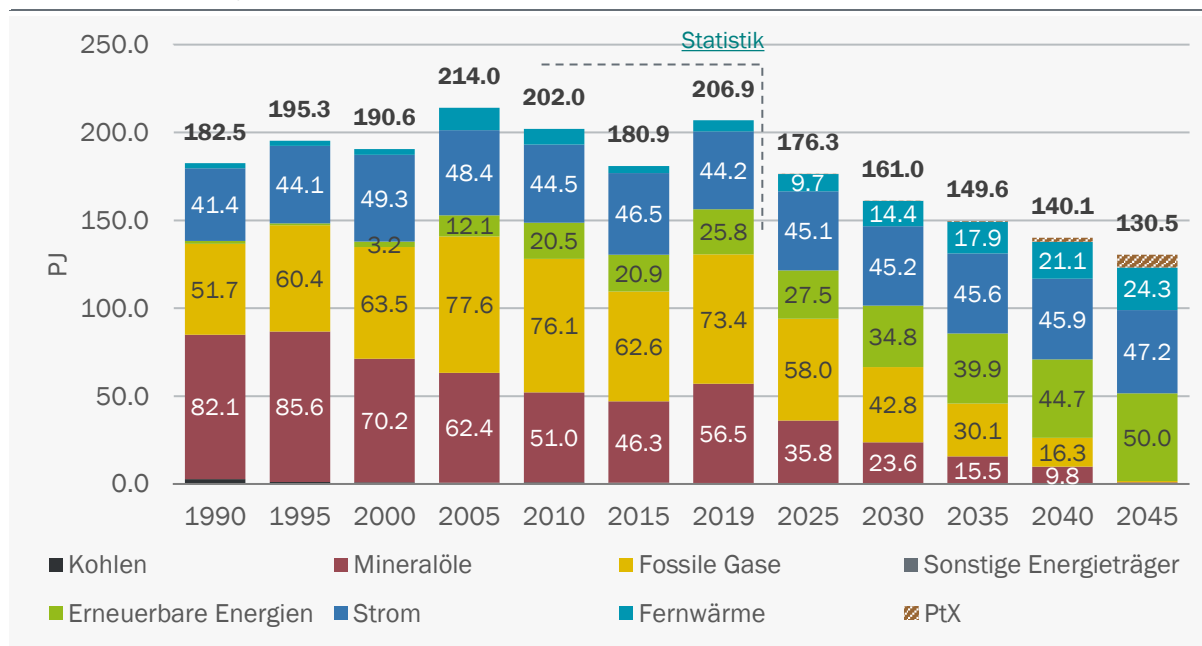
Holz inkl. Kaminholzanteile

Eigene Berechnung Prognos

In Abbildung 21 ist der Endenergieverbrauch im Sektor Gebäude nach Energieträgern dargestellt. Die Werte bis 2019 basieren auf Angaben des statistischen Landesamtes, die Werte nach 2019 sind Szenarienergebnisse. Der Endenergieverbrauch ist im Szenariozeitraum stark rückläufig: Für die privaten Haushalte (PHH) nimmt der Endenergieverbrauch im Zeitraum 2019 bis 2045 um 39 Prozent ab. Dies ist hauptsächlich auf den Rückgang des Raumwärmeverbrauchs zurückzuführen, welcher sich im gleichen Zeitraum um 37 Prozent verringert. Der höchste relative Rückgang ergibt sich bei der Beleuchtung. Aufgrund des flächendeckenden Einsatzes von effizienten LED-Lampen verringert sich der Verbrauch für die Beleuchtung um 55 Prozent. Im GHD-Sektor nimmt der Endenergieverbrauch zwischen 2019 und 2045 um 31 Prozent ab. Insgesamt ergibt sich für den Gebäudesektor eine Reduktion des Endenergieverbrauchs um 37 Prozent (bis 2040: -32 Prozent).

Abbildung 21: Endenergieverbrauch Gebäude nach Energieträger

1990 – 2045, in Petajoule, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Der Stromverbrauch steigt im Gebäudesektor trotz des starken Einsatzes von Wärmepumpen nur leicht an (+7 Prozent im Zeitraum 2019-2045). Dies ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen. Sowohl die Wärmepumpen als auch die Gebäude werden effizienter und dämpfen so den Anstieg des Stromverbrauchs für Wärmepumpen. Gleichzeitig werden vergleichsweise ineffiziente Elektroheizungen und Elektroboiler mit niedrigem Wirkungsgrad durch Wärmepumpen mit hohem Wirkungsgrad ersetzt. Außerdem verringert auch der Einsatz von effizienteren Lampen und Elektrogeräten den Stromverbrauch.

Ein deutlicher Anstieg zeigt sich bei den erneuerbaren Energien. Dies ist hauptsächlich auf die in Wärmepumpen genutzte Umweltwärme zurückzuführen, welche hier – wie in der Energiebilanz - mitbilanziert wird. Der Rest entfällt auf Holz, Biogas und Solarthermie. Der Anteil der Erneuerbaren am Endenergieverbrauch steigt von 12 Prozent im Jahr 2019 auf annähernd 40 Prozent im Jahr 2045 (2040: 32 Prozent).

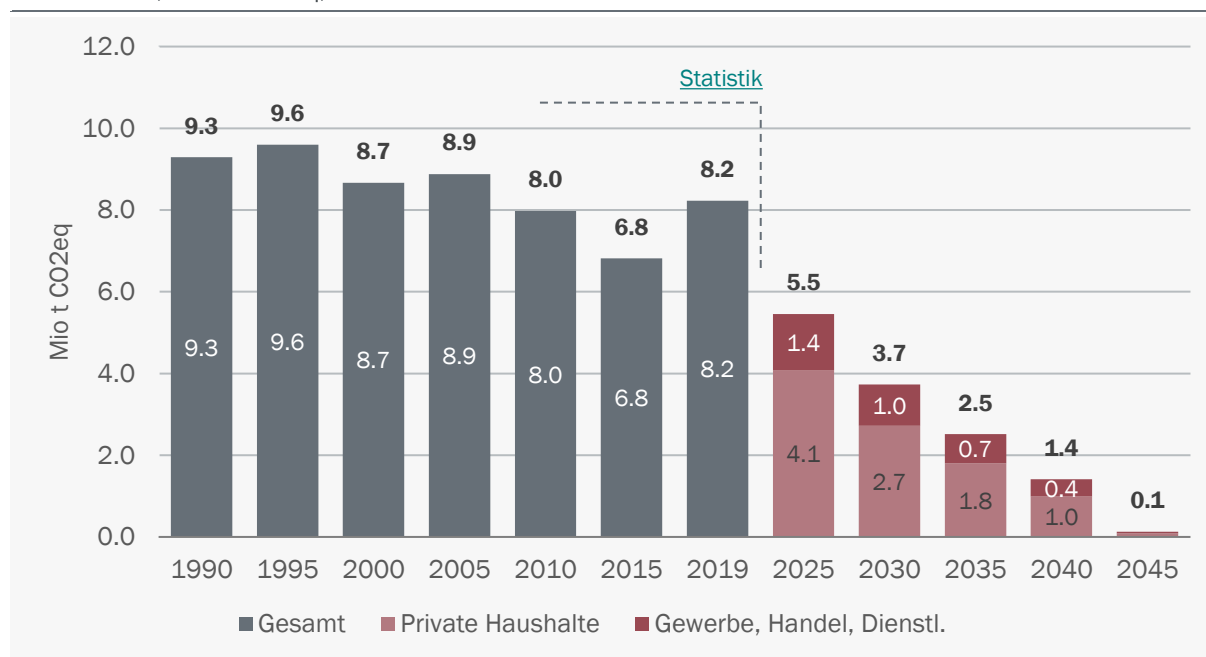
Der Verbrauch fossiler Energieträger ist hingegen stark rückläufig. Deren Anteil verringert sich von 63 Prozent im Jahr 2019 über 19 Prozent im Jahr 2040 auf 1 Prozent im Jahr 2045. In den im Jahr 2040, respektive im Jahr 2045 noch verbleibenden Ölkesseln werden zunehmend synthetische Energieträger und Biogas eingesetzt. Mit dem weiter fortschreitenden Ersatz dieser Kessel durch Wärmepumpen und Wärmenetze nimmt aber der Bedarf an synthetischen Energieträgern und an Biogas nach 2045 wieder ab.

Durch den Rückgang des Verbrauchs fossiler Energien nehmen die THG-Emissionen ab. Die THG-Emissionen im Gebäudesektor verringern sich von 8,2 Mio. t CO₂eq im Jahr 2019 über 3,7 Mio. t CO₂eq im Jahr 2030 auf noch 1,4 Mio. t CO₂eq im Jahr 2040 (Abbildung 22). Folglich wird die Treibhausgasneutralität im Gebäudesektor im Jahr 2040 noch nicht erreicht. Aufgrund der Erzeu-

gung negativer THG-Emissionen im LULUCF-Sektor wird in der Gesamtbetrachtung über alle Sektoren das angestrebte Netto-Null-Ziel trotzdem erreicht. Nach 2040 nehmen die THG-Emissionen im Gebäudesektor weiter ab, so dass mit nur noch 0,1 Mio. t CO₂eq auch im Gebäudesektor die Treibhausgasneutralität annähernd erreicht wird.

Abbildung 22: Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude

1990 – 2045, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

2.2.3 Verkehr

Emissionsentwicklung

In Deutschland betragen die THG-Emissionen im nationalen Verkehr 164 Mio. t CO₂eq im Jahr 2019. Der Verkehr war damit der einzige Sektor in Deutschland, dessen THG-Emissionen seit dem klimapolitischen Referenzjahr 1990 nicht gesenkt werden konnten. In Rheinland-Pfalz lagen die Emissionen im Vor-Corona-Jahr 2019 bei 8,7 Mio. t CO₂eq und sind damit gegenüber dem Basisjahr 1990 sogar leicht angestiegen. Steigende Fahrleistungen – speziell im Straßengüterverkehr – aber auch im motorisierten Individualverkehr (MIV) und der Trend zu größeren und schwereren Personenkraftwagen (Pkw) sind hauptverantwortlich dafür, dass die technischen Effizienzgewinne konterkariert wurden.

Die Energienachfrage und die Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Verkehr werden durch verschiedene Größen bestimmt: die Nachfrage im Personen- und Güterverkehr, die Entwicklung beim Modal Split, die Kraftstoffeffizienz, den Antriebsmix der Fahrzeuge sowie die Beimischung von alternativen Kraftstoffen.

Besonderheiten in Rheinland-Pfalz

Auf Basis von regional verfügbaren Verkehrsstatistiken werden die Fahrleistungen (Fahrzeugkilometer), die Verkehrsleistungen (Personen- und Tonnenkilometer) und die Fahrzeugbestände (Anzahl zugelassener Fahrzeuge) in Rheinland-Pfalz quantifiziert. Beim Personenverkehr zeigt sich in Rheinland-Pfalz eine strukturell höhere Pkw-Verkehrsleistung im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt. Mit einem Anteil von 83 Prozent dominiert der Autoverkehr bei den Personenkilometern deutlich in Rheinland-Pfalz als Pendlerland. Hinter dem Saarland weist Rheinland-Pfalz mit 619 Pkw je 1.000 Einwohner die zweithöchste Pkw-Dichte in Deutschland auf. Im Saarland sind es 640 und auf der anderen Seite der Rangliste steht Berlin mit 335 Pkw je 1.000 Einwohner (Destatis, 2020).

Der Straßenverkehr ist auch beim Transport von Gütern dominierend. Hier liegt der Straßenanteil in Rheinland-Pfalz bei 55 Prozent bezogen auf die Tonnenkilometer im Jahr 2020. Beim Güterverkehr weist Rheinland-Pfalz allerdings einen hohen Anteil beim Binnenschiff auf. Mit dem Rhein, der Mosel, der Saar und der Lahn fließen gleich vier Flüsse durch Rheinland-Pfalz, die für die Binnenschifffahrt erschlossen sind. Der Anteil der Binnenschifffahrt bezüglich der Verkehrsleistung (in Tonnenkilometern) liegt bundesweit bei rund 10 Prozent und in Rheinland-Pfalz bei rund 20 Prozent.

Maßnahmen

Im Jahr 2020 berechnete die Prognos im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums die Zielkonformität des Klimaschutzprogramms 2030 in Deutschland. Untersucht wurden die Emissionsentwicklungen in den Sektoren Verkehr, Gebäude, Industrie, Landwirtschaft, Abfall und Energiewirtschaft (inkl. sonstige Umwandlung). Aus der Modellierung geht hervor, dass die Zielverfehlung im Sektor Verkehr mit rund 30 Mio. t. CO₂eq zum damaligen Zielwert von 95 Mio. t. CO₂eq im Jahr 2030 deutlich ist (Prognos, 2020).

In einem Folgeprojekt wurden politische Maßnahmen auf Bundesebene definiert, um das Klimaziel im Verkehr im Jahr 2030 zu erreichen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Maßnahmen zur Zielerreichung 2030 im Verkehr aufgelistet.

Tabelle 7: Zusätzliche Maßnahmen im Sektor Verkehr zur Erreichung der Klimaziele 2030

Ordnungsrecht: EU-CO₂-Grenzwerte

- Pkw/Leichte Nutzfahrzeuge: -20 Prozent bis 2025 und -60 Prozent bis 2030
 - Schwere Nutzfahrzeuge: -20 Prozent bis 2025 und -50 Prozent bis 2030
-

CO₂-Preis, Steuern, Beimischungen von alternativen Kraftstoffen

- Erhöhung des CO₂-Preises im BEHG.
 - Aufhebung des Dieselprivilegs: Energiesteuer wird stufenweise von 47 ct/l auf 65 ct/l angehoben. Die Erhöhung zu jeweils 6 ct/l erfolgt in den Jahren 2023, 2025 und 2027.
 - Beimischung von eFuels bei Diesel: 1 Prozent im Jahr 2025 und 7 Prozent im Jahr 2030. Preiserhöhung beim Diesel von + 10 Prozent
-

Kaufförderungen

- Innovationsprämie bis 2025 verlängert (+ 3.000 € für Batteriebetriebene Elektrofahrzeuge (BEV)). Umweltbonus läuft bis 2030.
-

- Für elektrifizierte Nutzfahrzeuge wird eine Kaufförderung von 80 Prozent der Mehrkosten gegenüber einem vergleichbaren Dieselfahrzeug angenommen.
- Umgestaltung der PHEV-Förderung: 50 Prozent der Förderung wird nur bezahlt, wenn belegt werden kann, dass mind. 50 Prozent elektrisch gefahren wurde.

Verlagerung / Modal Split

- Die Verlagerungspotenziale auf die Schiene werden ausgeschöpft.
- Investitionen in die Infrastruktur der Wasserstraßen helfen die Marktanteile der Binnenschifffahrt auf hohem Niveau zu halten.
- Der Radverkehr wird gestärkt und kann seinen Anteil beim Modal Split deutlich erhöhen. Die Personenverkehrsleistung auf dem Fahrrad steigt gegenüber 2019 um +50Prozent bis zum Jahr 2030.

| Eigene Darstellung Prognos

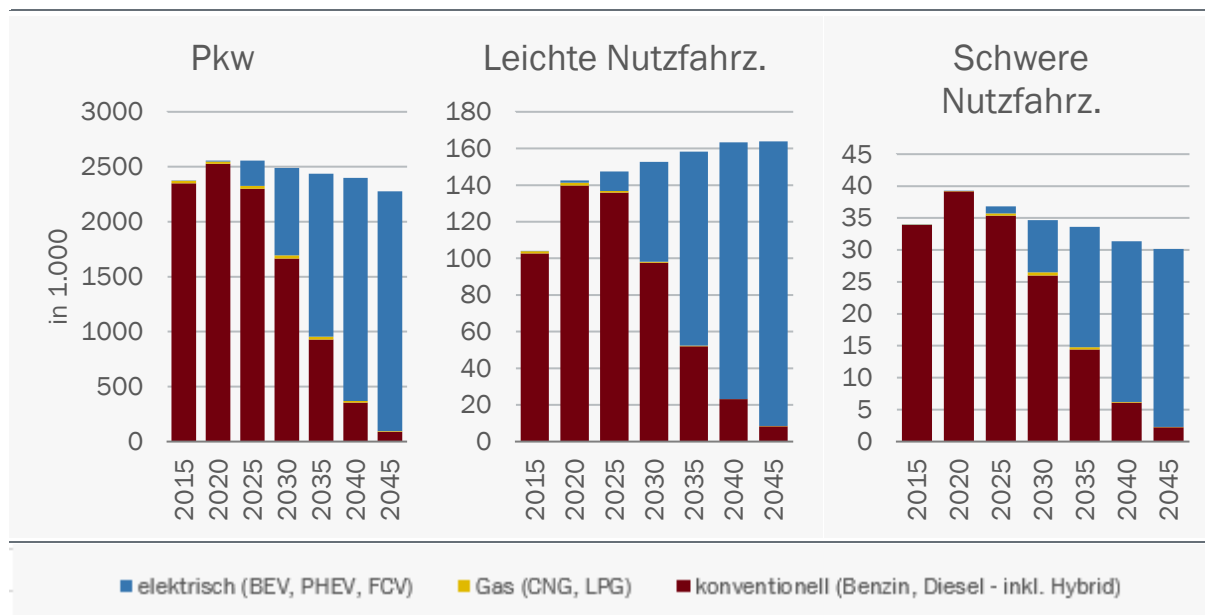
Im Koalitionsvertrag Rheinland-Pfalz (RLP, 2021) werden einige Maßnahmen erwähnt, welche zum Ziel haben, den Verkehr klimafreundlicher zu gestalten. Um den Modal Split beim Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) bis zum Jahr 2030 deutlich zu steigern, soll der ÖPNV gestärkt werden. Zu diesem Ziel wird auch der Rheinland-Pfalz-Takt, welcher stufenweise bereits eingeführt wurde und nun bis zum Jahr 2030 überarbeitet werden soll, sowie ein landesweites E-Ticket oder die Reaktivierung von stillgelegten Schienenstrecken dienen. Zudem ist im Koalitionsvertrag auch der Erhalt bzw. weitere Ausbau der bestehenden guten Rahmenbedingungen bei Wasserstraßen und Häfen verankert.

Antriebstechnologien

Der Antriebsmix der Fahrzeuge wird aus dem nationalen Szenario abgeleitet. Im Sektor Verkehr bewirkt die Elektrifizierung der Fahrzeugflotte die größten Einsparungen beim Energieverbrauch und damit auch bei den THG-Emissionen. Bei den Pkw und den leichten Nutzfahrzeugen zeigt sich aktuell bereits ein substanzieller Anteil an Elektrofahrzeugen bei den Neuzulassungen. Bei den schweren Nutzfahrzeugen wird der Markthochlauf zeitverzögert einsetzen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Fahrzeugbestand für Pkw, leichte Nutzfahrzeuge und schwere Nutzfahrzeuge nach Art des Antriebs.

Abbildung 23: Fahrzeugbestand nach Art des Antriebs

1990 – 2045, in 1.000, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos

Zum 1.1.2021 waren in Rheinland-Pfalz rund 14 Tsd. (0,5 Prozent) Pkw batterieelektrisch (BEV) und weitere rund 12 Tsd. (0,5 Prozent) Pkw als Plug-in-Hybride (PHEV) zugelassen. Brennstoffzellen-Pkw (FCV) sind aktuell noch in sehr geringen Stückzahlen auf den Straßen unterwegs und aufgrund der deutlich höheren System- und Energiekosten bleibt ihr Anteil im Zielszenario auch in Zukunft klein. Beim Bestand liegt der Anteil der Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV und FCV) mit rund einem Prozent aktuell niedrig. Bei den Neuanmeldungen hingegen war im Jahr 2021 bereits jeder vierte Pkw ein Elektrofahrzeug. Zeitverzögert zeigen sich die hohen E-Anteile auch beim Fahrzeugbestand. Im Jahr 2025 werden nach dem Szenario von den 2,5 Mio. Pkw rund 230 Tsd. (9 Prozent) und im Jahr 2030 rund 800 Tsd. (32 Prozent) Elektro-Pkw sein.

Bei den leichten Nutzfahrzeugen verläuft die Elektrifizierung ähnlich schnell. Im Jahr 2025 liegt der Anteil der Elektrofahrzeuge bei rund 7 Prozent und im Jahr 2030 bei rund 36 Prozent bei den Transportern.

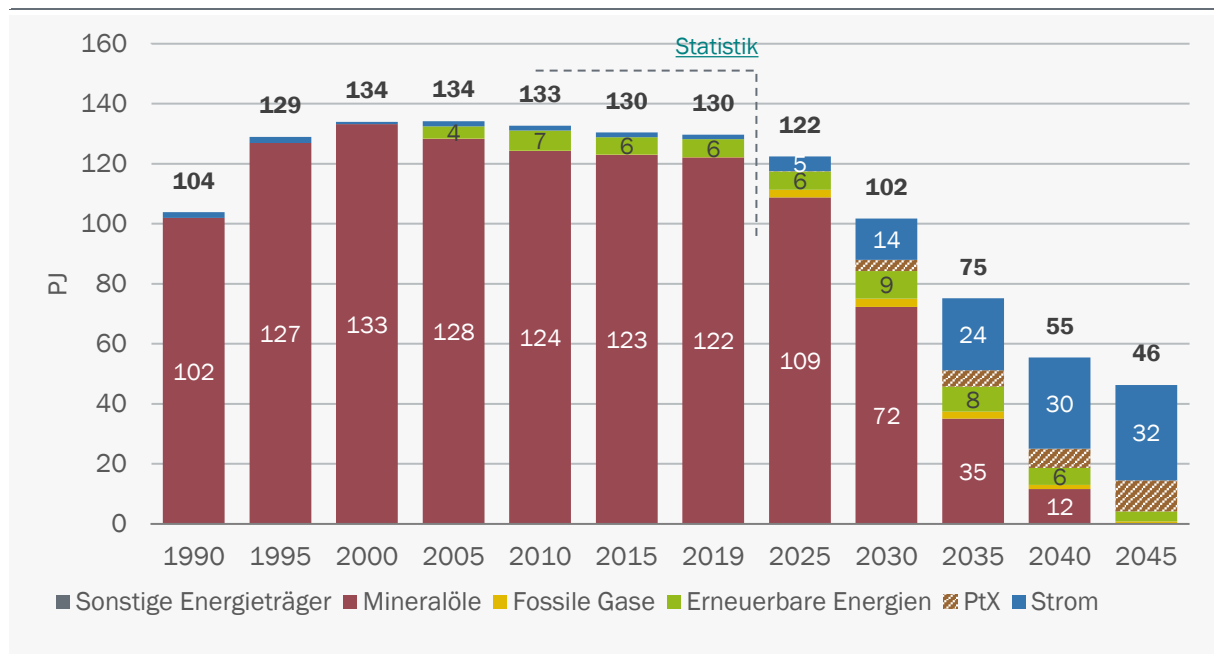
Die Flotte der schweren Nutzfahrzeuge besteht aktuell (2021) fast ausschließlich aus Fahrzeugen mit Dieselantrieb. Der elektrische Antrieb ist auch beim Schwerlastverkehr eine kostengünstige Option zur Minderung von THG-Emissionen. Mit rund 25 Tsd. schweren Lastkraftwagen (Lkw) über 3,5 t zulässige Gesamtmaße sowie rund 11 Tsd. Sattelzugmaschinen handelt es sich um deutlich weniger Fahrzeuge als im Pkw- oder Transporter-Bereich. Diese Fahrzeuge haben aber außerordentlich hohe Laufleistungen sowie einen hohen spezifischen Energiebedarf. Für die Einsparung von THG-Emissionen im Verkehr sind sie deshalb von besonderem Interesse. Dabei ist zu beachten, dass kleinere Lkw für den Regional- und Verteilverkehr schneller elektrifiziert werden können als schwere Lkw für den Fernverkehr. Im Jahr 2030 liegt der Anteil der Elektrofahrzeuge bei rund 24 Prozent bei den schweren Nutzfahrzeugen.

Endenergieverbrauch und Emissionen

Insgesamt verringert sich der Energieverbrauch im Sektor Verkehr um 23 Prozent bis zum Jahr 2030 und um 65 Prozent bis zum Jahr 2045 gegenüber dem Ausgangswert des Jahres 1990. Durch die Elektrifizierung des Straßenverkehrs steigt der Strombedarf auf 14 PJ (3,8 TWh) im Jahr 2030 und auf 32 PJ (8,8 TWh) im Jahr 2045. Die Nachfrage nach Mineralölprodukten und fossilen Gasen reduziert sich im Klimaschutzscenario deutlich. Im Vergleich zum Jahr 2019 verringert sich die Nachfrage nach fossilen Energieträgern um 40 Prozent bis zum Jahr 2030 bzw. um 100 Prozent bis zum Jahr 2045. Damit verringern sich auch die THG-Emissionen im Sektor Verkehr. Im Jahr 2045 kommen im Verkehr praktisch nur noch erneuerbare Energieträger und Strom zum Einsatz.

Abbildung 24: Endenergieverbrauch Verkehr nach Energieträger

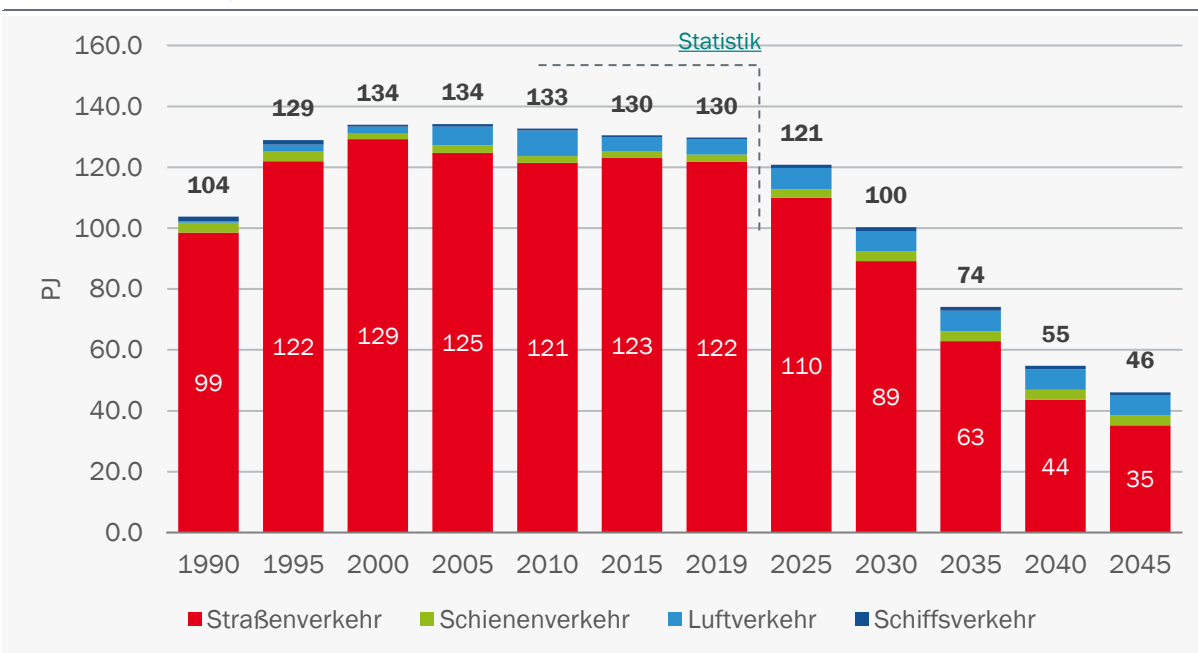
1990 – 2045, in Petajoule, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Abbildung 25: Endenergieverbrauch Verkehr nach Verkehrsträger

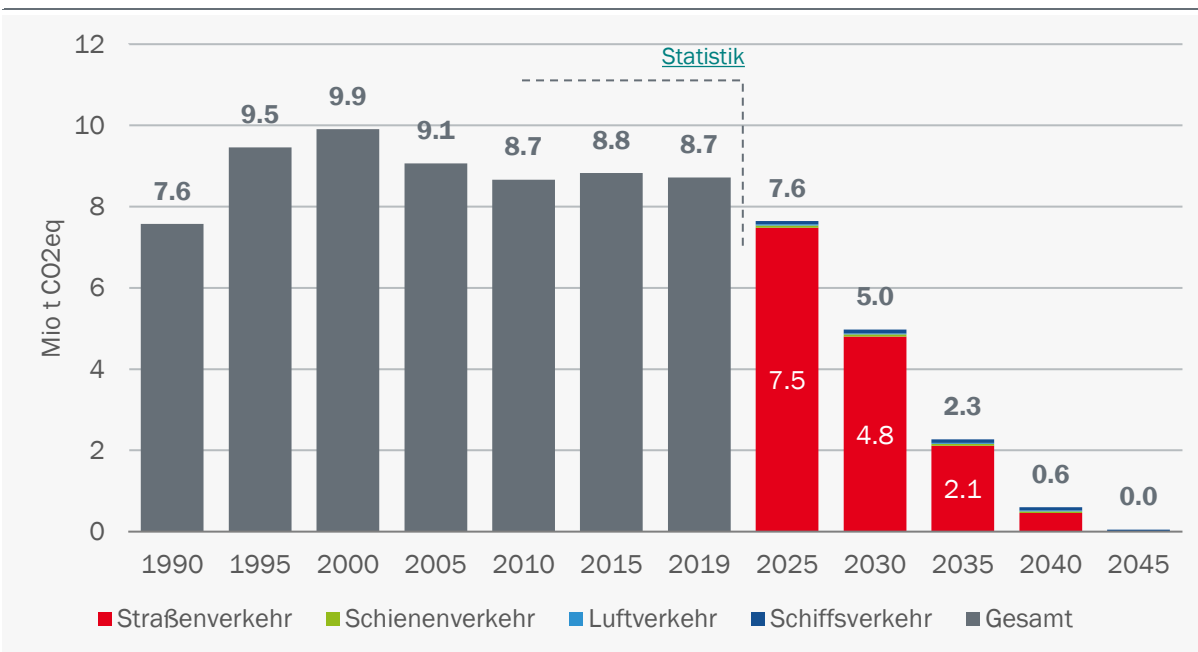
1990 – 2045, in Petajoule, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

Abbildung 26: Treibhausgasemissionen im Sektor Verkehr nach Verkehrsträger

1990 – 2045, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

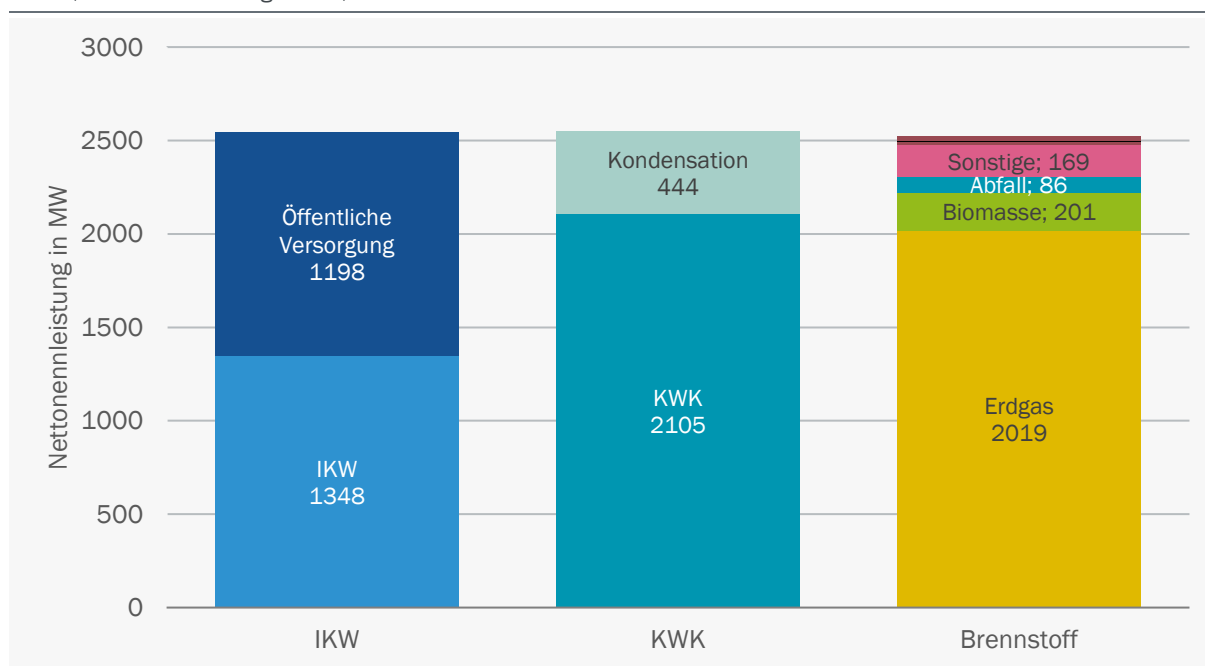
2.2.4 Energiewirtschaft

Die Treibhausgasemissionen im Sektor Öffentliche Energieversorgung setzen sich zusammen aus den verbrennungsbedingten Emissionen der öffentlichen Strom- und Wärmeerzeugung (CRF 1.A.1.a), den Raffinerien (CRF 1.A.1.b) und den Emissionen des übrigen Umwandlungssektors (CRF 1.A.1.c, u.a. Kokereien und Brikettfabriken). Zusätzlich werden der Energiewirtschaft die Emissionen von Pipeline-Kompressorstationen (CRF 1.A.3.e) sowie die nicht-verbrennungsbedingten flüchtigen Emissionen (CRF 1.B; von Gas-Pipelines oder Kohlebergwerken) zugerechnet. Der Sektor der (öffentlichen) Energiewirtschaft in Rheinland-Pfalz beschränkt sich im Wesentlichen auf verbrennungsbedingte Emissionen der öffentlichen Strom- und Wärmeerzeugung. Raffinerien sind in dem Bundesland keine vorhanden, ebenso wie Kokereien und Brikettfabriken.

Im Bereich der verbrennungsbedingten Emissionen der öffentlichen Strom- und Wärmeerzeugung sind insbesondere die fossil-thermischen Kraftwerke für die Emissionen verantwortlich. 2019 produzierten laut Energiebilanz Rheinland-Pfalz Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung mithilfe von Erdgas, Biomasse sowie Abfällen 2,2 TWh Strom. Heizkraftwerke im KWK-Betrieb produzierten 1,2 TWh Strom und 2,5 TWh Wärme. Reine Heizwerke produzierten 1,8 TWh Wärme. Im Vergleich hierzu belief sich die Stromerzeugung in Industriekraftwerken (IKW) auf 7,6 TWh.

Abbildung 27: Fossilthermischer Kraftwerkspark Rheinland-Pfalz

2021, Nettonennleistung in MW, Rheinland-Pfalz



Quelle: Eigene Darstellung Prognos, Daten Bundesnetzagentur

Das Klimaschutzgesetz sieht auf Bundesebene eine deutliche Reduktion der Emissionen aus dem Sektor Energiewirtschaft vor. Die im Gesetz ausgewiesenen Zielemissionen betragen 280 Mio. t CO₂e in 2020, 257 Mio. t CO₂e in 2022 und 108 Mio. t CO₂e in 2030. Auf Bundesebene werden diese Emissionsminderungen insbesondere durch den Brennstoffwechsel zur Strom- und Fernwärmeerzeugung vollzogen. Steinkohle-KWK-Anlagen werden durch gasbetriebene KWK-An-

lagen ersetzt, um den Ausstieg aus der Kohleverstromung zu vollziehen als auch weiterhin regelbare Leistung im System zu halten und die Wärmeauskopplung für Fernwärmesysteme zu gewährleisten. Langfristig werden Erdgas-KWK mit Wasserstoff betrieben (siehe Prognos 2022). Perspektivisch sind neben der Wärmeversorgung im Winter KWK-Anlagen für die Absicherung der Versorgungssicherheit notwendig. Die Anzahl der Volllaststunden von KWK-Anlagen geht langfristig gegenüber heute deutlich zurück.

Die Dekarbonisierung des Stromsystems ist stark an den Ausbau von Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung angewiesen. Bundesweit sollen laut „Osterpaket 2022“ der Bundesregierung bis 2030 115 GW Windenergieanlagen an Land und 215 GW PV installiert sein um 80 Prozent des Bruttostromverbrauchs aus Erneuerbaren Energien zu decken. Um die im „Osterpaket“ angestrebte weitestgehende Dekarbonisierung des Stromsystems bis 2035 zu erreichen, sind laut Prognos (2022) 157 GW installierter Windenergieanlagen und 309 GW Photovoltaik notwendig. Hinzu kommen noch 57 GW installierter Offshore-Windenergie Leistung.

Tabelle 8: Maßnahmen im Sektor Energiewirtschaft

Koalitionsvertrag Rheinland-Pfalz 2021

- 100 Prozent Erneuerbare Energien bezogen auf den Bruttostrombedarf bis 2030
 - Nettoausbau von jeweils 500 MW Photovoltaik und Windenergie / Jahr
-

Osterpaket 2022 der Bundesregierung

- Über 80 Prozent des Bruttostromverbrauchs aus Erneuerbaren Energien bis 2030
 - 115 GW Wind an Land in 2030 / 215 GW PV in 2030
 - 2035: Stromversorgung fast vollständig aus Erneuerbaren Energien
-

Sommerpaket 2022 der Bundesregierung

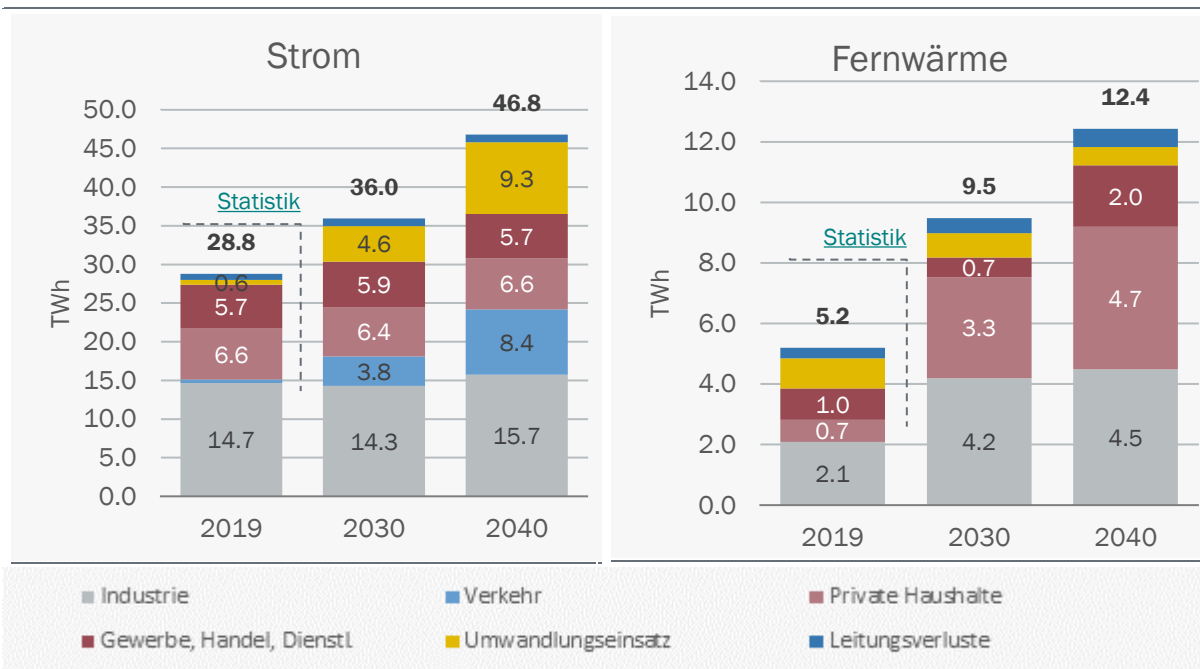
- Beschleunigungspaket II / Windflächenbedarfsgesetz
 - Flächenbeitragswert Rheinland-Pfalz (Anteil Landesfläche für Windenergie):
 - 2026: 1,4 Prozent / 2032: 2,2 Prozent
-

■ Eigene Darstellung Prognos

Der Bedarf an den leitungsgebundenen Energieträgern Strom und Wärme nimmt in Rheinland-Pfalz infolge der Transformation des Energiesystems stark zu. 2019 betrug die Bruttostromnachfrage in Rheinland-Pfalz 28,8 TWh. Perspektivisch wird sie bis 2040 auf fast 47 TWh ansteigen. Hier machen sich insbesondere neue Verbraucher wie die Elektromobilität im Sektor Verkehr aber auch die Fernwärmeversorgung – mit unter anderem Großwärmepumpen – und die Elektrolyse von Wasser zur Wasserstoffherstellung im Umwandlungseinsatz bemerkbar. Die netzgebundene Wärmeversorgung nimmt sowohl in Fernwärme- als auch in Nahwärmenetzen ebenfalls stark zu. Der Bedarf kommt hier insbesondere aus dem Gebäudebereich sowie der Industrie. Die Versorgung erfolgt unter der Hebung regionaler Abwärmepotenziale, dem Einsatz von Großwärmepumpen und der Auskoppelung von Wärme in KWK-Anlagen.

Abbildung 28: Nachfrageentwicklung Strom und Fernwärme

2019 – 2040, in TWh, Rheinland-Pfalz

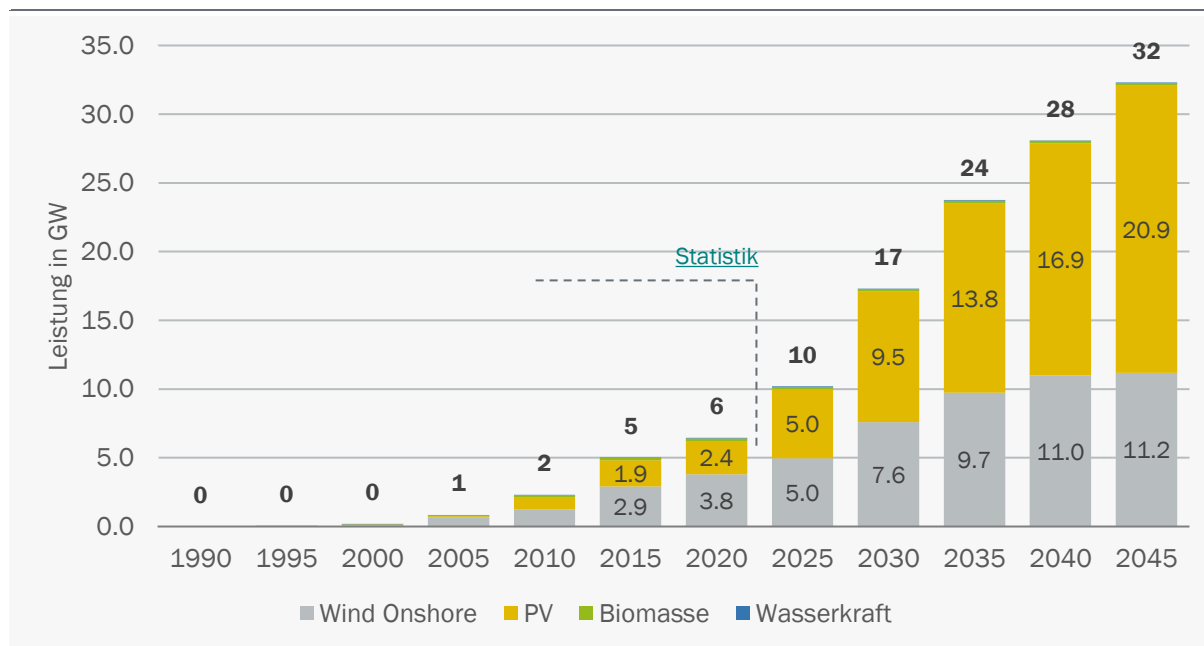


Quelle: Eigene Berechnung Prognos

Rheinland-Pfalz strebt laut dem Koalitionsvertrag der Landesregierung 2021 ein treibhausgas-neutrales Stromsystem bis 2030 an. Der Koalitionsvertrag schreibt einen Ausbau der wichtigsten erneuerbaren Erzeugungstechnologien (Wind an Land und PV) von jeweils 500 MW pro Jahr vor. In dem vorliegenden Szenario wurden die jährlichen Ausbauziele ab 2025 übernommen. Aktuell sind die Ausschreibungen bundesweit stark unterzeichnet. Laut Marktstammdatenregister sind ab dem 31.12.2021 in Rheinland-Pfalz Windenergieanlagen mit einer Nettonennleistung von 57 MW in Betrieb genommen worden (Stand Oktober 2022). Auch im Jahr 2021 lag die Inbetriebnahme von 68 MW Nennleistung stark hinter den angestrebten Zubauzahlen. Wie in Abbildung 29 abgebildet, steigt die installierte Leistung zur erneuerbaren Stromerzeugung in dem vorliegenden Szenario auf 9,5 GW Photovoltaik respektive 7,8 GW Windenergie an Land im Jahr 2030 an.

Abbildung 29: Installierte Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

1990 – 2045, in GW, Rheinland-Pfalz



Quelle: Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2020 EEG in Zahlen.

Als Konsequenz des Ausbaus von Anlagen zur erneuerbaren Stromerzeugung nimmt die Stromerzeugung der öffentlichen Versorgung in Rheinland-Pfalz stark zu. In der Vergangenheit betrug die Erzeugung aus den Wärmekraftwerken der öffentlichen Versorgung etwa 5 TWh, mit einem Maximum der Stromerzeugung von 6,2 TWh in 2005. Seit 2005 nimmt die Erzeugung aus Wärmekraftwerken der öffentlichen Versorgung stetig ab, hat aber seit 2015 wieder einen leichten Anstieg. Die meist entlang der Mosel verteilten Wasserkraftwerke produzieren jährlich etwa 30 GWh. Die Stromproduktion betrug 2019 7,3 TWh aus Windenergie bzw. 2,2 TWh aus PV. Diese Werte steigen perspektivisch stark an, so dass unter der Voraussetzung des oben dargestellten Ausbaus bis 2030 mit 18,5 TWh bzw. 8,5 TWh aus Windenergie und PV zu rechnen ist.

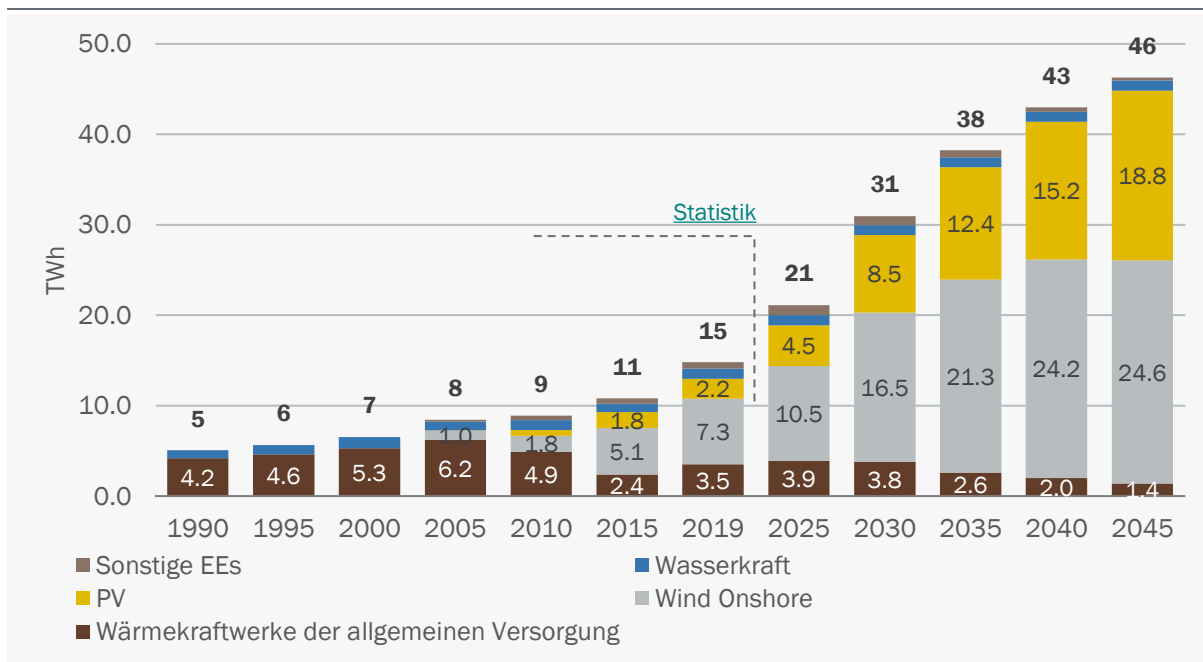
Insgesamt steigt damit die Stromerzeugung in Rheinland-Pfalz auf ein Niveau von rund 30 TWh bis 2030 an. 2040 wird eine Produktion im Land von etwa 43 TWh erwartet. Die Stromerzeugung aus Wärmekraftwerken nimmt kurz- und mittelfristig weiter leicht zu, da sie im europäischen Strommarkt auf Kapazitätsverminderungen (Atomkraft, Kohle) reagieren und häufiger zum Einsatz kommen. Langfristig nimmt die Produktion allerdings ab, da nach einem starken Erneuerbare Energien-Ausbau Wärmekraftwerke nur noch in wenigen Stunden notwendig sind, um die Stromnachfrage zu decken. Im Falle von KWK-Anlagen beschränkt sich diese Zeit insbesondere auf Wintermonate, in denen gleichzeitig eine Wärmenachfrage zu decken ist.

Die bestehenden gasbefeuerten Wärmekraftwerke werden perspektivisch mit Wasserstoff und/oder Ammoniak betrieben werden müssen, um die Restemissionen der thermischen Stromerzeugung unter Verwendung von Erdgas zu vermeiden. In diesem Szenario erfolgt der Einsatz von Wasserstoff in Gaskraftwerken ab dem Jahr 2030 und wird in den Folgejahren kontinuierlich gesteigert. 2040 bleibt noch ein Restanteil an Stromerzeugung in Wärmekraftwerken der allgemeinen Versorgung von 2 TWh. Unter der Prämisse, dass der Anteil der Abfallverbrennung etwa

konstant bei 0,3 TWh liegt, hieße dies ein Einsatz je nach Wirkungsgrad der Anlagen von 4,5 – 5 TWh Wasserstoff.

Abbildung 30: Stromerzeugung im Sektor Energiewirtschaft

1990 – 2045, in TWh, Rheinland-Pfalz

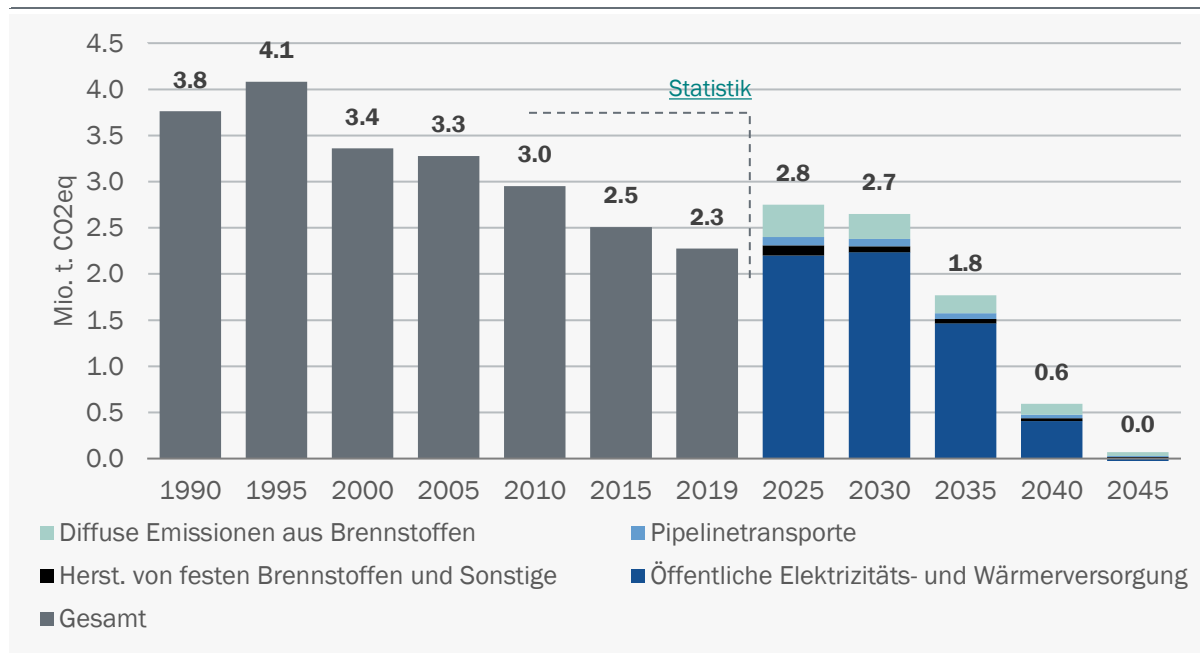


Quelle: Eigene Darstellung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

In Summe nehmen die Treibhausgasemissionen aus dem Sektor Energiewirtschaft im Zeitraum zwischen 2025 und 2030 leicht zu, da aufgrund des Ausstiegs von Kohlekraftwerken und Atomkraft in Deutschland und dem europäischen Verbundnetz insgesamt Gaskraftwerke mehr zum Einsatz kommen. Langfristig nehmen sowohl die Einsatzstunden fossil-thermischer Kraftwerke ab, und der Brennstoff wird, wo es möglich ist, auf Wasserstoff umgestellt, was sich ebenfalls in der Entwicklung der Treibhausgasemissionen widerspiegelt.

Abbildung 31: Treibhausgasemissionen im Sektor Energiewirtschaft

1990 – 2045, in Mio. t. CO₂eq, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

2.2.5 Landwirtschaft

Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft umfassen laut Bundesklimaschutzgesetz 2021 (KSG 2021) die nicht-verbrennungsbedingten Emissionen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten (CRF 3) wie Methan-Emissionen von Wiederkäuern sowie der Stickstoffemissionen durch während der Lagerung und Ausbringung von Düngemitteln sowie verbrennungsbedingte Emissionen aus stationären und mobilen Quellen (CRF 1.A.4.c). Letztere werden im Nationalen Inventarbericht nicht der Landwirtschaft, sondern dem Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) zugeordnet.

Das KSG 2021 sieht für den Sektor Landwirtschaft auf Bundesebene abnehmende Emissionsgrenzen bis 2030 von 70 Mio. t CO₂eq im Jahr 2020 auf 56 Mio. t CO₂eq im Jahr 2030 vor. Das Emissionsziel bis 2030 entspricht bundesweit einer Minderung von etwa 37 Prozent und ist damit geringer als in den meisten anderen Sektoren. Die Schwierigkeit in der Dekarbonisierung der Landwirtschaft ist offensichtlich, da viele Aktivitäten der Landwirtschaft wie beispielsweise die Tierhaltung nicht ohne Emissionen stattfinden können.

Die Maßnahmen auf Bundesebene enthalten laut Projektionsbericht 2021 (PB 2021) vor allem Elemente der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) auf EU-Ebene sowie dem Ordnungsrecht. Wesentliches Element der GAP ist die Entkopplung wettbewerbsverzerrender Direktzahlungen. Ein weiteres Element ist die Beendigung der Milchquotenregelung, welches ein Ende der Ausdehnung der Milchproduktion herbeiführen soll. Im Bereich des Ordnungsrechts ist die Düngeverordnung zu nennen, welche erhöhte Anforderungen bei der Düngeplanung einfordert. Ebenfalls im Bereich

des Ordnungsrechts sind die Stoffstrombilanzverordnung sowie die Umsetzung der NEC-Richtlinie¹⁶.

Die im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung (KSP 2021) genannten Maßnahmen haben zum Ziel, das Zieldreieck aus Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit zu wahren. Das KSP sieht keine erhebliche Produktionseinschränkung vor.

Um bis 2045 bundesweite Treibhausgasneutralität zu erlangen, sind in dem regionalisierten Szenario darüber hinaus weitere Maßnahmen analog zu der detaillierten Sektor-Betrachtung des Öko-Instituts (2021) angenommen worden. Die Maßnahmen decken sich mit bereits im Projektionsbericht 2021 erhaltenen Maßnahmen, und gehen teilweise darüber hinaus. Laut Öko-Institut gliedern sich die Maßnahmen in 3 Kategorien: Technische Maßnahmen wie bspw. bauliche Maßnahmen oder Brennstoffersatz durch Elektrifizierung, Reduktion des Stickstoffeinsatzes etwa bei der Wirtschaftsdüngerausbringung sowie Produktionsumstellungen. Letztere zielen auf eine unabdingbare Reduktion der Tierbestände, um hierdurch Methan-Emissionen der Wiederkäuer, Stickstoffemissionen tierischer Exkremente sowie Acker- und Grünlandnutzung auf Moorstandorten zu verringern.

Tabelle 9: Maßnahmen im Sektor Landwirtschaft

Technische Maßnahmen

- Bauliche Maßnahmen zur Vermeidung indirekter Emissionen aus dem Stall
 - Vermeidung indirekter Emissionen durch Ausbringung von Wirtschaftsdünger
 - Bessere Lagerung von Energiepflanzen und Wirtschaftsdünger
 - Kraft- und Brennstoffersatz durch Elektrifizierung bis 2040
-

Reduktion des Stickstoffeinsatzes

- Ausweitung der extensiveren Bewirtschaftungsverfahren durch ambitionierte Umsetzung der europäischen Agrarpolitik
 - Stickstoffreduzierte Fütterung bei Schweinen und Rindern
 - optimierte Wirtschaftsdüngerausbringung (Umsetzung Düngeverordnung und NEC-Richtlinie)
-

Produktionsumstellungen

- Reduktion der Tierbestände (Borchert – Kommission / „Planetary Health Diet“)
 - Verminderung CH₄ – Emissionen Wiederkäuer
 - Verminderung N₂O – Emissionen tierischer Exkremente
 - Verminderung Acker- und Grünlandnutzung auf Moorstandorten
-

■ Eigene Darstellung Prognos, Öko-Institut (2021).

Etwa 36 Prozent der Landesfläche des Bundeslandes Rheinland-Pfalz wird landwirtschaftlich genutzt. Charakteristisch für die Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz sind Intensivstandorte von Sonderkulturen (insbesondere Weinbau) und des Ackerbaus entlang der Flusstäler, Standorte des Marktfruchtbaus in den Höhengebieten sowie Standorte mit überwiegendem Futterbau (MWVLW 2022). Der Anteil der Ackerböden in Rheinland-Pfalz an den bundesweiten Ackerböden macht etwa 4 Prozent aus (Destatis 2021a). Rheinland-Pfalz hat überwiegend mineralische Böden und nur geringe Anteile an Moorböden. Der Anteil der meisten Tierbestände ist mit 2,6 Prozent bzw.

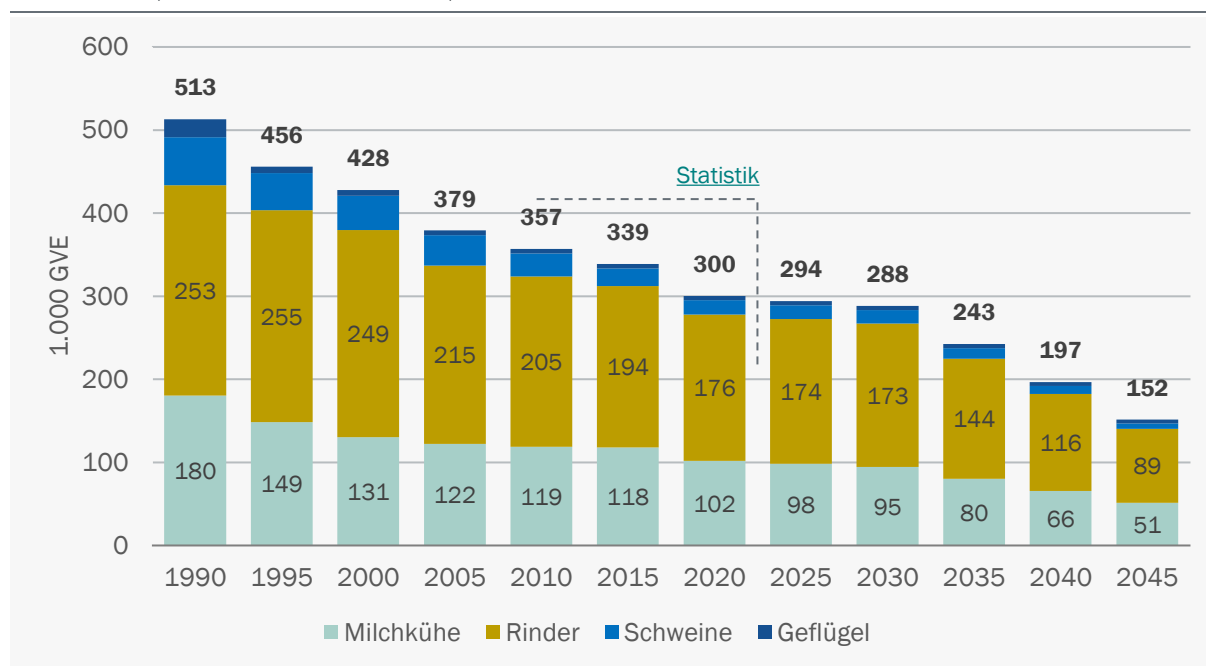
¹⁶ Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe

2,9 Prozent an den bundesweiten Beständen an Milchkühen und Rindern leicht geringer (Destatis 2021).

Die Umsetzung der oben diskutierten Maßnahmen führt bundesweit zu einer Reduktion der Tierbestände. Dies bewirkt wiederum eine Minderung der Emissionen aus der Fermentation wie auch indirekt auf die Emissionen landwirtschaftlicher Böden aus. Für Rheinland-Pfalz wurde eine Minderung der Tierbestände im Bundestrend über die verschiedenen Tierbestände angenommen. Insbesondere der Bestand an Milchkühen, aber auch an Rindern wird zwischen 2020 und 2045 fast halbiert.

Abbildung 32: Entwicklung der Tierbestände

1990 – 2045, in 1.000 Großvieheinheiten, Rheinland-Pfalz



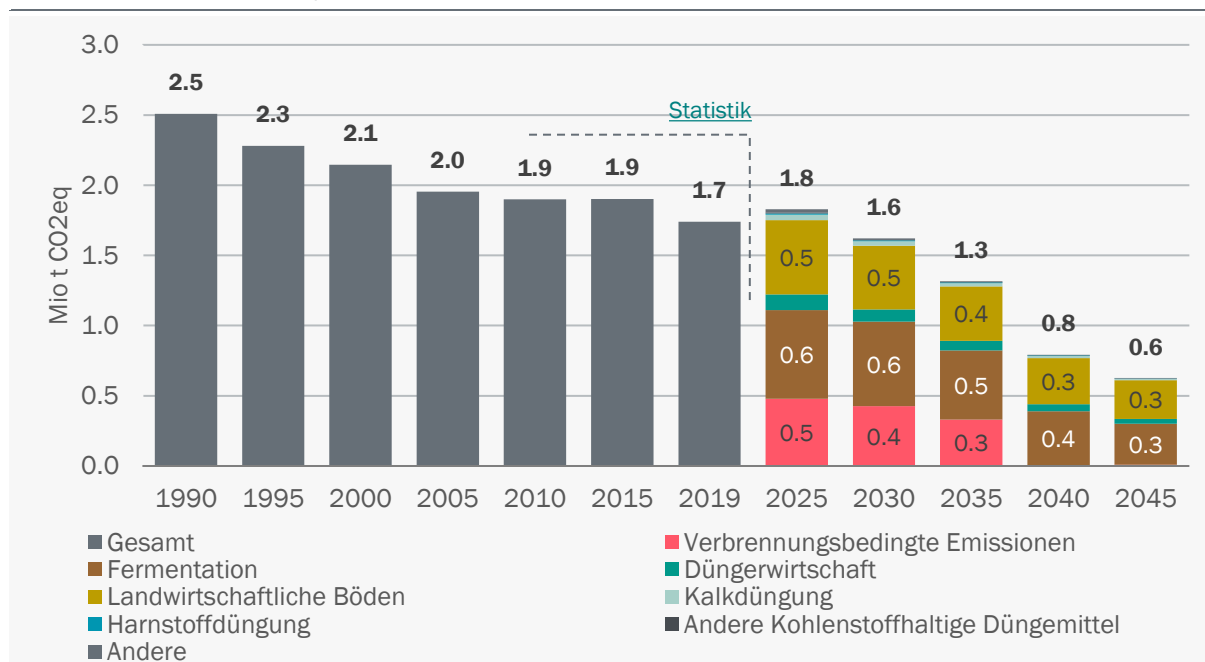
Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Destatis (fehlende Werte geschätzt)

Um die Treibhausgasneutralität bereits 2040 erreichen zu können, müssen einige Maßnahmen vorgezogen werden. Dies ist im Bereich Landwirtschaft für verbrennungsbedingte Emissionen der Fall. Um weitere Emissionen einzusparen, muss der Brennstoffwechsel bis 2040 vollzogen werden.

In Summe werden in dem Szenario die Emissionen im Bereich Landwirtschaft von 1,7 Mio. t CO₂eq im Jahr 2019 auf 1,6 Mio. t im Jahr 2030 sowie weiterhin auf 0,8 Mio. t CO₂eq verringert. Zwischen 2035 und 2040 werden die Restemissionen aus verbrennungsbedingten Prozessen schrittweise abgebaut. Durch die Reduktion des Düngemittleinsatzes sowie dessen effizienterem Einsatz können auch die Emissionen der Düngewirtschaft verringert werden. Ab 2040 bestehen die Emissionen im Bereich Landwirtschaft überwiegend aus Emissionen der Fermentation sowie der Tierhaltung, die als Restsockel in der Landwirtschaft unabdingbar sind.

Abbildung 33: Treibhausgasemissionen im Sektor Landwirtschaft

1990 – 2045, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Werte bis 2019 Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

2.2.6 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)

Die Treibhausgasbilanz im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft umfasst Emissionen und Speicherung von Treibhausgasen und aus den Landnutzungskategorien Wald, Acker, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen. Die Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre wird im Sprachgebrauch äquivalent mit „negativen Emissionen“ verwendet. Dies bezieht sich auf die Bindung von CO₂ in lebender und toter Biomasse, aber auch bspw. Lachgasemissionen durch die Mineralisierung von Stickstoff, Emissionen durch Waldbrände und weitere Kategorien. Weiterhin wird auch die Bindung von Kohlenstoff in Holzprodukten bilanziert.

In anderen Studien oder Abgrenzungen werden der Forstwirtschaft auch Substitutionseffekte angerechnet. Dies ist hier nicht der Fall. Die Vermeidung von Emissionen beispielsweise durch die Verwendung von Holz in der Baubranche und der Substitution von Zement drückt sich durch verringerte Emissionen in der Industrie aus, und wird nicht dem Sektor Forstwirtschaft zugerechnet.

Der Sektor LULUCF steht etwas gesondert in der bisherigen Bundes-Klimaschutzgesetzgebung. Im Nationalen Inventarbericht werden die Emissionen aus dem Sektor LULUCF nur nachrichtlich aufgeführt. Der Beitrag des Sektors LULUCF wurde erst in der Novellierung des KSG im Jahr 2021 aufgenommen. Der Sektor LULUCF hat keine zulässige Emissionsobergrenze zwischen 2020 und 2030 nach Anlage 2 des KSG 2021. Laut §3a soll jedoch der Mittelwert der jährlichen Emissionen des jeweiligen Zieljahres und der drei vorgehenden Kalenderjahre auf mindestens -25 Mio. t CO₂eq im Jahr 2030, auf mindestens -35 Mio. t CO₂eq im Jahr 2040 und auf mindestens -40 Mio. t CO₂eq im Jahr 2045 angehoben werden.

Maßnahmen im LULUCF-Sektor adressieren laut Projektionsbericht 2021 die Verhinderung weiterer Umwandlungen von Grünland in Ackerland, den Schutz organischer Böden (Moorstandorte),

die Reduzierung der Torfverwendung in Kultursubstraten und den Erhalt des Waldes als Senke (PB 2021). Diese Maßnahmen sind in das Bundesszenario übernommen worden.

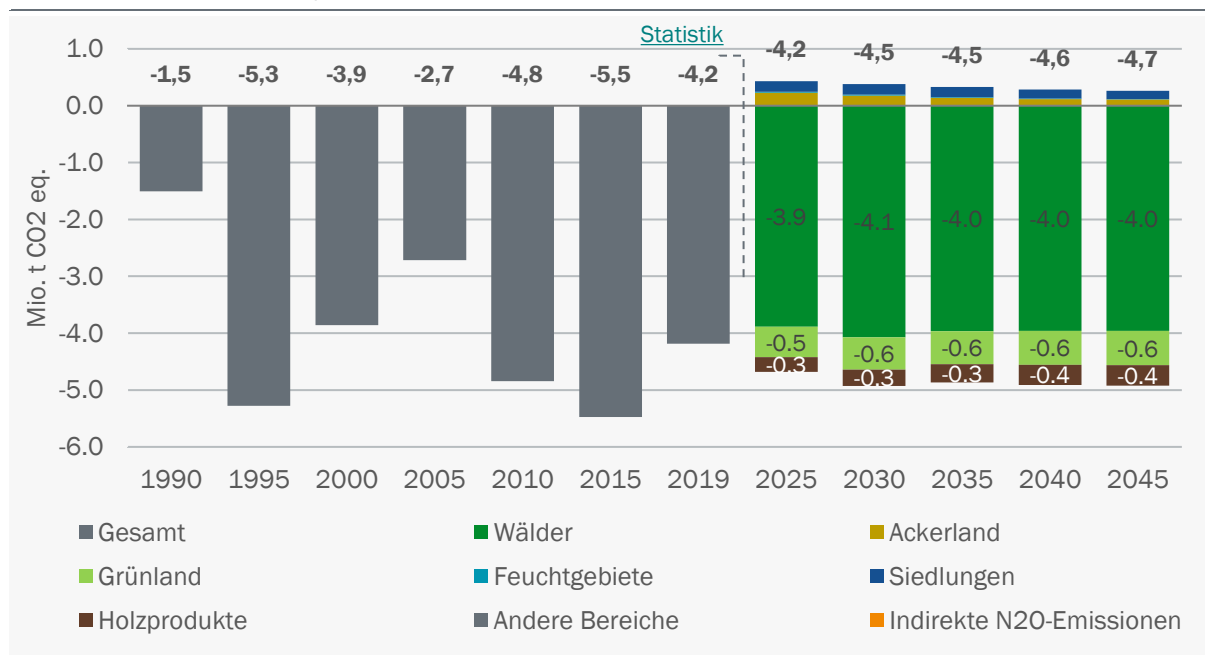
In Bezug auf Rheinland-Pfalz spielt die Kohlenstoffbindung in Waldgebieten im Bereich LULUCF die größte Rolle. Rheinland-Pfalz ist relativ gesehen das walddreichste Bundesland: Über 42 Prozent seiner Fläche sind mit Wald bedeckt. Ergebnisse des dritten Waldinventurberichts für Rheinland-Pfalz besagen zudem, dass der Anteil an Laubbäumen in Rheinland-Pfalz seit Einführung der Bundeswaldinventur stetig zunehmen und der Wald insgesamt seine Holzvorräte weiter ausbaut. (MULEWF 2014). Die neuesten Entwicklungen, auch über die seit 2018 andauernde Trockenperiode, wird am Ende der neuen Bundeswaldinventur vorliegen, deren Ergebnisse 2023 vorgelegt werden.

Bezogen auf die Landnutzungsstruktur in Rheinland-Pfalz ergibt sich im Sektor LULUCF für Rheinland-Pfalz eine stabile Entwicklung der Kohlenstoffeinsparungen. Die im KSG geforderte Ausweitung der Senkenwirkung des Sektors LULUCF geht insbesondere auf die Wiedervernässung von Moorböden und Entwicklungen auf organischen Böden zurück, die in Rheinland-Pfalz quasi nicht anzutreffen sind. Für den Wald in Rheinland-Pfalz wird die etwa stabile Senkenwirkung, die auch auf Bundesebene angestrebt wird, übernommen. In den weiteren Landnutzungskategorien ergeben sich nur geringfügige Änderungen.

Eine Studie der Universität Hamburg (Mues et al., 2017) kommt ebenfalls zu dem Ergebnis eines hohen Beitrags des Waldes in Rheinland-Pfalz zum Klimaschutz. In der Studie werden verschiedene Bewirtschaftungsszenarien miteinander verglichen. Dabei ist zu sehen, dass ein hoher Holzeinschlag zwar zu Klimaschutz durch Substitutionseffekte führt, die Kohlenstoffeinlagerung im Wald durch die geringere Biomasse im Wald dabei allerdings abnimmt. Bei der Bewirtschaftung des Waldes ist demnach zwischen Biomasse-Aufbau und der Nutzung von Waldprodukten abzuwägen (Mues et al, 2017).

Abbildung 34: Treibhausgasemissionen im Sektor LULUCF

1990 – 2045, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

2.2.7 Abfall und Sonstige

Der Sektor Abfallwirtschaft und Sonstige spielt in Rheinland-Pfalz mit 0,6 Mio. t CO₂eq eine geringere Rolle. Die in Rheinland-Pfalz anfallenden Emissionen wurden hierfür anhand der Umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder (2022) anteilig geschätzt und anhand der Bundestrends fortgeschrieben.

Laut Bundesklimaschutzgesetz 2021 müssen die Emissionen aus dem Abfallsektor von 9 Mio. t CO₂eq im Jahr 2020 bis 2030 auf 4 Mio. t CO₂eq gesenkt werden. Heute fällt der stärkste Anteil an Treibhausgasemissionen innerhalb dieses Sektors bundesweit bei der Ablagerung von Abfällen und der Deponierung in Form von Methanemissionen an (etwa 7 Mio. t CO₂eq). Um die Emissionen in diesem Sektor zu verringern, ist es daher unablässig, Deponiebelüftungen zu erweitern und die Deponiegaserfassung zu optimieren.

Tabelle 10: Maßnahmen im Bereich Abfall und Sonstige

- Ausweitung der Deponiebelüftungsmaßnahmen
- Ausweitung der Maßnahmen zur optimierten Gaserfassung auf Deponien
- Optimierung der biologischen Abfallbehandlungsanlagen zur Abfallvergärung und Kompostierung durch (1) Verbesserung des Managements, (2) Reduktion von Leckagen, (3) Abdeckung der Lager, (4) Reduktion der Lebensmittelabfälle und damit Verringerung des biologischen Abfallaufkommens
- Optimierung der Abwasserentsorgung durch Anschluss von Klärgruben an die öffentliche Kanalisation, Abdeckung Schlammager in zentralen Kläranlagen etc.

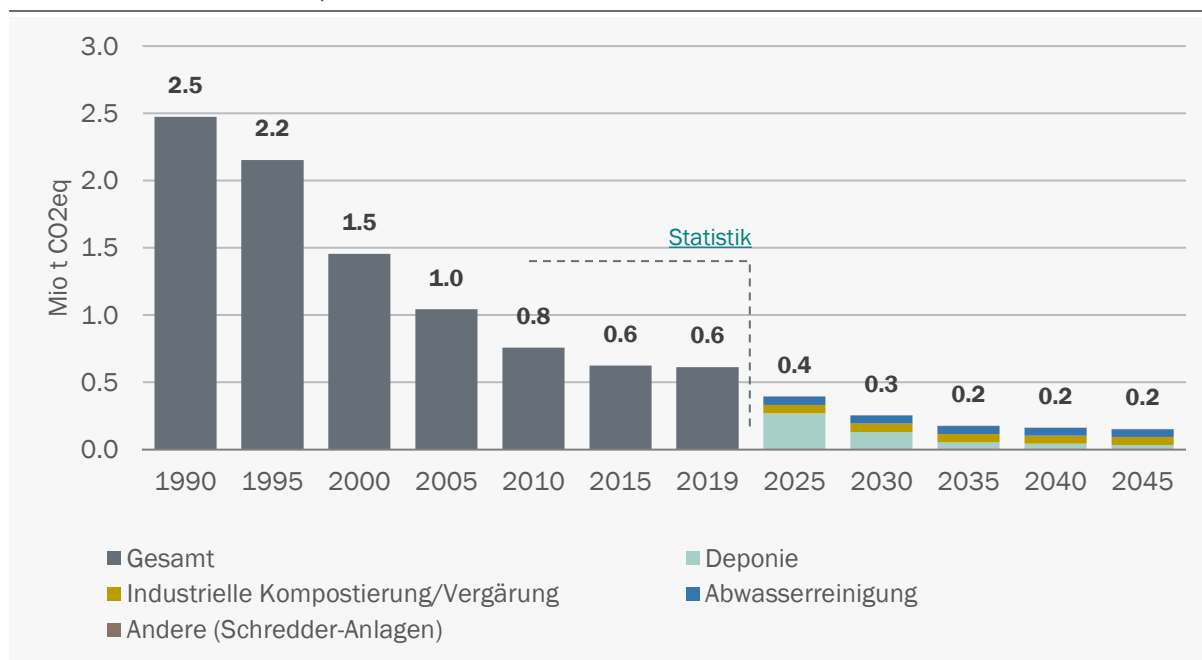
- Reduktion des Stickstoffgehalts des Abwassers durch verringerte Proteinaufnahme durch Reduktion des Konsums tierischer Produkte

Eigene Darstellung Prognos

Im Ergebnis wird angenommen, dass durch die Umsetzung der Maßnahmen in Rheinland-Pfalz eine substantielle Reduktion der Emission im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstige möglich ist. Bis 2030 können durch die Maßnahmen die Emissionen von 0,6 Mio. t CO₂eq in 2019 auf 0,3 Mio. t CO₂eq in 2030 halbiert werden. Bis 2040 ist eine Verringerung um weiterhin 0,1 Mio. t CO₂eq möglich.

Abbildung 35: Treibhausgasemissionen im Sektor Abfallwirtschaft und Sonstige

1990 – 2045, in Mio. t. CO₂eq, Rheinland-Pfalz



Eigene Berechnung Prognos, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz

2.3 Sektorale Emissionsziele

Aus den unter 2.2 beschriebenen sektoralen Emissionsentwicklungen lassen sich sektorale Emissionsziele für Rheinland-Pfalz ableiten, um eine Treibhausgasneutralität bis 2040 zu erreichen. Im Gegensatz zu dem beschriebenen Szenario werden hierbei Landwirtschaft und LULUCF zusammengelegt. Alle weiteren Sektoren bleiben wie im restlichen Dokument beschrieben, bestehen.

Die Emissionsziele geben eine Einsparung von rund 8 Mio. t CO₂eq je 5 Jahre für Rheinland-Pfalz vor. 2025 beträgt die Emissionsgrenze 24,3 Mio. t CO₂eq, 2030 16,6 Mio. t CO₂eq, 2035 8,3 Mio. t CO₂eq, um schließlich eine bilanzielle Treibhausgasneutralität unter Einschluss des LULUCF-Bereichs im Jahr 2040 zu erreichen.

Der stärkste Emissionsrückgang ist für den Sektor Industrie erforderlich. Dieser hat Emissionsobergrenzen von 10,4 Mio. t CO₂eq in 2025, 7,9 Mio. t CO₂eq in 2030, 4,8 Mio. t CO₂eq in 2035 und schließlich 1,0 Mio. t CO₂eq in 2040. Damit ist dies eine Reduktion von rund 3 Mio. t CO₂eq alle 5 Jahre.

Ein weiterer starker Rückgang ist für den Verkehrssektor notwendig. Dieser hat Emissionsobergrenzen von 7,6 Mio. t CO₂eq in 2025, 5,0 Mio. t CO₂eq in 2030, 2,3 Mio. t CO₂eq in 2035 und schließlich 0,6 Mio. t CO₂eq in 2040. Damit ist dies eine Reduktion von rund 2,5 Mio. t CO₂eq alle 5 Jahre.

Die Emissionsobergrenzen für den Sektor Gebäude betragen 5,5 Mio. t CO₂eq in 2025, 3,7 Mio. t CO₂eq in 2030, 2,5 Mio. t CO₂eq in 2035 und 1,4 Mio. t CO₂eq in 2040. Hiermit hat der Sektor Gebäude die noch höchsten Emissionen 2040 vorzuweisen. Die Emissionsobergrenzen für den Sektor Energiewirtschaft betragen 2,8 Mio. t CO₂eq in 2025, 2,7 Mio. t CO₂eq in 2030, 1,8 Mio. t CO₂eq in 2035 und 0,6 Mio. t CO₂eq in 2040.

Tabelle 11: Sektorale Emissionsziele Rheinland-Pfalz

2025 – 2040, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz

Sektor	2025	2030	2035	2040
Energiewirtschaft	2,8	2,7	1,8	0,6
Industrie	10,4	7,9	4,8	1,0
Verkehr	7,6	5,0	2,3	0,6
Gebäude	5,5	3,7	2,5	1,4
Landwirtschaft	1,8	1,6	1,3	0,8
LULUCF	-4,2	-4,5	-4,5	-4,6
Abfallwirtschaft und Sonstige	0,4	0,3	0,2	0,2
Gesamt	24,3	16,6	8,3	-0,1

Quelle: Eigene Darstellung Prognos

Die Emissionsobergrenze im Sektor Landwirtschaft beträgt 1,8 Mio. t CO₂eq in 2025 und sinkt graduell auf 0,8 Mio. t CO₂eq in 2040. Die Senkenfunktion des Sektors LULUCF weitet sich leicht aus mit -4,2 Mio. t CO₂eq in 2025 und -4,6 Mio. t CO₂eq in 2040. Der Sektor Abfallwirtschaft und

Sonstige sieht eine geringe Minderung der Emissionsobergrenze von 0,4 Mio. t CO₂eq in 2025 auf 0,2 Mio. t CO₂eq in 2040.

2.4 Treibhausgasneutralität vor 2040

Der Koalitionsvertrag des Bundeslandes Rheinland-Pfalz von 2021 sieht vor, bilanzielle Treibhausgasneutralität zwischen 2035 und 2040 zu erreichen. Die unter Kap. 2.3 vorgestellten Treibhausgasemissionsgrenzen beziehen sich auf eine Treibhausgasneutralität 2040. Dieses Szenario steht weitestgehend im Einklang des beschriebenen Szenarios auf Bundesebene (Kapitel 2.1). Eine schnellere Dekarbonisierung bereits vor 2040 würde eine schnellere Dekarbonisierung abseits der Bundesziele erfordern.

Abbildung 36: Emissionsentwicklung Rheinland-Pfalz 2035 – 2040

2035 – 2040, in Mio. t CO₂eq, Rheinland-Pfalz

	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Verbrennungsbedingte Emissionen						
Energiewirtschaft	1,6	1,4	1,2	0,9	0,6	0,5
Industrie	3,5	3,1	2,7	1,7	1,3	0,0
...Grundstoffchemie	0,6	0,4	0,3	-0,2	-0,3	-0,4
...Mineralische Ind.	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2
...Industriekraftwerke	1,7	1,6	1,6	1,2	1,0	0,0
Verkehr	2,3	1,8	1,4	1,0	0,8	0,6
...Straßenverkehr	2,1	1,6	1,2	0,9	0,6	0,5
Gebäude	2,5	2,3	2,0	1,8	1,6	1,4
...Private Haushalte	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,0
Landwirtschaft	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,0
Nicht-verbrennungsbedingte Emissionen						
Industrieprozesse	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
...Mineralische Industrie	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
...Chemische Industrie	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Landwirtschaft	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8
...Fermentation	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
...Landwirt. Böden	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
LULUCF	-4,5	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6
Abfall	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Summe (mit LULUCF)	8,3	6,9	5,4	3,3	2,0	-0,1

Quelle: Eigene Berechnung Prognos

Die Bundesregierung plant, das Stromsystem in Deutschland bis 2035 weitestgehend klimaneutral zu gestalten. Dieses Vorhaben ist enorm ambitioniert. Heutige Entwicklungen – insbesondere beim Ausbau Erneuerbarer Energien – stehen noch nicht im Einklang mit einer solchen Zielerreichung. Wie Prognos (2022) aufgezeigt hat, sind für einen solchen Umbau bspw. sehr hohe Ausbauzahlen für die erneuerbare Stromerzeugung aus Windenergie und PV von Nöten.

Der Weg zur Treibhausgasneutralität führt in vielen Anwendungsbereichen über die Elektrifizierung der Anwendungsbereiche (bspw. Mobilität und Wärmebereitstellung). Dieser zusätzliche Strom müsste allerdings erneuerbar hergestellt werden, da ansonsten die Emissionen von CO₂ nur verlagert werden könnten. Dies wäre eine Verlagerung zwischen den Sektoren (da bspw. Gaskraftwerke der öffentlichen Versorgung stärker laufen würden) oder zwischen den Bundesländern, da der zusätzliche Verbrauch mit fossilen Anlagen außerhalb des Bundeslandes Rheinland-Pfalz produziert werden könnte. Das würde zwar die Landesbilanz verbessern, über die Landesgrenzen hinaus jedoch keinen Effekt erzielen und der weltweiten Klimaveränderung nicht entgegenwirken. Dieser „Rebound-Effekt“ ist bei zusätzlicher Elektrifizierung zwingend zu beachten.

Weitere Emissionsreduzierungen – um bereits zwischen 2035 und 2040 in Rheinland-Pfalz bilanzielle Treibhausgasneutralität zu erlangen, müssten in einer Größenordnung zwischen 8,3 Mio. t CO₂eq und 2 Mio. t CO₂eq umgesetzt werden. Hierzu wären weitere Abweichungen, bzw. landesspezifische Maßnahmen in allen Bereichen notwendig. Im Wesentlichen würden zusätzliche Einsparungen nur durch einen schnelleren Brennstoffwechsel, Energieeinsparungen oder CO₂-Festsetzung bzw. -Abscheidung möglich sein. Letzteres könnte auch auf natürliche Weise durch Ausweitung der Senkenwirkung umgesetzt werden, was allerdings zusätzliche Maßnahmen der Waldbewirtschaftung u.ä. notwendig machen würde.

Verkehr

Im Sektor Verkehr betragen 2035 die Restemissionen 2,3 Mio. t CO₂eq. Hiervon entfallen 1,5 Mio. t auf den Kraftstoffverbrauch im PKW-Verkehr. Der Anteil der elektrischen PKW in Rheinland-Pfalz beträgt zu diesem Zeitpunkt 59 Prozent am Gesamtbestand der PKW in Rheinland-Pfalz (etwa 2,4 Mio.). Um eine Emissionsreduktion von 0,5 Mio. t CO₂ zu erwirken, müsste der Anteil der batteriebetriebenen PKW um etwa 300.000 zu diesem Zeitpunkt erhöht werden, um einen Anteil elektrischer PKW am Gesamtbestand vom 73 Prozent zu erlangen.

Eine weitere Möglichkeit weiterer Einsparung im Sektor Verkehr wäre eine höhere Beimischungsquote alternativer Kraftstoffe. 2035 werden noch etwa 30,8 PJ fossiler Kraftstoffe in Rheinland-Pfalz verbraucht. Der Verbrauch biogener und synthetischer Kraftstoffe beläuft sich auf etwa 11,8 PJ. Der fossile Kraftstoffmix hat einen Emissionsfaktor von etwa 0,7 Mio. t CO₂ / PJ. Um auf eine Emissionsreduktion von 0,5 Mio. t CO₂ zu kommen, wäre ein Ersatz von 7 PJ fossiler Kraftstoffe durch biogene oder synthetische Kraftstoffe notwendig. Das wären 59 Prozent mehr alternativer Kraftstoffe als im Ausgangsszenario (und einem Anteil von 44 Prozent alternativer Kraftstoffe gegenüber 17 Prozent im Ausgangsszenario) und käme zum Beispiel auf den Landwirtschaftssektor zusätzlich hinzu bzw. konkurriert mit der Produktion von Nahrungsmitteln.

Gebäude

Im Sektor Gebäude sind 2035 noch Restemissionen von 2,5 Mio. t CO₂eq zu verzeichnen. 2,3 Mio. t CO₂eq entfallen hiervon auf die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser. Der Anteil der fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl an der Raumwärme- und Warmwassererzeugung beträgt 2035 noch 26 Prozent und 9 Prozent. Um im Sektor Gebäude bereits 2035 auf das Emissionsniveau von 2040 zu kommen, wären zusätzliche Einsparungen von 1,2 Mio. t CO₂eq in der Raumwärme- und Warmwassererzeugung notwendig.

Für eine schnellere Zielerreichung mittels einer stärkeren Verschiebung von fossilen Wärmeerzeugern müssten rund 17 Prozent der beheizten Fläche zusätzlich mit Wärmepumpen versorgt werden (und entsprechend müsste der Anteil der fossilen Wärmeerzeuger rund 17 Prozent abnehmen). Im Mittel werden in einem Jahr rund 4 Prozent der Wärmeerzeuger ausgetauscht. Für einen

zusätzlichen Anteil in Höhe von 17 Prozent an der Beheizungsstruktur dürfte eine Verkürzung der technischen Lebensdauer der Anlagen notwendig sein, um einen höheren Ersatz anzureizen.

Industrie

Auf den Sektor Industrie entfallen 2035 noch 4,8 Mio. t CO₂eq. 3,5 Mio. t CO₂eq entfallen dabei auf verbrennungsbedingte Prozesse. Prinzipiell wäre eine frühere Verringerung der Emissionen im Sektor Industrie wie in den davor genannten Sektoren durch eine schnellere Änderungsrate bei Prozessumstellungen oder -einführungen möglich.

Das Abscheidelevel von CO₂ beträgt wie im Szenario beschrieben 2035 je nach Industriezweig 30 bis 45 Prozent. Die Einführung der Abscheidevorrichtungen wird stückweise angenommen und wird bis 2040 noch auf 60 bis 68 Prozent ausgeweitet. Das Vorziehen der Abscheideraten könnte zu zusätzlichen Einsparungen von 0,71 Mio. t CO₂eq führen (0,27 Mio. t CO₂eq in der Grundstoff-Chemie, 0,37 Mio. t CO₂eq in der Zementindustrie und 0,07 Mio. t CO₂eq in der Kalkindustrie).

Eine weitere Möglichkeit wäre ein schnellerer Brennstoffwechsel in der Grundstoffchemie durch den Ersatz von Erdgas durch Wasserstoff. 2035 sind 14,5 PJ Erdgas substituierbar. Hierdurch könnten 0,81 Mio. t. CO₂eq eingespart werden.

3 Handlungsrahmen der Landespolitik

Das Land Rheinland-Pfalz hat bereits 2014 ein eigenes Klimaschutzgesetz verabschiedet, welches die Erarbeitung eines Klimaschutzkonzeptes mit umfassendem Maßnahmenkatalog beinhaltet. Das Klimaschutzkonzept bewegt sich in dem Handlungsrahmen, der aus den Zuständigkeiten der verschiedenen gesetzgeberischen Instanzen (Europäische Union, Bundesrepublik Deutschland, Bundesländer und Kommunen) resultiert (MKUEM 2021).

3.1 Verteilung klimapolitischer Kompetenzen

Die klimapolitischen Kompetenzen des Landes werden zwischen gesetzgeberischen Kompetenzen und Kompetenzen in der Verwaltung unterschieden. Bei der Gesetzgebung eröffnen sich Möglichkeiten der eigenen Gesetzgebung wie auch der Mitwirkung bei der Gesetzgebung auf Bundesebene über den Bundesrat. Bei der Verwaltung lassen sich die Kompetenzen der Länder weiter in den Vollzug als auch die nicht-gesetzesvollziehende Verwaltung unterteilen. Letzteres beinhaltet auch die wichtige Instrumentengruppe der Bundesländer in Form informativer Instrumente. Hierbei können Länder durch Kampagnen und Beratung verschiedene Zielgruppen zum Klimaschutz anregen bzw. für eine bessere Umsetzung sorgen.

Abbildung 37: Handlungsmöglichkeiten der Bundesländer im Klimaschutz



Quelle: Umweltbundesamt 2011

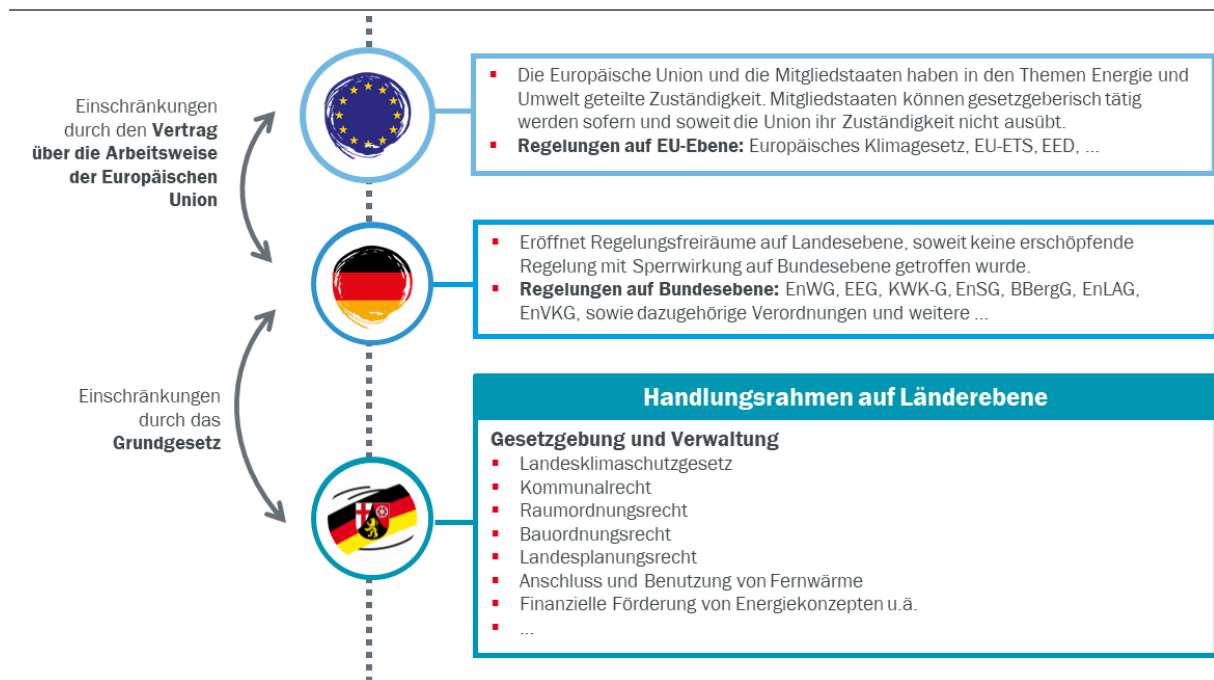
Die Gesetzgebung in Bezug auf Energiewende und Klimaschutz ist – was die Verteilung der Kompetenzen anbelangt – auf verschiedene Ebenen verteilt. Zum einen haben die Mitgliedstaaten der Europäischen Union nur dort eine Rechtsetzungsbefugnis, wo keine abschließende Regelung auf EU-Ebene besteht (Art. 2 Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union, AEUV).

Ähnliches gilt wiederum für die Aufteilung der Rechtsetzungsbefugnis zwischen Bund und Ländern in Deutschland: Hier haben die Länder Gesetzgebungsrecht, insofern dies nicht explizit dem

Bund verliehen wurde (Art. 70 Grundgesetz Absatz 1). Ferner gibt es einen Unterschied bezüglich der Zuständigkeit von Bund und Ländern in der Gesetzgebung, was ausschließende und konkurrierende Gesetzgebung betrifft. Im Bereich der ausschließlichen Gesetzgebung haben Länder die Befugnis zur Gesetzgebung nur, wenn sie in einem Bundesgesetz dazu ermächtigt werden (Art. 71 Grundgesetz). Im Bereich der konkurrierenden Gesetzgebung haben die Länder die Befugnis zur Gesetzgebung, solange und soweit der Bund von seiner Gesetzgebungszuständigkeit nicht durch Gesetz Gebrauch gemacht hat. (Art. 72 Grundgesetz).

Energiepolitische Fragestellungen sind primär eine Kompetenz des Bundes. In Artikel 74 des Grundgesetzes Abs. 1 Nr. 11 wird die Energiewirtschaft als ein Bereich konkurrierender Gesetzgebung genannt. Energiewirtschaft bezieht sich hierbei auf die Erzeugung, Leitung, Speicherung, Verteilung und Sicherung von Energie. Die meisten Aspekte dieses Kompetenztitels werden durch Bundesrecht ausgefüllt (Münzner 2016). So ist beispielsweise der Gesamtkomplex des Energieregulierungsrechts der Strom- und Gaswirtschaft durch das Energiewirtschaftsrecht und daraus folgenden Rechtsverordnungen abschließend geregelt. Auch im Energiesteuerrecht hat der Bund durch das Energiesteuergesetz und das Stromsteuergesetz von seinen Kompetenzen Gebrauch gemacht.

Abbildung 38: Kompetenz im Bereich Klimaschutz und Energie



Quelle: Eigene Darstellung

In einigen Bereichen haben jedoch auch die Bundesländer Spielraum, z.B. die Raumordnung und das Bauordnungsrecht betreffend. Ebenso ist die kommunale Energiewirtschaft zum Teil dem Energiewirtschaftsrecht, zum Teil allerdings auch dem Kommunalrecht der Länder (Münzner 2016). Aus Art. 74 Abs. 1 Nr. 24 GG ergeben sich zudem Möglichkeiten für die Bundesländer, den Klimaschutz als Element der Luftreinhaltung zu beeinflussen (Hübner, 2014).

Die Bauordnungs- und Raumordnungskompetenz ermöglicht den Ländern zudem Einfluss auf Infrastruktur mit Energie- und Klimarelevanz zu nehmen. Zum einen dient das Landesplanungsrecht zur landesweiten Standortsteuerung emissionsintensiver Industrieanlagen, Windenergiewerken, Freiflächen für die Photovoltaik und der Verkehrsinfrastruktur. Zum anderen ist das Bauordnungsrecht der Länder zur Verankerung von Vorschriften geeignet, die die Nutzung und Einsparung von Energie in Gebäuden betreffen, etwa in Gestalt einer Rechtsgrundlage für örtliche Bauvorschriften (Münzner 2016).

Des Weiteren wird im EnWG zwar die Versorgung der leitungsgebundenen Energieträger Strom und Gas geregelt, nicht aber der leitungsgebundenen Wärme, was Möglichkeiten für die Bundesländer eröffnet. Damit haben die Länder nicht nur die Möglichkeit, z. B. eine Rechtsgrundlage für einen Anschluss- und Benutzungszwang an Fernwärmenetze zu erlassen, sondern insgesamt eine umfassende Zuständigkeit, zugunsten von Netzstrukturen der öffentlichen Wärmeversorgung in eine landesweite Versorgungsplanung für Fernwärme einzutreten und insoweit z. B. den Kommunen Zielvorgaben vorzuschreiben (Münzner 2016).

Für Fördergesetze zur Energieeinsparung ist zwar auch der Bund zuständig, allerdings entfaltet dessen nichtgesetzliche Förderung keine Sperrwirkung und selbst die gesetzliche Förderung durch den Bund, z.B. durch den Energie- und Klimafonds, erschöpft diese Rechtsmaterie nicht. Ein Beispiel für die landesgesetzliche Förderung ist das Hessische Energiezukunftsgesetz, das beispielsweise Energiekonzepte finanziell unterstützt. Auch der Bereich der gebäude- und anlagentechnischen Energieeinsparung bietet den Ländern einige Freiräume, da das Energieeinsparungsgesetz (EnEG) und die Energieeinsparungsverordnung (EnEV) aufgrund der Vorbehaltsklauseln in den §§ 1 Abs. 3, 2 Abs. 4, 3 Abs. 3 EnEG nur als Mindestanforderungen zu verstehen sind. Landesvorschriften zur Energieeinsparung bei baulichem Wärmeschutz, heizungs- und raumlufttechnischen Anlagen sind daher zulässig, soweit sie höhere Anforderungen aufstellen.

Die Kompetenzen der Länder für Regelungen zur Nutzung und zum Schutz der Wälder ergeben sich aus dem Bundeswaldgesetz. In diesem werden den Landesbehörden explizit weitreichende Kompetenzen in der Erhaltung des Waldes und deren Bewirtschaftung zugeteilt. Die Förderung der land- und forstwirtschaftlichen Erzeugung (ohne das Recht der Flurbereinigung), die Sicherung der Ernährung, die Ein- und Ausfuhr land- und forstwirtschaftlicher Erzeugnisse unterliegt laut Grundgesetz §74 wiederum der konkurrierenden Gesetzgebung.

3.2 Maßnahmen auf Landesebene

Für die Umsetzung der Zielsetzung eines klimaneutralen Rheinland-Pfalz bis 2040 sind weitere Maßnahmen auf Ebene der Landespolitik notwendig. Dies betrifft zum einen die Umsetzung auf Landesebene von auf Bundesebene beschlossenen Maßnahmen. Um das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 auf Bundesebene zu erreichen, sind bereits viele Maßnahmen der Landespolitik notwendig. Steigert das Bundesland die zeitliche Ambition und im Vergleich zur Bundesebene, sind zusätzliche Maßnahmen notwendig. Teilweise wäre es hier auch notwendig, Maßnahmen im Kompetenzbereich der Landesregierung verstärkt umzusetzen, da auf andere Bereiche nur indirekt und damit mit weniger Umsetzungssicherheit Einfluss ausgeübt werden kann.

Die Ausgestaltung der Maßnahmen liegt nicht im Umfang dieses Arbeitsauftrages. Im Folgenden werden daher Bereiche beschrieben, in denen Maßnahmen auf Landesebene umgesetzt werden müssen und die für die Umsetzung der Klimaschutzziele wichtig sind oder es werden können. Wie

die gesetzliche Ausgestaltung im speziellen erfolgen muss, um eine möglichst große Hebelwirkung auf die Veränderungsprozesse zu erreichen, ist in sich komplex und wird durch die Aufteilung der Kompetenzen zwischen den unterschiedlichen Regierungsebenen noch erschwert.

Planung und Koordinierung auf Landesebene

Eine erste, übergeordnete Maßnahme ist daher mindestens die weiterführende Arbeit der Neuaufgabe eines konkreten Maßnahmenkatalogs in Form des in Rheinland-Pfalz erarbeiteten Klimaschutzkonzepts. Da die Erarbeitung allerdings aktuell nur im vierjährigen Takt erfolgt, wäre zudem eine Umstellung auf eine kontinuierliche Erarbeitung konkreter Maßnahmen in Form eines Registers mit beratlicher Prüfung beispielsweise ein Format, mit dem Planung konkreter Maßnahmen auf Landesebene unter Berücksichtigung des Handlungsrahmens noch schneller erfolgen kann. Das Land kann weiterhin Informationsforen schaffen, um teils auf kommunaler Ebene stattfindende Prozesse im Land zu koordinieren.

Infrastrukturelle Maßnahmen

Maßgeblich für den Erfolg der Umsetzung der Energiewende beziehungsweise der Transformation der Volkswirtschaft zum Erreichen der Treibhausgasneutralität ist die Bereitstellung zentraler Infrastruktur. Diese ist unabdingbar für die Verteilung von leitungsgebundenen Energieträgern. Dies betrifft unter anderem den Ausbau eines Pipelinenetzes zur Wasserstoffversorgung, den Stromnetzausbau (des Übertragungsnetzes und insbesondere der Verteilnetze) sowie den Ausbau der Ladeinfrastruktur zur Elektromobilität. Hinzu kommen Infrastrukturen zum Transport von abgeschiedenem Kohlenstoff(dioxid).

Die Versorgung mit Wasserstoff ist in den Szenario-Betrachtungen insbesondere für die Industrie sowie für Kraftwerke vorgesehen. Eine Produktion von Wasserstoff kann vor Ort direkt erfolgen, allerdings ist sie in dem Maßstab, in dem die Abnahme der Endkunden erwartet wird, vermutlich nicht umsetzbar und in Bezug auf die Auslegung des Stromsystems nicht optimal. Ein Wasserstoffbezug der großen Abnehmer entlang des Rheins über eine zentrale Infrastruktur ist daher eine notwendige Kondition für die Umstellung von chemischen Prozessen und Kraftwerken. Die Bereitstellung der Infrastruktur müsste zwischen 2030 und 2035 erfolgen, um die Prozessumstellungen zu ermöglichen.

Durch die Elektrifizierung von Anwendungen im Mobilitäts- und Wärmebereich entstehen viele neue Abnehmer, welche im Verteilnetz angeschlossen sind. Gleichzeitig sind PV- und Windenergieanlagen als Erzeuger ebenfalls im Verteilnetz angeschlossen. Es entsteht ein deutlich höherer Kapazitätsbedarf an diese Netze, um die zukünftige Stromnachfrage zu decken. Die Maßnahmen der Verteilnetzstudie Rheinland-Pfalz (Energynautics 2014) sind grundsätzlich richtig. Der 2014 publizierte Studie lag dabei allerdings noch ein Ausbau der Photovoltaik bis 2030 von 5,5 GW zugrunde. In dem oben beschriebenen Szenario beträgt dieser Wert 9,5 GW. Auch auf Abnehmerseite ist nach Zielverschärfung eine schnellere Elektrifizierung notwendig.

Anlehnend an den Verteilnetzausbau ist für die Umsetzung der Verkehrswende der Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektromobilität eine zentrale Maßnahme. Ein genügend hoher Ausbau von Ladeinfrastruktur wird oft als notwendige Voraussetzung für den Umstieg auf elektrisch betriebene Fahrzeuge gesehen. In diesem Bereich – wie auch in anderen Aspekten der Mobilität wie beispielsweise der Verkehrsplanung – haben insbesondere Kommunen einen hohen Gestaltungsspielraum. Doch auch das Bundesland kann durch Informationen und Koordinierung die Umsetzung beeinflussen.

Eine weitere, wenn auch oft etwas dezentralere Infrastruktur, ist die Bereitstellung von Wärmenetzen. Dies ist insbesondere für die Umstellung der Wärmeversorgung im Gebäudebereich und andererseits zur Versorgung der Industrie sowie ggf. zur Nutzung industrieller Abwärme notwendig. Für die Wärmeversorgung im Gebäudebereich erfolgt die Umstellung in Summe graduell.

Raumordnung

Eine wichtige Kompetenz der Länder in der gesetzgeberischen Gestaltung, um den Klimawandel sowohl zu reduzieren (Mitigation) als auch sich an dessen Folgen anzupassen (Adaptation) bietet die Raumordnung. Diese kann sowohl Elemente der Raumplanung als auch beispielsweise Elemente der Bauleitplanung beinhalten.

Ein Instrument der Raumordnung in Rheinland-Pfalz ist das Landesentwicklungsprogramm. Das rheinland-pfälzische Landesentwicklungsprogramm (LEP) wurde 2008 erstellt und seitdem mehrmals fortgeschrieben. Die Landesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, Wind- und Solarenergie in Rheinland-Pfalz kräftig auszubauen. So soll bis 2030 eine Verdopplung der installierten Leistung bei Windenergie und eine Verdreifachung bei der Solarenergie erreicht werden. Es wird eine bilanzielle Treibhausgasneutralität bis spätestens im Jahr 2040 angestrebt. Mit der seit 31. Januar 2023 verbindlichen vierten Teilfortschreibung des LEP (LEP IV) werden umfangreich neue Potenzialflächen und Suchräume für die Windenergie eröffnet.

Bezüglich des Ausbaus erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen sieht das oben dargestellte Szenario ähnliche Ausbauzahlen bis 2030 für Rheinland-Pfalz vor. Nach dem Windenergieflächenbedarfsgesetz sollen in Rheinland-Pfalz 2,2 Prozent der Landesfläche bis 2032 ausgewiesen werden. Inwieweit rechtswirksam ausgewiesene Flächen tatsächlich für die Errichtung von Windenergieanlagen genutzt werden können, hängt allerdings von weiteren Faktoren ab. Die Bandbreite der Nicht-Nutzbarkeit kann laut Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses zwischen Ländern und Regionen stark variieren. Gründe für die fehlende Nutzbarkeit sind laut dem Bericht vor allem genehmigungsrechtliche Restriktionen (z.B. aufgrund von Belangen des Artenschutzes, militärischen Belangen oder Belangen der Luftfahrt). Weiter sind Projekte auf einzelnen Flächen unwirtschaftlich, meist aufgrund zu schlechter Windbedingungen. Teilweise sind ausgewiesene Flächen auch nicht nutzbar, da erforderliche Nutzungs-, Wege- oder Leitungsrechte auf angrenzenden Flächen nicht erteilt wurden (BLK 2021; UBA 2019).

Neben der Flächenverfügbarkeit für Erneuerbare Energien beeinflusst die Raumordnung auch Aktivitäten, Energienachfrage und Versorgung in anderen Sektoren, wie beispielsweise der Energienachfrage in Gebäuden durch Festlegungen in der anzustrebenden Siedlungsstruktur.

Land- und Forstwirtschaft

Zentrales Element zur Erreichung der bilanziellen Treibhausgasneutralität bis 2040 in Rheinland-Pfalz bei einer bilanziellen Treibhausgasneutralität des Bundes in 2045 ist die Anrechnung der Treibhausgassenke. In dem Szenario wird angenommen, dass die Waldsenke in der gegenwärtigen Stärke etwa erhalten bleibt, bzw. sich sogar minimal ausweitet. Der Erhalt der Senkenleistung des Waldes bei gleichzeitigem Klimawandel (und dessen Auswirkungen wie Dürreperioden oder Orkanen) erfordert eine aktive Förderung von Maßnahmen hin zu einem klimaresistenten Waldbestand. Auch bei der wirtschaftlichen Nutzung des Waldes muss die Beeinträchtigung der reinen Kohlenstoffsенke durch die Biomasse des Waldes berücksichtigt werden. In Summe muss

die Resilienz der Wälder und deren Anpassungsfähigkeit an Trocken- und Hitzestress durch Gesetzgebung erhöht werden. Gleichzeitig sollten die Nutzungs-, Schutz- und Erholungsfunktionen sowie die biologische Vielfalt des Waldes langfristig gesichert werden.

4 Ergebnisse der Stakeholder-Beteiligung

Eine Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung der Sektorziele für ein klimaneutrales Rheinland-Pfalz zwischen 2035 und 2040 ist, dass die jeweiligen regionalen Schlüssel-Akteure der einzelnen Sektoren in der Lage sind oder frühzeitig in die Lage versetzt werden, die vorgesehenen Emissionsminderungen/Sektorziele zu erreichen:

- Die **Erfordernisse für die Umsetzung** sollten von Anfang an auch für die Szenarien-Berechnungen bekannt sein.
- Es sollten **Lösungen für offensichtliche Hindernisse** gemeinsam mit den Schlüssel-Akteuren gesucht und diskutiert werden, um offensichtliche Hindernisse frühzeitig aus dem Weg zu räumen. Das schließt die rechtzeitige Schaffung von regionalspezifische Voraussetzungen mit ein.
- Maßgeblich für die Umsetzung ist zudem, dass eine **möglichst weitreichende Akzeptanz** der vorgesehenen Emissionsminderungen/Sektorziele und ihrer zugehörigen Handlungserfordernisse bei allen jeweils relevanten zugehörigen Verbänden, Vertretern bzw. Interessengruppen erzielt wird.

4.1 Vorgehen

Vor diesem Hintergrund wurden die Zwischenergebnisse der „Ermittlung von sektorspezifischen Treibhausgasemissionsgrenzen für das Erreichen eines klimaneutralen Rheinland-Pfalz zwischen 2035 und 2040“ relevanten, regionalen Stakeholdern aus den Sektoren Energie, Industrie, Gebäude, Verkehr sowie Land- und Forstwirtschaft jeweils in einem **sektorspezifischen Fachworkshop** vorgestellt und die Rückmeldungen für die weitere Entwicklung mit einbezogen. Anschließend wurden die Herausforderungen für die avisierte Umsetzung und mögliche Lösungswege gemeinsam diskutiert. Für den Sektor Industrie wurde ein zweiter Fachworkshop durchgeführt. Insgesamt wurden somit 6 Fachworkshop durchgeführt.

Die Fachworkshops hatten das Ziel, die Stakeholder auf dem Weg zur „Festlegung von Sektorzielen für Rheinland-Pfalz als Selbstverpflichtung des Landes“ frühzeitig einzubinden, sie mitzunehmen, diesbezüglich den Austausch mit der Landesregierung zu initiieren und Herausforderungen und potenzielle Lösungswege zu kommunizieren. In den Fachworkshops wurden gemeinsam jeweils

- Rückfragen zu den sektorspezifischen Ergebnissen geklärt,
- allgemeine Fragen aufgenommen,
- die sektorspezifischen Bedürfnisse und Herausforderungen für die Umsetzung der Sektorziele herausgearbeitet sowie
- mögliche, sektorspezifische Lösungsansätze zur Reduzierung der sektorspezifischen Treibhausgasemissionen entwickelt.

Im Prozess der Fortschreibung des Landesklimaschutzgesetzes, der dem Projekt zur Ermittlung sektorspezifischer Treibhausgasemissionsgrenzen für Rheinland-Pfalz nachfolgt, werden unabhängig von den bisherigen Fachworkshops im Rahmen der Studie im Zuge des Beteiligungsprozesses alle Verbände und Interessengruppen erneut eingebunden.

4.2 Zusammenfassung der Ergebnisse nach Sektoren

Nachfolgend werden für jeden Sektor wesentliche Diskussionspunkte und Anregungen aus dem Kreis der Stakeholder zusammengefasst.

4.2.1 Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Energiewirtschaft

- Regionalen Zubau von Erneuerbaren Energien steigern
 - öffentliche und private Flächen sichern bzw. ausweiten
 - Artenschutz und Energieerzeugung zusammen denken
 - Akzeptanz steigern
- Speichermöglichkeiten integrieren
- Verteilnetze ausbauen
- Bürokratische Hürden identifizieren
- Verwaltungsprozesse anpassen und beschleunigen
- Fachkräftemangel entgegenwirken

Vorschläge für Wege zur Umsetzung

- Machbarkeitsstudie Kleinwärmenetze
- Dezentrale Nahwärme-Konzepte mit Wasserstoff
- Teilnutzungsplan PV/Privilegierung PV-Flächen
- EE-Cluster (Erneuerbare Energien Cluster)
- Sanierungsförderung im Wohnungsbestand
- Finanzierungsmöglichkeiten für Geothermie
- Fachkräftemangel in Behörden beheben
- Genehmigungsverfahren beschleunigen
- EE-Nutzungspflichten im Gebäudebereich (bspw. Aufdach-PV)

4.2.2 Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Industrie

Schwerpunkt des ersten Fachworkshops mit der Industrie war das Anliegen, eine transparente und gemeinsame Datenbasis zu Art und Menge der künftig erforderlichen Energieträger als Grundlage für eine Weichenstellung zur Treibhausgasreduzierung und damit verbundene Maßnahmen zu nutzen. Der Wunsch der Industrie war, dass insbesondere der Bedarf an Wasserstoff und seine „Quellen“ bei der Fortschreibung des Landesklimaschutzgesetzes berücksichtigt werden sollte, wozu eine weitere Studie speziell für diesen Aspekt von einem anderen Dienstleister angefertigt wurde. Einige Fragen stellten sich: So war unklar, wie der systemische Modellierungsansatz der genannten Studie mit den (individuellen) Unternehmensentscheidungen (z.B. zur Wasserstoffnutzung) in Einklang gebracht werden kann. Zudem wurde gewünscht, bei der Ausarbeitung von Maßnahmen neben der Chemischen Industrie die anderen Branchen ebenfalls zu adressieren. Im zweiten Fachworkshop wurden die möglichen und notwendigen (technischen) Entwicklungen der verschiedenen Industrieprozesse im Detail vorgestellt und diskutiert. Dies betrifft vor

alle die Grundstoffchemie, aber auch andere energieintensive Branchen und Prozesse. Besonders wurde darauf hingewiesen, dass für die erforderlichen Mengen an Wasserstoff (insbesondere für die stoffliche Nutzung) entsprechende Rahmenbedingungen und Infrastruktur parallel entwickelt und aufgebaut werden müssen. Dasselbe gilt auch für die erforderliche Abscheidung von ansonsten nicht vermeidbaren Prozessemissionen, insbesondere in der Chemie- und Zementindustrie. Beide infrastrukturellen Fragen werden von der Bundesregierung mit entsprechender Strategieentwicklung (Wasserstoffstrategie und Carbon Management Strategie) adressiert. Der Prozess ist dynamisch; es wird Anliegen und Aufgabe der Industrie und der Landesregierung sein, die entsprechenden zeitlichen und mengenbezogenen Anforderungen in die Prozesse einzubringen.

Vorschläge für Wege zur Umsetzung

Es sollten Maßnahmen im Einklang mit der Wasserstoffstudie des Landes erarbeitet werden: Dazu sollen die Ergebnisse der Wasserstoffstudie mit den Ergebnissen der Szenarienrechnungen verglichen und ggf. Annahmen in den Szenarienrechnungen angepasst werden. Nach Prüfung weisen beide Studien im Rahmen der unterschiedlichen Ansätze dieselben Ergebnisse auf.

4.2.3 Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Gebäude

- Förderung gezielter und planbarer ausgestalten
- Regionale Verfügbarkeit von Materialien/Ressourcen klären und sichern
- Widersprüche in öffentlichen Ausschreibungen auflösen (z.B. zwischen Klimaschutz und Schallschutz)
- viele Gebäude sind in privatem Besitz, diese Akteure müssen mit den Maßnahmen erreicht werden

Vorschläge für Wege zur Umsetzung:

- Zuständigkeiten in der Landesregierung konzentrieren
- Regionale Kreislaufführung von Baustoffen und Bauabfällen intensivieren
- Bildungsoffensive zu Klimaschutz im Bau- und zu Nutzerverhalten (auch bei Architekten)
- Förderung anpassen, vereinfachen und verstetigen, Abläufe beschleunigen
- Förderung privater Eigentümer als one-stop-shop
- Ausbildungsoffensive im Bau, Handel u.a. für mehr Fachkräfte für Effizienz
- Regelwerke an „neues“ Bauen anpassen:
 - Landesklimaschutzgesetz LKSG: Vorrang für PV vor Denkmalschutz
 - Gesetzl. Regelung für Solarmodule von Mietern
 - Einsatz nachhaltiger Baustoffe auch ohne DIBT-Zulassung¹⁷
 - Regelwerke für Öffentliche Hand haushaltsunabhängig gestalten
 - Gemeinschaftsflächen für Baugemeinschaften
 - Klimaschutzanreize in Regelwerken ergänzen

4.2.4 Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Verkehr

- Regionale Umsetzungsziele für Modal-Split aufstellen, Bsp. Baden-Württemberg
> weniger MiV, klimagerechte Verteilung der Verkehrsflächen

¹⁷ DIBT: Deutsches Institut für Bautechnik

- Modal-Split im Güterverkehr
- Attraktives Carsharing auch in ländlicheren Regionen (funktioniert dann nur mit entsprechender Förderung)
- Ausbau Schienenverkehr, Radverkehr, Fußverkehr
- Innovationen im Schwerverkehr
- „Mut zur Veränderung“ / Klare Signale der Politik (Wenn das Klimaziel im Verkehr erreicht werden soll, geht es nicht so weiter wie bisher!)
- Verkehrswende sozial gerecht gestalten
- Personalmangel ist ein Problem (v.a. bei Infrastrukturprojekten)

Vorschläge für Wege zur Umsetzung:

- Vorteile des MiV verringern (weniger Parken, mehr Rad- und Schienenwege, ...)
- Regelwerke anpassen:
- E-Mobilität verlässlich absichern
- Verwaltungsvorschrift für Parkgebühren
- Vorgaben ändern (z.B. MiV darf keine Nachteile haben)
- Einfache Mobilität, v.a. ÖPNV-Nutzung vereinfachen (RLP-Tarif)
- Öffentlichkeits-Kampagne für klimafreundliche Mobilität
- Enge Kooperation von Verwaltung und Politik

4.2.5 Erfordernisse zur Umsetzung im Sektor Land- und Forstwirtschaft

Landwirtschaft

- Flächenkonkurrenz und Verlagerungseffekte berücksichtigen/aufheben
- Fehlende Infrastruktur für Elektrifizierung
- Druck und Abhängigkeit von Marktmechanismen
- Nahrungsmittelverwendung erhöhen

Forstwirtschaft

- Walderhalt und Waldmehrung
- Langfristige Holzproduktespeicher
- Mehr Austausch zwischen den Sektoren

Vorschläge für Wege zur Umsetzung

Landwirtschaft

- Agri-PV ermöglichen (Rechtsgrundlagen anpassen)
- Landwirtschaftliche Reststoffe aus Intensivkulturen (Gemüsebau) stofflich/energetisch verwerten
- Innerbetriebliche Kreislaufführung
- Emissionsmindernde Maßnahmen aus ökologischem Landbau auch in konventionellen Betrieben anwenden
- Energiespeicher auf den Betriebsstätten
- Bewässerung durch regenerative Energien und/oder neue Bewässerungssysteme
- Energieberatung für landwirtschaftliche Betriebe optimieren
- Grünlandnutzung extensivieren

Forstwirtschaft

- Klimastabile Wälder aufbauen (Standortangepasste Baumarten, mehr Jagd)
- Mehr stoffliche Nutzung von (Laub-)Holz
- Bauholzbedarf klären und sichern

Alle Eingeladenen erhielten im Nachgang die Ergebnisse ihres individuellen Workshops zugesandt und werden über den weiteren Prozess sowie die finalen Ergebnisse informiert.

5 Fazit

Die rheinland-pfälzische Landesregierung hat es sich im Koalitionsvertrag von 2021 zum Auftrag gemacht, das Landes Klimaschutzgesetz hinsichtlich der Klimazielverschärfung auf europäischer und Bundesebene fortzuschreiben. Analog zur Bundesgesetzgebung soll in Rheinland-Pfalz ein sektoraler Ansatz der Emissionsentwicklung gewählt werden: Das Ziel der landesweiten Treibhausgasneutralität wird auf sektorspezifische Zwischenziele runtergebrochen.

Um dem Umstand Rechnung zu tragen, dass viele THG-emittierende Aktivitäten nicht ausschließlich durch Landesgesetzgebung beeinflusst werden, wird das Szenario zur Darstellung der sektoralen Zielpfade in Rheinland-Pfalz als Regionalisierung eines Zielszenarios auf Bundesebene dargestellt. Das Szenario ist ein Zielszenario, welches aufzeigt, wie Deutschland insgesamt eine Treibhausgasneutralität gemäß dem Bundesklimaschutzgesetz erlangen kann. Das Szenario für Rheinland-Pfalz respektiert die sektorspezifischen Besonderheiten der Wirtschafts- und Sozialstruktur des Landes und zeigt einen Weg zur Treibhausgasneutralität Rheinland-Pfalz' - innerhalb der bundesdeutschen Entwicklungen der Treibhausgasneutralität bis 2045 – bis 2040 auf.

Quellenbilanzierte Treibhausgasneutralität bis 2040 in Rheinland-Pfalz zu erreichen, erscheint innerhalb der bundesdeutschen Ambition, bis 2045 Treibhausgasneutralität zu erreichen, möglich. Eine regionale Auswertung eines bundesweiten Zielszenarios für Rheinland-Pfalz verpasst um weniger als 1 Mio. t CO₂eq die Zielvorgabe für den Bilanzraum Rheinland-Pfalz. Mit zusätzlichen Maßnahmen in Rheinland-Pfalz können diese bis 2040 eingespart werden. Eine deutlich schnellere Treibhausgasneutralität bis 2035 erscheint anhand des Szenarios deutlich unwahrscheinlicher. Hierzu müssten in allen Sektoren weitere Einsparungen von 8,3 Mio. t CO₂eq im Bilanzraum Rheinland-Pfalz geschaffen werden. Dies erfordert Umstellungen auf der Aktivitätenebene, auf die Rheinland-Pfalz durch landesgesetzgeberische Kompetenzen nur bedingt einwirken kann.

Der Handlungsrahmen der Landespolitik im Bereich des Klimaschutzes ist vielfältig. Zum einen gibt es Handlungsmöglichkeiten im Rahmen der Gesetzgebung. Hier gibt es sowohl Möglichkeiten in der Landesgesetzgebung als auch der Mitwirkung des Landes im Bundesrat. Viele Bereiche des Klimaschutzes fallen unter die konkurrierende Gesetzgebung von Bund und Ländern, daher muss das Land genau prüfen, wo die Landesgesetzgebung Kompetenzen hat.

Das Land Rheinland-Pfalz trägt für die Umsetzung der Transformation zu einer treibhausgasneutralen Volkswirtschaft bis 2040 insbesondere eine starke Rolle in Planungs-, Koordinierungs- und Verwaltungsaufgaben, um die Transformationen bis zu den Zielvorgaben umzusetzen und in die Fläche zu tragen. Sehr wichtig für die Zielerreichung der Treibhausgasneutralität ist die Bereitstellung zentraler Infrastrukturen: Strom, Wasserstoff und Wärme werden zunehmend über Netze bereitgestellt. Deren Ausbau muss in gesellschaftlichen Prozessen ausgestaltet werden. Auch die Abscheidung von CO₂ und deren Transport über Pipelines ist Bestandteil eines zukünftigen Energiesystems und sollte frühzeitig angedacht werden. Mit der Raumordnung, und hier im speziellen dem Landesentwicklungsprogramm, kann das Land zum einen raumplanerisch im Bereich solcher Infrastrukturen als auch in anderen Bereichen aktiv werden (Siedlungsstruktur, Flächenbereitstellung für Erneuerbare). Schlussendlich ist in Rheinland-Pfalz eine Zielerreichung nur unter der Voraussetzung möglich, dass die natürliche Kohlenstoffsenke im Bereich der Forstwirtschaft mindestens in der heutigen Größenordnung erhalten bleibt.

Quellenverzeichnis

- BLK 2021 Bericht des Bund-Länder-Kooperationsausschusses zum Stand des Ausbaus der erneuerbaren Energien sowie zu Flächen, Planungen und Genehmigungen für die Windenergienutzung an Land an die Bundesregierung gemäß § 98 EEG 2021: Berichtsjahr 2021. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/EEG-Kooperationsausschuss/2021/bericht-bund-laender-kooperationsausschuss-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Destatis 2020 Pressemitteilung Nr. N 055 vom 11. September 2020: Pkw-Dichte in Deutschland in den vergangenen zehn Jahren um 12 % gestiegen. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/09/PD20_N055_461.html
- Destatis 2021 Fachserie 3 Reihe 4.1 Land und Forstwirtschaft, Fischerei: Viehbestand. https://www.destatis.de/DE/Service/Bibliothek/_publikationen-fachserienliste-3.html#_zeq8dyy04
- Destatis 2021b Flächennutzung: Bodenfläche nach Nutzungsarten und Bundesländern. <https://www.destatis.de/DE/TheMEN/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Tabellen/bodenflaeche-laender.html>
- Destatis 2022 31231-0003 Wohngebäude, Wohnungen, Wohnfläche: Bundesländer, Stichtag, Anzahl der Wohnungen. <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?sequenz=statistikTabellen&selectionname=31231#ab-readcrumb>
- Destatis 2022b 12421-0101 Vorausberechnete Privathaushalte: Bundesländer, Jahre, Varianten der Haushaltsvorausberechnung, Haushaltsgröße. <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=12421-0101> sowie 12421-0003 Vorausberechneter Bevölkerungsstand: Bundesländer, Stichtag, Varianten der Bevölkerungsvorausberechnung. <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=12421-0003>
- EPRS 2022 Fit for 55 Package. <https://epthinktank.eu/2022/06/05/fit-for-55-package/>
- GHG 2022 Greenhouse Gas Protocol: Standards. <https://ghgprotocol.org/standards>

Hübner 2014	Zum Umgang ausgewählter Bundesländer mit der Energiewende. https://regionalentwicklung-raumordnung.de/srl/2015/band-41-zum-umgang-ausgewaehlter-bundeslaender-mit-der-energiewende
Mues et al. 2017	Szenarienanalyse zur potenziellen Klimaschutzleistung des Clusters Forst/Holz Rheinland-Pfalz durch die Simulation alternativer Waldbewirtschaftungsmaßnahmen und Holzverwendungsoptionen. Projekt der Universität Hamburg in Zusammenarbeit mit Knauf Consulting gefördert durch das Land Rheinland-Pfalz. https://www.wald.rlp.de/de/bieten/fuer-gaeste-des-waldes/mediathek/wald-publikationen/publikationen-zum-klimaschutz/?download=StudieKlimaschutzForstHolzwirtschaft-RLP.pdf&did=623&cHash=5a873bef1bf8b56dada9b21e9a597732
KSG 2021	Bundesklimaschutzgesetz. https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/index.html
KSP 2021	Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050. https://www.bundesregierung.de/re-source/blob/974430/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1
LAK 2022	Methodik der CO ₂ -Bilanzen. https://www.lak-energiebilanzen.de/methodik-der-co2-bilanzen/
MKUEM 2012	Klimaschutzkonzept des Landes Rheinland-Pfalz: Strategie. https://mkuem.rlp.de/fileadmin/mulewf/Themen/Klima_und_Ressourcenschutz/Klimaschutz/Klimaschutzkonzept/Klimaschutzkonzept_Strategie_net_01_02_2021.pdf
MULEWF 2021	Rheinland-Pfalz ist das relativ walddreichste Bundesland in Deutschland. https://www.wald-rlp.de/de/wald/
Münzner 2016	Energie und Klima Ländersache: Landeskompetenzen zur Förderung von Energiewende und Klimaschutz. http://www.rescriptum.org/Aufs%C3%A4tze/2014_1_047_Muenzner.pdf
MWVLW 2021	Landwirtschaft. https://mwvlw.rlp.de/de/themen/landwirtschaft/
Öko-Institut 2021	Landwirtschaft auf dem Weg zum Klimaziel: Maßnahmen für Klimaneutralität bis 2045. https://www.oeko.de/publikationen/p-details/landwirtschaft-auf-dem-weg-zum-klimaziel

PB 2021	Projektionsbericht 2021 für Deutschland gemäß Artikel 18 der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über das Governance-System für die Energieunion und für den Klimaschutz, zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 663/2009 und (EG) Nr. 715/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie §10 (2) des Bundes-Klimaschutzgesetzes. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/projektionsbericht_2021_bf.pdf
Prognos, 2020	Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgenabschätzungen 2030/2050. https://www.prognos.com/de/projekt/energiewirtschaftliche-projektionen-20302050
Prognos 2022	Klimaneutrales Stromsystem 2035. https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_11_DE_KNStrom2035/A-EW_264_KNStrom2035_WEB.pdf
RLP 2021	Zukunftsvertrag Rheinland-Pfalz – 2021 bis 2026: Koalition des Aufbruchs und der Zukunftschancen https://www.rlp.de/fileadmin/rlp-stk/pdf-Dateien/Staatskanzlei/rlp_Koalitionsvertrag2021-2026.pdf
Samadi 2022	Klimaneutralität bis 2045 – Vergleich der Entwicklungen im Energiesystem in aktuellen Szenarien für Deutschland. https://www.energy4climate.nrw/fileadmin/Service/Publicationen/Ergebnisse_SCI4climate.NRW/Szenarien/2022/Samadi-Lechtenboehmer-2022-Klimaneutralitaet-bis-2045-Vergleich-der-Entwicklungen-im-Energiesystem-in-aktuellen-Szenarien-fuer-Deutschland-et.pdf
UBA 2011	Klimaschutzziele in den deutschen Bundesländern. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4146.pdf
UBA 2019	Analyse der kurz- und mittelfristigen Verfügbarkeit von Flächen für die Windenergienutzung an Land. https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/analyse-der-kurz-mittelfristigen-verfuegbarkeit-von
UBA 2022	Energiebedingte Emissionen. https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energiebedingte-emissionen
UGRdL 2021	Umweltekonomische Gesamtrechnung der Länder, Ausgabe 2021. https://www.statistikportal.de/de/veroeffentlichungen/umweltoekonomische-gesamtrechnungen-der-laender

UNFCCC 2006	Reporting Tables. https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/reporting-requirements
VWGdL 2021	Nominale Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftszweig und Bundesland. Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder, Berechnungsstand August 2020/Februar 2021. https://www.statistikportal.de/de/vgrdl

Impressum

Treibhausgasneutrales Rheinland-Pfalz 2035/2040

Ermittlung von sektorspezifischen Treibhausgasemissionsgrenzen für das Erreichen eines treibhausgasneutralen Rheinland-Pfalz zwischen 2035 und 2040.

Herausgeber

Prognos AG
St. Alban-Vorstadt 24, 4052 Basel, Schweiz
E-Mail: info@prognos.com
www.prognos.com
twitter.com/prognos_aG

Autoren

Auf der Maur, Alex
Falkenberg, Hanno
Kemmler, Dr. Andreas
Kirchner, Dr. Almut
Piégsa, Dr. Andreas
Saad, Dr. Noha
Struwe, Jutta

Satz und Layout: Prognos AG
Bildnachweis(e):

Copyright: April 2023, Prognos AG

Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Abbildungen und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der Prognos AG. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung der Prognos AG.

Zitate im Sinne von § 51 UrhG sollen mit folgender Quellenangabe versehen sein: Prognos AG/ (2023): Treibhausgasneutrales Rheinland-Pfalz 2035 / 2040, Ermittlung von sektorspezifischen Treibhausgasemissionsgrenzen für das Erreichen eines treibhausgasneutralen Rheinland-Pfalz zwischen 2035 und 2040.

Die Aufnahme in den öffentlichen Leihverkehr von Bibliotheken bleibt bis zum 30.06.2023 ausgeschlossen.