

ENDBERICHT

Auf dem Weg zur Treibhausgas- neutralität

STUDIE ZUR TRANSFORMATION DES FREISTAATS THÜRINGEN

Auftraggeber:

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und
Naturschutz

Leipzig, 09.09.2024 (I)

Projektpartner:

Prognos AG

Impressum

Auftraggeber

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz
Beethovenstraße 3
99096 Erfurt

Auftragnehmer

Leipziger Institut für Energie GmbH
Lessingstraße 2
04109 Leipzig

Unterauftragnehmer

Prognos AG
St. Alban-Vorstadt 24
CH-4052 Basel

Bearbeitung

Matthias Reichmuth
Telefon 03 41 / 22 47 62 25
E-Mail matthias.reichmuth@ie-leipzig.com

(Projektleitung)

Mitwirkung

Mohammad Alkasabreh (Prognos AG)
Marcel Ebert (IE Leipzig)
Dr. Andreas Kemmler (Prognos AG)
Robert Kießling (IE Leipzig)
Sven Kreidelmeyer (Prognos AG)
Sebastian Lübbers (Prognos AG)
Dr. Fabian Muralter (Prognos AG)
Dr. Alexander Piegsa (Prognos AG)
Minh Phuong Vu (Prognos AG)
Anne Scheuermann (IE Leipzig)
Alexander Schiffler (IE Leipzig)
Nils Thamling (Prognos AG)

Laufzeit

Dezember 2023 bis Juni 2024

Datum

09.09.2024

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	6
2 Methodische Grundlagen und Bestandsaufnahme	8
2.1 Treibhausgase	8
2.2 Sektoren und deren IPCC-Quellkategorien	10
2.3 Bilanzierungsprinzipien	12
2.4 Methodik	13
2.4.1 Methodik und Datengrundlagen der THG-Bilanz	13
2.4.2 Methodik THG-Szenarien	22
2.5 Analyse der Ausgangslage	24
2.5.1 Letzte verfügbare Energiebilanz	24
2.5.2 Annahmen zu den Jahren 2021 bis 2024	25
2.5.3 Sozioökonomische Rahmendaten	25
2.5.4 Strategien und Programme des Landes	32
3 THG-Minderungspfade in drei Szenarien	35
3.1 Sektor Energiewirtschaft	35
3.1.1 Referenzszenario	40
3.1.2 Zielszenario 2045	45
3.1.3 Zielszenario 2040	51
3.2 Sektor Industrie	56
3.2.1 Referenzszenario	58
3.2.2 Zielszenario 2045	62
3.2.3 Zielszenario 2040	66
3.3 Sektor Gebäude	68
3.3.1 Referenzszenario	70
3.3.2 Zielszenario 2045	75
3.3.3 Zielszenario 2040	78
3.4 Sektor Verkehr	81
3.4.1 Referenzszenario	83
3.4.2 Zielszenario 2045	86
3.4.3 Zielszenario 2040	91
3.5 Sektor Landwirtschaft	94
3.5.1 Referenzszenario	95
3.5.2 Zielszenario 2045	98
3.5.3 Zielszenario 2040	100

3.6 Sektor Sonstige	102
3.6.1 Referenzszenario	103
3.6.2 Zielszenario 2045	104
3.6.3 Zielszenario 2040	104
3.7 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)	105
3.7.1 Referenzszenario	108
3.7.2 Zielszenario 2045 und Zielszenario 2040	109
3.8 Zusammenfassung der Sektorpfade nach Szenarien	112
3.8.1 Zusammenfassung aller Sektoren	112
3.8.2 Bewertung wesentlicher Ziele des Thüringer Klimaschutzgesetzes	118
3.8.3 Bewertung der energiepolitischen Ziele der IEKS	121
3.8.4 Monitoring der Entwicklung	124
4 Entwicklungsnotwendigkeiten der Energieversorgung und der öffentlichen Infrastrukturen	126
4.1 Vorgehen und Methodik	126
4.2 Stromerzeugung	127
4.3 Stromnetze	129
4.4 Wasserstoffnetz	131
4.5 CO ₂ -Transport	133
4.6 Wärmenetze und Wärmeerzeugung	138
4.7 Weitere öffentliche Infrastrukturen	144
5 Maßnahmenvorschläge	146
5.1 Einleitung	146
5.1.1 Handlungsrahmen und Rolle der Maßnahmen	146
5.1.2 Kategorisierung und Bewertungsverfahren für die nachfolgenden Maßnahmen	148
5.2 Sektor Energiewirtschaft	150
5.2.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes	150
5.2.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge	150
5.2.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge	151
5.3 Sektor Industrie	153
5.3.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes	153
5.3.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge	153
5.3.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge	156
5.4 Sektor Gebäude	159
5.4.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes	159
5.4.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge	159
5.4.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge	161

5.5 Sektor Verkehr	164
5.5.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes	164
5.5.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge	164
5.5.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge	167
5.6 Sektor Landwirtschaft	170
5.6.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes	170
5.6.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge	171
5.6.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge	172
5.7 Sektor Sonstige	174
5.8 Sektor LULUCF	174
5.8.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes	174
5.8.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge	175
5.8.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge	175
5.9 Sektorübergreifende Maßnahmen	177
5.9.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes	177
5.9.2 Sektorübergreifende Maßnahmenvorschläge	177
5.9.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge	178
6 Investitions- und Finanzierungsanalyse zur Zielerreichung	182
6.1 Investitionsanalyse	182
6.2 Akteure und Finanzierung	187
6.3 Zusammenfassung und Ausblick	191
7 Verzeichnisse	192
Abkürzungsverzeichnis	193
Abbildungsverzeichnis	198
Tabellenverzeichnis	202
Glossar	204
Literaturverzeichnis	208
Anhang: Vorrangige Maßnahmen	219

Zusammenfassung

Die Studie „Auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität“ untersucht verschiedene Transformationsszenarien, durch die Thüringen bis 2045 bzw. 2040 treibhausgasneutral werden kann. Dabei werden die notwendigen Investitionen beleuchtet und Maßnahmen aufgezeigt, mit denen der Freistaat Thüringen zu diesen Zielen beitragen kann.

Die Thüringer Landesregierung hat sich in der Erklärung „Vom Wandel zum Fortschritt“ im Rahmen der Ettersburger Kabinettsklausur im Mai 2023 zu verstärkten Anstrengungen für die Energiewende und zur Treibhausgasneutralität bis 2045 bekannt. Der Thüringer Landtag hat die Landesregierung gebeten, in einer Studie die Entwicklungsnotwendigkeiten zu erheben, die im Zuge der Transformation auf Thüringen zukommen. Die vorliegende Studie dokumentiert die historische Treibhausgasbilanz für die Jahre 1990 bis 2020 und entwickelt drei Szenarien für die zukünftige Treibhausgasentwicklung, das Referenzszenario, das Zielszenario 2045 und das Zielszenario 2040. Dabei werden die Auswirkungen des Zielszenarios 2045 auf die Energieversorgung und die öffentliche Infrastruktur untersucht. Darüber hinaus werden konkrete Maßnahmevorschläge und notwendige Investitionen abgeleitet, um die angestrebten Klimaziele zu erreichen.

Ausgangslage

Unter Berücksichtigung der Senken (LULUCF) verringerten sich die THG-Emissionen Thüringens im Zeitraum 1990 bis 2020 um 18,4 Mio. t CO_{2äq} auf 13,5 Mio. t CO_{2äq} (- 57,7 %). Die Reduktion der THG-Emissionen in den energiebedingten Sektoren ist hauptsächlich auf den grundlegenden Wandel in der Energiewirtschaft zurückzuführen. Dieser Wandel betrifft sowohl die Bereitstellung von Energieträgern als

auch die Anwendung von Energie. Die Ursachen für diesen Wandel sind vielschichtig. Hierzu gehören gestiegene Anforderungen an die Effizienz im Rahmen der allgemeinen Wettbewerbsbedingungen auf den nationalen und internationalen Märkten, veränderte Bedingungen des Umweltschutzes und die Entwicklung der Energiepreise. Die nicht energiebedingten THG-Emissionen wurden vor allem durch die Reduzierung der Viehbestände in Thüringen (insbesondere Milchkühe und Rinder), den geringeren Einsatz von stickstoffhaltigem Mineraldünger sowie das Verbot der Deponierung unbehandelter organischer Abfälle bei gleichzeitiger verstärkter Nutzung von Deponiegas gesenkt. Die Reduktion der Senkenwirkung dieser positiven Entwicklung steht ein Rückgang der Kohlenstoffbindung im Wald gegenüber. Dies ist vor allem auf die verstärkte Nutzung von Schadholz, die Zunahme von Schadflächen sowie Vitalitäts- und Zuwachsverluste bei nahezu konstanter Waldfläche zurückzuführen. Die jährliche Kohlenstoffspeicherung im Wald hat somit kontinuierlich abgenommen, so dass die THG-Gesamtemissionen Thüringens seit 2007 wieder leicht angestiegen sind.

Minderungspfade für die Treibhausgase

Im Rahmen der Studie wurden drei Szenarien (Referenzszenario, Zielszenario 2045, Zielszenario 2040) für zukünftige THG-Emissionen entwickelt.

Referenzszenario: Das Referenzszenario beschreibt die erwartete Entwicklung, wenn alle derzeit auf EU- und Bundesebene beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen vollständig umgesetzt werden. Es orientiert sich an den übergeordneten Trends des Mit-Maßnahmen-Szenarios im Projektionsbericht 2023 der Bundesregierung [UBA 2023a]. Da die langfristige Umsetzung aller Maßnahmen noch nicht vollständig gesichert ist (z. B. der schnelle Ausbau der Elektromobilität bei Pkw), kann das Referenzszenario in Bezug auf die zukünftige Entwicklung der Treibhausgasemissionen als eher optimistisch betrachtet werden.

Die THG-Emissionen im Referenzszenario reduzieren sich unter Berücksichtigung von Senken (LULUCF) von 13,5 Mio. t CO_{2äq} im Jahr 2020 auf 6,7 Mio. t CO_{2äq} im Jahr 2045. Bis zum Jahr 2045 werden die THG-Emissionen gegenüber 1990 um 79,1 % (- 25,3 Mio. t CO_{2äq}) sinken.

Zielszenario 2045: Thüringen nimmt die Herausforderung des Klimawandels ernst und setzt sich ehrgeizige Ziele: Bis zum Jahr 2045 will das Land seine Treibhausgasemissionen in Übereinstimmung mit den nationalen Zielen auf null reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, ist eine umfassende Transformation aller Sektoren notwendig.

Die Umsetzung des Zielszenarios 2045 ermöglicht es, die THG-Emissionen unter Berücksichtigung der Senken (LULUCF) im Vergleich zu 1990 um 95 % (-30,4 Mio. t CO_{2äq}) auf 1,5 Mio. t CO_{2äq} bis zum Jahr 2045 zu reduzieren. Die Beiträge der Sektoren zur Erreichung der Treibhausgasneutralität sind in folgender Abbildung 1 dargestellt.

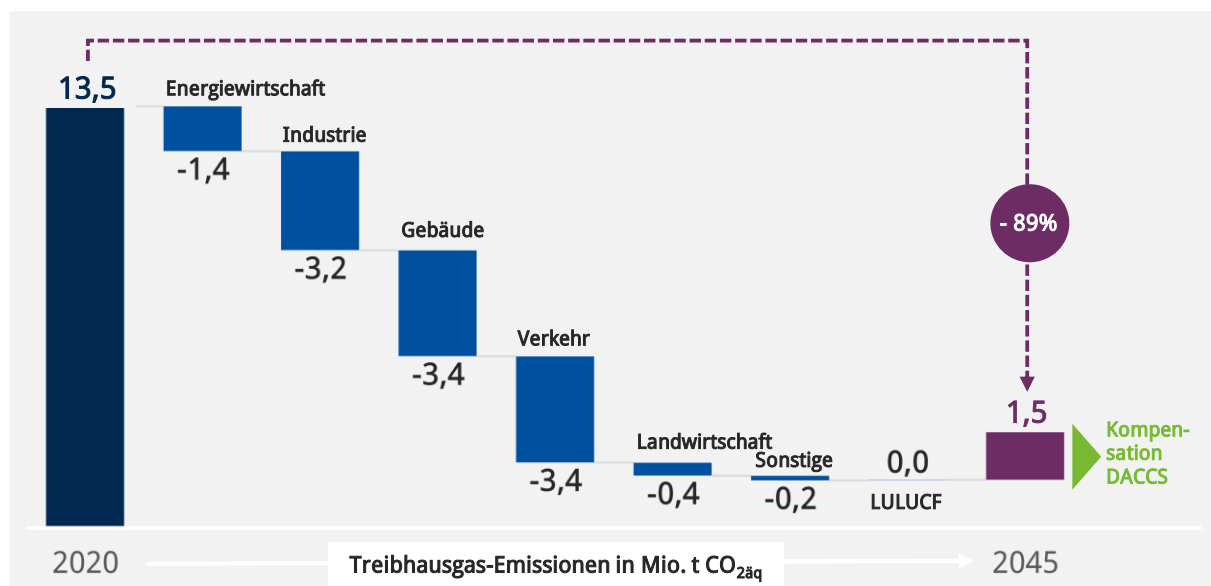


Abbildung 1 Beiträge der Sektoren zur Reduktion der THG-Emissionen im Zielszenario 2045

Quelle: Kapitel 3.1 bis 3.7, Darstellung IE Leipzig und Prognos AG

Im **Sektor Energiewirtschaft** steht der Ausbau der erneuerbaren Energien im Vordergrund. Wind- und Sonnenenergie sollen zu den wichtigsten Säulen der Thüringer Energieversorgung werden. Damit entwickelt sich der Freistaat vom Stromimporteur zum Stromexporteur. Der steigende Strombedarf durch neue Formen der Fernwärmeerzeugung und die Elektrifizierung von Prozessen und Mobilität wird durch die Stromerzeugung im eigenen Land gedeckt. Um fossile Energieträger auch in anderen Sektoren zu ersetzen, setzt Thüringen auf Wasserstoff und synthetische Kraftstoffe.

Der **Industriesektor** in Thüringen muss seine Produktionsprozesse energieeffizienter und klimaneutral gestalten. Dabei werden langfristige Trends in der Produktionsentwicklung berücksichtigt. Die Unternehmen setzen auf innovative Technologien, um den Energieverbrauch zu senken und auf erneuerbare Energien umzusteigen. Viele Produktionsprozesse werden elektrifiziert oder auf andere Weise auf THG-freie oder -arme Prozesse umgestellt. Bei Integration von CCS in die Produktionsprozesse kann die Industrie einen großen Teil ihrer verbleibenden Emissionen selbst kompensieren.

Im **Gebäudesektor** spielen verschärfte Effizienzvorschriften und das novellierte Gebäudeenergiegesetz des Bundes eine wichtige Rolle. Um den Energieverbrauch zu senken, wird die Gebäudesanierung vorangetrieben. Wärmenetze werden ausgebaut, um Gebäude klimaneutral mit Wärme zu versorgen. Im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen wird Prozesswärme zunehmend elektrisch bereitgestellt. Gasverteilnetze werden dagegen teilweise zurückgebaut.

Der **Verkehrssektor** steht vor einem tiefgreifenden Wandel. Sowohl im Straßen- als auch im Schienenverkehr spielt die Elektromobilität eine zentrale Rolle. Um

Verkehrsleistung einzusparen, fördert Thüringen die Dezentralisierung und regionale Lieferketten. Das Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln wird ausgebaut. Verbrennungsmotoren, insbesondere im Schwerlastverkehr, werden schrittweise auf synthetische Kraftstoffe auf Wasserstoffbasis umgestellt.

Die Thüringer **Landwirtschaft** soll ihren Beitrag zum Klimaschutz leisten. Der ökologische Landbau wird ausgeweitet und die Tierbestände werden reduziert. Der Einsatz von Stickstoffdünger wird reduziert und der Konsum tierischer Produkte sinkt. Trotz dieser Anstrengungen können die THG-Emissionen der Landwirtschaft zwischen 2020 und 2045 nur um 26 % gesenkt werden. Ein Teil der Emissionen bleibt vorerst unvermeidbar.

Im **LULUCF-Sektor**, der in Thüringen im Wesentlichen die Forstwirtschaft sowie die Kohlenstoffbindung im Boden umfasst, kommt den Wäldern eine besondere Bedeutung zu. Mindestens 5 % der Wälder werden der forstlichen Nutzung entzogen und nach FSC-Kriterien zertifiziert. Energieintensive Baustoffe werden durch Holz ersetzt.

Um die verbleibenden THG-Emissionen auch nach 2045 zu neutralisieren, muss Thüringen langfristig auf innovative Verfahren wie **DACCS (Direct Air Carbon Capture and Storage)** setzen. Mit diesen Technologien kann CO₂ direkt aus der Atmosphäre abgeschieden und gespeichert werden. Auch wenn ca. 7 % der THG-Emissionen von 1990 über das Zieljahr 2045 hinaus unvermeidbar sein werden, ist Thüringen auf einem guten Weg, das Ziel der Treibhausgasneutralität zu erreichen und seinen Beitrag zum globalen Klimaschutz zu leisten.

Zielszenario 2040: Das Zielszenario 2040 strebt die Treibhausgasneutralität fünf Jahre früher an als das

Zielszenario 2045. Um dieses ehrgeizige Ziel zu erreichen, wurden die Maßnahmen intensiviert und ihre Umsetzung beschleunigt. Die Annahmen des Zielszenarios 2045 bleiben weitgehend bestehen, werden aber schneller und umfassender umgesetzt. Dies bedeutet, dass höhere Durchdringungsraten von Technologien wie Querschnittstechnologien angenommen werden, um die Einsparziele früher zu erreichen und somit bis 2040 klimaneutral zu werden.

Die Umsetzung des Zielszenarios 2040 ermöglicht es, die THG-Emissionen unter Berücksichtigung der Senken (LULUCF) im Vergleich zu 1990 um 95 % (-30,4 Mio. t CO_{2äq}) auf 1,5 Mio. t CO_{2äq} bis zum Jahr 2040 zu reduzieren. Die verbleibenden THG-Emissionen müssen wie im Zielszenario 2045 mittels DACCS-Verfahren kompensiert werden.

Entwicklung der notwendigen Infrastrukturen

Die wesentlichen Säulen der Infrastrukturentwicklung und die dafür erforderlichen Investitionskosten zur Umsetzung des Zielszenarios 2045 umfassen

- den Zubau von Windenergieanlagen mit jährlich ca. 600 Mio. Euro (2025 bis 2040, danach deutlich abnehmend), gefolgt von
- PV-Anlagen mit jährlich ca. 250 Mio. Euro bis zum Jahr 2040,
- die Stromnetze mit 248 Mio. Euro jährlich (darunter über 60 % für die Verteilnetze),
- die Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge mit ca. 114 Mio. Euro jährlich sowie
- den Ausbau der Fernwärmenetze und der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien mit ca. 73 Mio. Euro jährlich.

Weitere Investitionsschwerpunkte liegen bei

- dem Ausbau des Wasserstoffnetzes, dessen Kosten im unteren zweistelligen

Millionenbereich liegen und wesentlich davon abhängen, in welchem Umfang vorhandene Erdgasnetze umgenutzt werden können,

- den Kosten für die CO₂-Transport-Infrastruktur, die davon abhängen, ob durch Thüringen eine Fernleitung verlaufen soll oder nicht, sowie
- den Kosten für die Modernisierung und Elektrifizierung des Eisenbahnnetzes.

Wesentliche Teile dieser Kosten fallen nicht nur im Zielszenario 2045 an, sondern in allen Szenarien. Dies gilt insbesondere für den Ausbau der erneuerbaren Energien, der den bundesgesetzlichen Ausbaupfaden folgt und mit einem entsprechenden Stromnetzausbau einhergehen muss. Lediglich die Kosten für den Ausbau der Wasserstoffinfrastruktur sowie für den Abtransport von CO₂ fallen im Referenzszenario nicht in gleichem Umfang an.

Investitions- und Finanzierungsanalyse

Die Investitionserfordernisse aller Sektoren wurden so zusammengefasst, dass Klimaschutzinvestitionen als zusätzliche Investitionen gegenüber ohnehin anfallenden Investitionen abgegrenzt und in Fünfjahresschritten mit den bisherigen jährlichen Klimaschutzinvestitionen verglichen werden.

Dabei zeigt sich der höchste Investitionsbedarf im Gebäudesektor. Die jährlichen Klimaschutzinvestitionen liegen in der Zeit zwischen 2030 und 2045 mit 2,9-3,6 Mrd. Euro₂₀₂₂ etwas mehr als doppelt so hoch wie 2015 bis 2020 mit 1,2-1,4 Mrd. Euro₂₀₂₂. Insgesamt belaufen sich im Zielszenario die im Zeitraum 2025 bis 2045 kumulierten Klimaschutzinvestitionen in Thüringen auf knapp 70 Mrd. Euro₂₀₂₂. Da es sich aber um langfristige Investitionen handelt, amortisieren sich diese in der Regel durch anschließend niedrigere

Energiekosten. Betroffen von den Kosten sind die jeweiligen Eigentümer der Gebäude, Energieinfrastrukturen und Fahrzeuge, somit sowohl private Haushalte, Unternehmen als auch die öffentliche Hand. Der Anteil des öffentlichen Bereichs (inkl. öffentlicher Unternehmen) an den Klimaschutzinvestitionen wurde in dieser Studie auf rund 10 bis 15 % geschätzt. Nur ein (geringer) Anteil davon belastet die öffentlichen Haushalts-Budgets. Insbesondere in den Bereichen der Energieerzeugung und Infrastruktur werden die Investitionen durch öffentliche Unternehmen (u. a. kommunale Energieversorger) getätigt und können über die Produkte an die Kunden überwältzt werden. Die konkrete Belastung der öffentlichen Haushalts-Budgets und die

exakte Finanzierung des Klimaschutzes lassen sich in dieser Studie nicht näher bestimmen, u. a. aufgrund der starken Abhängigkeit von der Ausgestaltung der Instrumente. Die mit Kosten verbundenen Klimaschutzinvestitionen dienen zugleich anderen Unternehmen als Einnahmen und können so wiederum wesentlich zur inländischen Wertschöpfung beitragen. Insgesamt sind positive volkswirtschaftliche Effekte zu erwarten, auch weil eine Entlastung von den steigenden Kosten fossiler Energien eintritt. Darüber hinaus trägt der Klimaschutz zu den globalen Anstrengungen zur Begrenzung des Klimawandels bei und verringert dadurch die durch den Klimawandel bedingten Schäden und Schadenskosten.

1 Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) das Ziel gesetzt, bis 2045 Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen. Des Weiteren hat sie sich im Rahmen des Übereinkommens von Paris (ÜvP) mit den anderen Unterzeichnerstaaten verpflichtet, den globalen Temperaturanstieg deutlich auf unter 2 °C und wenn möglich auf 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

Trotz globaler Zielsetzungen sind nationales und regionales Engagement entscheidend für den Erfolg. Um die deutschen Klimaziele zu erreichen, muss auch jedes Bundesland einen Beitrag leisten. Der Freistaat Thüringen bekennt sich zu diesen Zielen und zu dieser Aufgabe.

Der Klimaschutz und die notwendige Transformation des gesellschaftlichen Gesamtsystems sind somit als Gemeinschaftsaufgabe zu verstehen, da sie verschiedene Bereiche und Akteure betreffen.

Die Herausforderungen der Klimakrise und das Erreichen der Treibhausgasneutralität stellen Politik, Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft vor komplexe Aufgaben. Die Thüringer Landesregierung will die Transformation durch länderspezifische Maßnahmen gestalten. Insbesondere die jüngsten Veränderungen in der Energieversorgung aufgrund geopolitischer Entwicklungen erfordern auch aus Gründen der Versorgungssicherheit eine beschleunigte Transformation.

Die Thüringer Klimaziele, verankert im Thüringer Klimagesetz (ThürKlimaG) und der Integrierten Energie- und Klimaschutzstrategie (IEKS) sind angesichts verschärfter nationaler Ziele überholt. Die Landesregierung hat sich daher in der Erklärung „Vom Wandel zum Fortschritt“ im Rahmen der Ettersburger Kabinettsklausur im Mai 2023 zu verstärkten

Anstrengungen für die Energiewende und das Erreichen der nationalen Klimaziele bekannt.

Zudem hat der Thüringer Landtag die Landesregierung gebeten, in einer Studie die Entwicklungsnotwendigkeiten im Zuge der Transformation zu analysieren. Die vorliegende Studie konzentriert sich auf die Analyse des Ist-Zustands im Klimaschutz, die Ableitung von THG-Minderungspfaden, die Erfassung der Auswirkungen des Transformationsprozesses auf die Energieversorgung und öffentliche Infrastrukturen, die Ableitung konkreter Maßnahmenvorschläge und Investitionsnotwendigkeiten sowie des entsprechenden Finanzierungsbedarfs.

Die Studie soll eine wesentliche Grundlage für die Fortschreibung der Energie- und Klimaschutzstrategie sowie eine mögliche Novellierung des Thüringer Klimagesetzes bilden. Ziel ist es dabei, die Transformation hin zur Treibhausgasneutralität unter Berücksichtigung begrenzter finanzieller Mittel zu beschleunigen und zugleich die Akzeptanz in der Bevölkerung zu sichern.

Der nachfolgende Bericht gliedert sich in fünf weitere Kapitel:

- Kapitel 2 umfasst methodische Grundlagen und die vorliegenden Datengrundlagen zur sektorübergreifenden Bestandsaufnahme.
- Kapitel 3 beschreibt die Ausgangslage und die THG-Minderungspfade in jeweils drei Szenarien (Referenzszenario, Zielszenario 2045 und Zielszenario 2040).
- Kapitel 4 umfasst die Beschreibung der für die Transformation erforderlichen Investitionen in die Infrastruktur (v. a. für Umwandlung und Transport von Energieträgern) und schätzt die dazu erforderlichen Kosten ab.
- Kapitel 5 umfasst die Beschreibung und Priorisierung von Maßnahmen, mit denen der

Freistaat Thüringen zur Erreichung seiner Ziele beitragen kann. Die priorisierten Maßnahmen werden im Anhang näher beschrieben und eingeordnet.

- Kapitel 6 enthält eine Investitions- und Finanzierungsanalyse für die vorgeschlagenen Investitionen.

2 Methodische Grundlagen und Bestandsaufnahme

2.1 Treibhausgase

Treibhausgase werden in direkte Treibhausgase (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFKW, FKW, SF_6 und NF_3) und indirekte Treibhausgase (C_mH_n , CO , NO_x) unterschieden. Im Rahmen der internationalen Berichterstattung werden unter den ausgewiesenen CO_2 -Äquivalent-Emissionen nur die direkten Treibhausgase berücksichtigt.

Zur Beschreibung der Klimawirksamkeit wird das sogenannte Global Warming Potential (GWP) verwendet. Die Bewertung des GWP erfolgt auf Basis des Beitrages eines Stoffes zum Treibhauseffekt gemittelt über einen bestimmten Zeitraum. Der GWP-Wert von CO_2 , der bei der Berechnung der GWP-Werte für alle übrigen Gase die Referenzsubstanz darstellt, wird gleich Eins gesetzt. Die Emissionen der Treibhausgase werden somit in CO_2 -Äquivalenten ausgedrückt.

Infolge des sich fortwährend ändernden Erkenntnisstandes zur Klimawirksamkeit der einzelnen Treibhausgase, unterliegen die GWP-Werte kontinuierlichen Veränderungen (siehe Tabelle 1). Beispielsweise wurde das Treibhausgaspotenzial (GWP_{100}) von Distickstoffmonoxid (N_2O /Lachgas) im zweiten Sachstandsbericht des IPCC (SAR) mit 310 und im fünften Sachstandsbericht des IPCC (AR5) mit 265 angegeben [IPCC 2013].

Im Zuge der internationalen Berichterstattung zur Überprüfung der Ziele des Kyoto-Protokolls wurden bis zum Jahr 2012 die $\text{GWP}_{100 \text{ SAR}}$ -Werte des zweiten Sachstandsberichts des IPCC (SAR) mit einem hundertjährigen Zeithorizont verwendet [KP 1997], [IPCC 1996]. Beginnend mit dem Jahr 2022 werden die **GWP-Werte im 100-Jahre-Horizont des Fünften Sachstandsberichtes der IPCC** für die Normierung der historischen Treibhausgase angewendet [IPCC 2013].

Kohlenstoffdioxid (CO_2) entsteht hauptsächlich bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe, wie Erdöl, Erdgas und Kohle, in den Sektoren Energieumwandlung, Industrie, Verkehr sowie kleinen Feuerungsanlagen. Die Verbrennung von Biomasse wird als CO_2 -frei angesehen, da es sich im Brennstoff um Kohlenstoff handelt, der zuvor von Pflanzen aus der Atmosphäre aufgenommen wurde und bei der Verbrennung wieder in die Atmosphäre zurückgeführt wird (Kreislauf).

Methan (CH_4) entsteht im Wesentlichen bei der Verdauung von Wiederkäuern, bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger (Gülle) sowie bei Abbauprozessen in Deponien. Es ist 25mal ($\text{GWP}_{100 \text{ AR4}} 25$) so treibhauswirksam wie Kohlenstoffdioxid. Neben seiner Wirkung als Treibhausgas stellt es auch eine Ozonvorläufersubstanz dar.

Distickstoffmonoxid (N_2O), auch als Lachgas bekannt, wird beim Abbau von stickstoffhaltigem Dünger, bei der Güllelagerung sowie bei verschiedenen Produktanwendungen frei. Lachgas ist 298mal ($\text{GWP}_{100 \text{ AR4}} 298$) so treibhauswirksam wie Kohlenstoffdioxid. Hauptquelle von Lachgasemissionen ist die Landwirtschaft. Darüber hinaus entsteht Lachgas in der chemischen Industrie und in Abgaskatalysatoren.

Die Gruppe der **Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW/FKW)** können nach teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (HFKW) und vollständig halogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (FKW) unterschieden werden. Enthalten FKW keine Wasserstoff-Atome, nennt man diese auch perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (FKW). Fluorkohlenwasserstoffe werden als Treibgas sowie als Kälte- oder Feuerlöschmittel eingesetzt. Entweichen FKW, tragen diese, aufgrund ihres hohen GWP-Wertes, erheblich zum Treibhauseffekt bei

(GWP_{100 AR4} für HFKWs von 124 bis 14.800 und FKW von 7.390 bis 12.200).

Schwefelhexafluorid (SF₆) ist ein farb- und geruchloses, ungiftiges Gas. Es wird u. a. als Isoliergas in der Mittel- und Hochspannungstechnik, zur Dichtheitsprüfung von Leckagen, als Ätzgas in der Halbleiterindustrie und als Schutzgas zur Herstellung von Magnesium verwendet. Schwefelhexafluorid ist das stärkste bekannte Treibhausgas (GWP_{100 AR4} 22.800).

Stickstofftrifluorid (NF₃) ist ein farbloses und brandförderndes Gas mit einem charakteristischen Geruch. Stickstofftrifluorid wird in sehr großer Menge bei der Produktion von Flüssigkristallbildschirmen, Si-Dünnschichtzellen sowie in der Halbleiterindustrie verwendet. Dabei wird es bei der Beseitigung von Siliziumrückständen in den Beschichtungskammern freigesetzt. Stickstofftrifluorid ist eines der stärksten

bekannten Treibhausgase (GWP_{100 AR4} 12.200). Aufgrund des deutlichen Konzentrationsanstiegs in der Atmosphäre ist Stickstofftrifluorid (NF₃) mit dem Beginn der zweiten Verpflichtungsperiode im Jahr 2013 im Zuge der internationalen Berichterstattung zum Kyoto-Protokoll zu erfassen. Aufgrund der geringen Bedeutung (Einzelfälle) in Thüringen wird NF₃ im Rahmen der Sektorzielstudie nicht bilanziert.

Neben den direkten Treibhausgasen existieren mit den flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC), Stickoxide (NO_x) und Kohlenstoffmonoxid (CO) auch indirekte Treibhausgase, die zugleich als versauernde bzw. eutrophierende Stoffe und Ozonvorläufersubstanzen wirken. Diese gehen nicht in die Zielerfüllung des Kyoto-Protokolls ein und werden im Rahmen der internationalen Berichterstattung und somit auch in dieser Vorstudie nicht berücksichtigt.

		SAR (IPCC 1996)	AR4 (IPCC 2007)	AR5 (IPCC 2013)		Verweildauer in Jahren
		100 Jahre	100 Jahre	20 Jahre	100 Jahre	
Treibhausgas	Formel	GWP ₁₀₀ SAR-Wert	GWP ₁₀₀ AR4-Wert	GWP ₂₀ AR5-Wert	GWP ₁₀₀ AR5-Wert	
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	1	1	1	1	k.A.
Methan	CH ₄	21	25	84	28	12
Distickstoffmonoxid (Lachgas)	N ₂ O	310	298	264	265	121
Wasserstoffhaltige FKW	HFKW					
HFC 23	CHF ₃	11.700	14.800	10.800	12.400	222
HFC 32	CH ₂ F ₂	650	675	2.430	677	5
HFC 125	C ₂ H ₂ F ₅	2.800	3.500	6.090	3.170	28
HFC 134a	CH ₂ FCF ₃	1.000	1.430	3.710	1.300	13
HFC-143a	CH ₃ F ₃	3.800	4.470	6.940	4.800	47
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	140	124	506	138	2
HFC-227ea	C ₃ H ₂ F ₇	2.900	3.220	5.306	3.350	39
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6.300	9.810	6.940	8.060	242
HFC-245fa	C ₃ H ₃ F ₅	560	1.030	2.510	716	8
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	1.300	1.640	4.310	1.650	16
Perfluorierte FKW	FKW					
Perfluormethan	CF ₄	6.500	7.390	4.880	6.630	50.000
Perfluorethan	C ₂ F ₆	9.200	12.200	8.210	11.100	10.000
Perfluorpropan	C ₃ F ₈	7.000	8.830	6.640	8.900	2.600
Perfluor-n-butan	C ₄ F ₁₀	7.000	8.860	6.870	9.200	2.600
Perfluorcyclobutan	C ₆ F ₁₂	8.700	9.160			3.200
Perfluorhexan	C ₁₀ F ₁₈	7.400	7.500	5.390	7.190	3.200
Schwefelhexafluorid	SF₆	23.900	22.800	17.500	23.500	3.200
Stickstofftrifluorid	NF₃	16.100	12.200	12.800	16.100	500

Tabelle 1 Direkte Treibhausgase und deren Treibhausgaspotential (GWP) sowie Verweildauer in der Atmosphäre
Quelle: [IPCC 1996], [IPCC 2007], [IPCC 2013], Darstellung IE Leipzig

2.2 Sektoren und deren IPCC-Quellkategorien

Die strukturelle Aufbereitung der Treibhausgasbilanz sowie der THG-Szenarien erfolgt entsprechend der vom Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) verwendeten Nomenklatur sowie unter

Berücksichtigung der geforderten sektoralen Struktur des Auftraggebers. Die direkten Treibhausgase werden für die in Tabelle 2 aufgeführten Sektoren bilanziert.

Sektoren und deren IPCC Quellkategorien			IPCC	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	F-Gase			
							FKW	HFKW	SF ₆	NF ₃
Quellen										
01	Energiewirtschaft									
	Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft	E	CRF 1.A.1	■	■	■				
	Pipelinetransport (übriger Transport) ¹	E	CRF 1.A.3.e		■					
	Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen	E	CRF 1.B		■					
02	Industrie									
	Verbrennung von Brennstoffen im verarbeitenden Gewerbe & Bauwirtschaft	E	CRF 1.A.2	■	■	■				
	Industrieprozesse und Produktverwendung	N	CRF 2	■	■	■	■	■	■	■
	CO ₂ -Transport und -Lagerung	N	CRF 1.C	(■)						
03	Gebäude									
	Handel und Behörden	E	CRF 1.A.4.a	■	■	■				
	Haushalte	E	CRF 1.A.4.b	■	■	■				
	Sonstige Tätigkeiten (insb. militärische Einrichtungen) ²	E	CRF 1.A.5	■	■	■				
04	Verkehr									
	Ziviler inländischer Luftverkehr	E	CRF 1.A.3.a	■	■	■				
	Straßenverkehr	E	CRF 1.A.3.b	■	■	■				
	Schienenverkehr	E	CRF 1.A.3.c	■	■	■				
	Inländischer Schiffsverkehr	E	CRF 1.A.3.d	■	■	■				
05	Landwirtschaft									
	Landwirtschaft	N	CRF 3	■	■	■				
	Verbrennung von Brennstoffen in Land- und Forstwirtschaft, Fischerei ²	N	CRF 1.A.4.c	■	■	■				
06	Abfallwirtschaft und Sonstiges									
	Abfalldeponierung	N	CRF 5.A.		■					
	Bioabfallbehandlung	N	CRF 5.B.		■					
	Abwasserbehandlung	N	CRF 5.D.		■	■				
	Sonstige	N	CRF 6	(■)	(■)	(■)	(■)	(■)	(■)	(■)

Quellen oder Senken

07	Landnutzung, -änderung und Forstwirtschaft									
	Forstwirtschaft, Holzprodukte	N	CRF 4.A G	■	■	■				
	Landnutzung, Landnutzungsänderung	N	CRF 4.B bis E	■	■	■				

- relevante Treibhausgas-Emissionen im Zuge der Berichterstattung
- (■) aktuell werden für Deutschland keine Emissionen gemeldet (keine Bilanzierung im Rahmen der Studie)
- E energiebedingte THG-Emissionen
- N nicht-energiebedingte THG-Emissionen
- 1 wird mangels einer geeigneten Datengrundlage nicht separat ausgewiesen (Teilmenge von CRF 1.A.1)
- 2 wird mangels einer geeigneten Datengrundlage nicht separat ausgewiesen (Teilmenge von CRF 1.A.4.a)

Tabelle 2 THG-Bilanz: Sektoren und deren IPCC-Quellkategorien
Quelle: [KSG 2019], [IPCC 2013] Darstellung: IE Leipzig

2.3 Bilanzierungsprinzipien

Bei der THG-Bilanzierung wird in folgende zwei Methoden unterschieden, welche unterschiedlich hinsichtlich der zu bilanzierenden Region definiert werden:

- **Quellenprinzip:**
Die THG-Emissionen der Sekundärenergieträger Strom und Fernwärme werden der tatsächlichen Emissionsquelle (Umwandlungssektor) zugeordnet.
- **Verursacherprinzip:**
Die THG-Emissionen der Sekundärenergieträger Strom und Fernwärme werden der Nachfrageseite (Verbraucher/Verursacher) zugeordnet.

Quellenprinzip

Nach dem Quellenprinzip werden THG-Emissionen immer ihren direkten Emittenten zugeordnet. Dies hat zur Folge, dass dem Umwandlungssektor alle tatsächlich entstehenden THG-Emissionen bei der Umwandlung von Primärenergie in Strom und Fernwärme zugerechnet werden. Der Umwandlungssektor tritt damit als gleichwertiger Sektor neben den anderen Nachfragesektoren in einer THG-Bilanz auf. Gleichzeitig gelten die Sekundärenergieträger Strom und Fernwärme als emissionsfrei, da bei ihrer Umwandlung in Nutzenergie keine direkten THG-Emissionen freigesetzt werden.

Die wesentlichen **Vorteile** der THG-Bilanzierung nach dem Quellenprinzip sind folgende:

- Die Bilanzierungsmethode entspricht der vom IPCC angewandten Methode, die die wesentliche Grundlage für das Monitoring der

Kyoto-Ziele darstellt. Damit ergibt sich eine gute nationale und internationale Vergleichbarkeit. Zudem basieren auch die THG-Ziele anderer Bundesländer auf dem Quellenprinzip (z. B. Baden-Württemberg, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Hessen).

- Eine Senkung von THG-Emissionen kann durch den einzusetzenden Primärenergiemix zur Stromerzeugung seitens der Energieerzeuger reguliert werden.
- Die Quellenbilanz ermöglicht Aussagen über die Gesamtmenge der in Thüringen ausgestoßenen THG-Emissionen.

Nachteilig bei der Bilanzierung nach dem Quellenprinzip ist, dass die mit dem Stromhandel¹ verbundenen THG-Emissionen dem Bundesland mit dem Stromerzeugungsüberschuss zugerechnet werden. Die durch Stromverbraucher im Land verursachten THG-Emissionen werden im Fall eines Stromexports (negatives Stromaustauschsaldo) daher tendenziell überschätzt und im Falle eines Stromimports (positives Stromaustauschsaldo) unterschätzt.

Verursacherprinzip

Nach dem Verursacherprinzip werden THG-Emissionen, die bei der Bereitstellung von Strom und Fernwärme entstehen, den Nachfragesektoren zugerechnet und damit nicht der physikalischen Emissionsquelle. Stattdessen ruft die Nachfrage nach Strom und Fernwärme die THG-Emissionen hervor, die durch die Energiebereitstellung entstehen. Bei diesem Prinzip existiert der Umwandlungssektor nicht als eigener

¹ Die Inlandsstromerzeugung in Thüringen liegt derzeit niedriger als der Strombedarf im Land. Daher wird aktuell

Strom aus anderen Bundesländern bzw. dem Ausland importiert (positiver Stromaustauschsaldo - Stromimport).

Emissionssektor, sondern dient lediglich zur Berechnung der spezifischen THG-Emissionsfaktoren. Die THG-Emissionen aus dem Stromverbrauch der Nachfragesektoren (z. B. Haushalte, GHD) Thüringens werden beim Verursacherprinzip auf Basis des deutschen Generalfaktors² für Strom bilanziert.

Vorteilhaft bei der Bilanzierung nach dem Verursacherprinzip ist, dass Aussagen zu den THG-Emissionen des Stromeinsatzes auf Ebene der Endverbrauchssektoren (z. B. Haushalte, Industrie) getroffen werden können und damit der Beitrag zu den verursachten THG-Emissionen eines Bundeslandes ersichtlich wird.

2.4 Methodik

2.4.1 Methodik und Datengrundlagen der THG-Bilanz

Im Rahmen der vorliegenden Studie steht vor dem Hintergrund der vom IPCC angewandten Methode im Zuge der internationalen Berichterstattung das Quellenprinzip im Fokus der Ergebnisdokumentation.

Die Emissionen der einzelnen IPCC-Quellkategorien innerhalb der Sektoren werden auf Grundlage unterschiedlicher Erhebungsmethoden analysiert. Sofern nicht absolute Angaben für die Historie (CO₂-³ und THG⁴-Bilanz) des Statistischen Landesamtes zur Verfügung stehen, erfolgt die Ermittlung von

² Der Generalfaktor ergibt sich als Quotient der Summe der Emissionen aller deutschen Stromerzeugungsanlagen, soweit sie für den inländischen Verbrauch produzieren, und der Summe des inländischen Stromendverbrauchs. Stromerzeugungen werden dabei unter Anlehnung an die Substitutionstheorie so bewertet, als wären sie in inländischen Stromerzeugungsanlagen der allgemeinen Versorgung hergestellt worden. Aufgrund dieser teilweise modellhaften Berechnungsmethode ist ein direkter Zusammenhang mit den

Fazit

Damit eine gute nationale und internationale Vergleichbarkeit gegeben ist sowie die Bilanzierungsmethoden im Einklang mit dem IPCC stehen, wird das Quellenprinzip zur Darstellung der Entwicklung der THG-Emissionen sowie zur Darstellung der Minde-rungspfade in den einzelnen Sektoren im Rahmen der Szenarien angewendet.

Treibhausgasemissionen im Allgemeinen entsprechend folgender Gleichung:

Emissionen = Aktivitätsrate x Emissionsfaktor

Als Aktivität ist dabei der Prozess zu verstehen, der ursächlich für die Treibhausgasemissionen ist. Der spezifische Emissionsfaktor quantifiziert die Menge eines Treibhausgases bezogen auf die Aktivität eines Prozesses (u. a. Erdgaseinsatz im Kraftwerk, Anzahl von Tieren, Waldholzbestand, Waldholzeinschlag).

Zur Ermittlung der THG-Emissionen von Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) sowie der

tatsächlich in einem Land angefallenen Emissionen, die in der Quellenbilanz dargestellt werden, nicht gegeben.

³ Die letzte Energie- und CO₂- bzw. THG-Bilanz liegt für das Jahr 2020 vor.

⁴ Methan (CH₄)- und Distickstoffmonoxid (N₂O)-Emissionen werden für Thüringen vom Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL) bereitgestellt. Die Ergebnisse stehen in der Regel zwei Jahre nach dem Bezugsjahr zur Verfügung.

F-Gase (HFKW, FKW, SF₆, NF₃) werden die Emissionsfaktoren – differenziert nach Energieträgern, Einsatzbereichen und Anwendungen – vom Thüringer Landesamt für Statistik und vom Umweltbundesamt genutzt, wie sie auch im Zuge des nationalen Berichtssystems zum Kyoto-Protokoll Verwendung finden.

Zu den energiebedingten THG-Emissionen steht u. a. mit den Energiebilanzen eine fundierte Datengrundlage zu den Aktivitätsraten zur Verfügung. Datengrundlagen bzw. Aktivitätsraten zur Bilanzierung der nicht-energiebedingten THG-Emissionen für Thüringen stehen nur teilweise zur Verfügung. Deshalb sind analytisch gesicherte Schätzungen zu den nicht-energiebedingten THG-Emissionen für eine zeitlich konsistente THG-Bilanz aller Sektoren erforderlich.

Aufbauend auf der systematischen Zusammenstellung der Datengrundlagen, wird der Bedarf zur Ergänzung bzw. Fortschreibung der Datenbasis der jeweiligen Quellenkategorien deutlich. Entsprechend der Datengrundlage wird für jede Quellenkategorie ein spezifischer Ansatz für die Ermittlung fehlender bzw. nicht veröffentlichter THG-Emissionen angewendet.

Die methodische Vorgehensweise innerhalb der IPCC-Quellenkategorien wird im Folgenden skizziert. Die Bilanzierung orientiert sich dabei am nationalen Inventarbericht (NIR) zum Deutschen Treibhausgasinventar, in dem die methodischen Grundlagen ausführlich dargestellt sind [UBA 2023b].

Sektor Energieumwandlung und -verteilung Strom- und Wärmeerzeugung (CRF 1.A.1)

Zur Ermittlung der Treibhausgasemissionen der Strom- und Wärmeerzeugung wird vom Umwandlungseinsatz (Aktivitätsrate: Einsatz von Energieträgern im Umwandlungsbereich) ausgegangen. Wichtige

Grundlagen hierfür sind die amtlichen Energiebilanzen des Freistaats Thüringen. In Verbindung mit den Energiebilanzen werden in der Regel auch die auf der Energiebilanz beruhenden CO₂-Bilanzen veröffentlicht. Zudem stehen mit den Treibhausgasbilanzen für den Freistaat Thüringen und den Analysen des Arbeitskreises Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL) Angaben zu den Emissionen von CH₄ und N₂O zur Verfügung.

Sofern Daten zu den Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O vorliegen, finden diese Eingang in die Eröffnungsbilanz.

Nicht publizierte bzw. Treibhausgase aktueller Jahre werden auf Basis, der im Umwandlungsbereich in den jeweiligen Energiebilanzpositionen eingesetzten Energieträger ermittelt. Dazu werden diese mit den spezifischen Emissionsfaktoren (CO₂, CH₄, N₂O) der Emittentengruppe aus dem Nationalen Inventarbericht (NIR) des Umweltbundesamtes des jeweiligen Jahres, differenziert nach Energieträgern, bewertet.

Diffuse Emissionen aus der Förderung und Verteilung von Brennstoffen (CRF 1.B.2)

Erdöl, Braunkohle und Steinkohle wurden zwar in Thüringen in der Vergangenheit gefördert, im Bilanzierungszeitraum (ab 1990) fand jedoch keine Aktivität mehr statt, so dass die Betrachtung der diffusen Treibhausgasemissionen aus der Förderung dieser Brennstoffe entfällt.

Die Verteilung von Erdgas (CRF1.B.2.b.iii) verursacht auf sechs Stufen der Gasverteilung (Transport in Ferngasnetzen, Transport in Verteilnetzen, Gasdruckregel(mess)anlagen, Verdichter, Obertagespeicher, Untertagespeicher) Methanemissionen, wobei der Transport in Verteilnetzen und die Erdgasverdichtung den

höchsten Anteil an den diffusen Gesamtemissionen verursachen. Die CH₄-Emissionen aus der Gasverteilung werden, sofern für einzelne Jahre nicht verfügbar, vereinfacht auf Basis des Gasabsatzes und der typischen Emissionsfaktoren gemäß NIR ermittelt.

Die Emissionen aus der Verteilung von Mineralölprodukten (CRF 1.B.2.a.iii) resultieren aus Transport und Umschlag zwischen den jeweiligen Tanks. Es handelt sich hierbei jedoch um NMVOC-Emissionen, die zu den indirekten Treibhausgasen zählen und nicht in der THG-Bilanz berücksichtigt werden.

Emissionen aus dem Stromaustauschsaldo

Die ermittelten Treibhausgasemissionen der Quells-kategorie CRF 1.A.1 umfassen nicht die Emissionen, die aus der Stromlieferung⁵ an andere Bundesländer bzw. in andere Länder des europäischen Verbundsystems (ENTSO-E) resultieren.

Auf Basis des in der Energiebilanz ausgewiesenen Stromaustauschsaldos könnte unter Nutzung des generellen Emissionsfaktors der Stromerzeugung in Deutschland die Bewertung der Stromlieferung zuzurechnenden Emissionen erfolgen. Diese gehen jedoch nicht in die Gesamtbetrachtung der Quellenbilanz ein und werden daher nicht ausgewiesen.

Sektor Industrie (Verarbeitendes Gewerbe)

Im Sektor Industrie bzw. Verarbeitendes Gewerbe werden im Zuge der Bilanzierung energiebedingte (CRF

1.A.2) und prozessbedingte (CRF 2.A bis 2.E) Treibhausgasemissionen berücksichtigt.

Industrie – energiebedingt (CRF 1.A.2)

Die Ermittlung der *energiebedingten* Treibhausgasemissionen der Industrie (CRF 1.A.2) erfolgt auf Basis des Endenergieeinsatzes im Verarbeitenden Gewerbe (inkl. Gewinnung von Steinen und Erden, sonstiger Bergbau) entsprechend der Energiebilanz Thüringens. Sofern Daten⁶ zu den Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O vorliegen, finden diese Eingang in die Eröffnungsbilanz. Nicht verfügbare Daten zu Treibhausgasen werden auf Basis des Endenergieeinsatzes in den jeweiligen Energiebilanzpositionen, in Verbindung mit den spezifischen jährlichen Emissionsfaktoren (CO₂, CH₄, N₂O) der Emittentengruppe differenziert nach Energieträgern ermittelt.

Industrie – prozessbedingt (CRF 2.A bis 2.E)

Prozessbedingte Treibhausgasemissionen (CRF 2.A bis 2.E) werden bei chemischen Reaktionen bestimmter Produktionsprozesse direkt freigesetzt. Für Thüringen stehen dazu landesspezifische Produktionsdaten zur Verfügung. Im Wesentlichen werden darin CO₂-Prozessemissionen aus der Herstellung von Zement, Kalk, Glas, Salpetersäure und organischen Grundchemikalien erfasst. Fehlende Angaben zu den prozessbedingten CO₂-Emissionen einzelner Jahre werden in Analogie zur verwendeten Methodik⁷ des Umweltbundesamtes ermittelt.

⁵ Der Strombedarf Thüringens übersteigt derzeit die Inlandsstromerzeugung.

⁶ CO₂-Bilanzen auf Basis der Energiebilanz Thüringens, und Analysen des Arbeitskreises Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL) zu den Emissionen von CH₄ und N₂O.

⁷ Das Umweltbundesamt ermittelt im Rahmen der „Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll“ die prozessbedingten Emissionen auf Basis der produzierten Mengen bzw. eingesetzten Rohstoffe in Verbindung mit spezifischen Emissionsfaktoren.

Neben den Industrieprozessen sind dem Industriesektor auch die Produktverwendungen der Industrieprodukte zugeordnet. Dies umfasst beispielsweise die Quellkategorien „Verbrauch von halogenierten Kohlenwasserstoffen und Schwefelhexafluorid“ (CRF 2.F).

Industrie – Produktanwendungen (CRF 2.F und CRF 2.D.3)

Die Emissionen aus dem Verbrauch halogener Fluorkohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid und Stickstofftrifluorid⁸ (FKW, HFKW, SF₆, NF₃), auch als F-Gase bezeichnet (CRF 2.F), werden in den Analysen der UGRdL nach Bundesländern ausgewiesen und von dort übernommen [UGRdL 2024].

Die Verwendung von Lösemitteln (CRF 2.D.3) und andere Produktanwendungen verursachen im Wesentlichen indirekte Treibhausgasemissionen (NMVOC), die im Rahmen der THG-Bilanz nicht berücksichtigt werden. Dabei wird lediglich die Nutzung dieser Produkte dem Sektor „Sonstige“ zugeordnet. Die Herstellung der Produkte wird im Rahmen des Industriesektors bilanziert. Unter den sonstigen Anwendungen von Lösemitteln werden jedoch auch Lachgasemissionen (N₂O), vor allem durch den Einsatz in der Medizin und als Treibmittel in Sprühdosen erfasst.

Aufgrund der unzureichenden Datenlage werden die N₂O-Emissionen anhand des Anteils der Einwohner Thüringens an der Gesamtbevölkerung Deutschlands aus den deutschen NIR-Werten abgeleitet.

⁸ Mit Beginn der zweiten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls ist ab dem Jahr 2013 auch Stickstofftrifluorid (NF₃) zu erfassen. Dies wird vornehmlich in Produktionslinien zur Herstellung von Si-Dünnschichtzellen eingesetzt.

Sektor Gebäude (Haushalte und GHD)

Zur Bestimmung von Treibhausgasemissionen der Endenergiesektoren Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (CRF 1.A.4.a) und Haushalte (CRF 1.A.4.b) wird vom Endenergieeinsatz, wie er in den Energiebilanzen Thüringens ausgewiesen ist, ausgegangen. Sofern Daten⁹ zu den Emissionen von CO₂, CH₄ und N₂O vorliegen, finden diese Eingang in die THG-Bilanz.

Die Daten des Sektors umfassen – wie in einer Quellenbilanz üblich – die Emissionen aller Heizungssysteme, bei denen innerhalb der Gebäude bzw. Grundstücke Brennstoffe verbrannt werden. Werden die Gebäude (Ein- und Mehrfamilienhäuser oder Nichtwohngebäude) jedoch über Fern- oder Nahwärmenetze mit Wärme versorgt, dann werden die dabei anfallenden Emissionen dem Sektor „Energieumwandlung und -verteilung“ zugeordnet.

Nicht verfügbare bzw. Treibhausgase aktueller Jahre werden auf Basis der in den Endenergiesektoren Haushalte und GHD in den jeweiligen Energiebilanzzeilen eingesetzten Energieträger ermittelt. Dazu werden diese mit den spezifischen Emissionsfaktoren des jeweiligen Jahres, differenziert nach Energieträgern, bewertet.

Sektor Verkehr

Im Sektor „Verkehr“ werden die Verkehrsbereiche Flugverkehr (national) CRF 1.A.3.a, Straßenverkehr CRF 1.A.3.b, Schienenverkehr CRF 1.A.3.c und Schifffahrt CRF 1.A.3.d erfasst.

⁹ Die CO₂-Bilanzen Thüringens beruhen auf den Energiebilanzen, die Emissionen von CH₄ und N₂O auf Analysen des Arbeitskreises Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder (AK UGRdL).

Grundlage der CO₂-Bilanzierung für die Verkehrsbe-
reiche bilden die in Thüringen abgesetzten Kraftstoffe
gemäß Energiebilanzen.

Die CH₄- und N₂O-Emissionen der Historie basieren
auf den Berechnungen des Arbeitskreises Umweltöko-
nomische Gesamtrechnungen der Länder (AK
UGRdL). Gegenüber der differenzierten Methodik der
UGRdL werden die zukünftigen Emissionen für Lach-
gas und Methan vereinfachend proportional zum Ener-
gieverbrauch abgeschätzt.

Flugverkehr (national) CRF 1.A.3.a

Innerhalb der Quellenbilanz für Thüringen werden nur
die Treibhausgasemissionen des nationalen Flugver-
kehrs bilanziert. Dazu wird in Analogie zur UGRdL-
Methodik der nationale Anteil des Flugverkehrs an-
hand der Einsteiger/Starts mit Streckenziel Inland aus
der Verkehrsstatistik ermittelt und anschließend auf
den Treibstoffabsatz aus der Energiebilanz übertragen.
Die Treibstoffmengen werden mit den jährlichen spe-
zifischen Emissionsfaktoren (CH₄, N₂O) bewertet.

Straßenverkehr CRF 1.A.3.b

Grundlage der CO₂-Bilanzierung für den Straßenver-
kehr bilden die in Thüringen abgesetzten Kraftstoffe
gemäß Energiebilanzen. Die CH₄- und N₂O-Emissio-
nen in den Szenarien werden vereinfachend proportio-
nal zum Verbrauch der fossilen Kraftstoffe abge-
schätzt.

Schienenverkehr CRF 1.A.3.c

Die CO₂-, CH₄- und N₂O-Emissionen des Schienenver-
kehrs werden in Analogie zur Methodik der UGRdL
auf Basis der Kraftstoffabsätze (Diesel bzw.

Steinkohle) in der Energiebilanz und den jährlichen
spezifischen Emissionsfaktoren ermittelt.

Schifffahrt CRF 1.A.3.d

In Thüringen findet keine Güterbeförderung auf Bin-
nenschiffen statt. Als Energieeinsatz wurde in den
Energiebilanzen Thüringens von 1990 bis 2018 der
Binnenschifffahrt nichts zugeordnet. Erst in den Jahren
2019 und 2020 wurde eine geringe Menge an leichtem
Heizöl ausgewiesen. Die aus diesen Energiever-
brauchsdaten resultierenden CO₂-Emissionen werden
entsprechend berücksichtigt. CH₄- und N₂O-Emissio-
nen werden vereinfachend proportional zum Kraft-
stoffverbrauch abgeschätzt.

Der Kraftstoffverbrauch bzw. die THG-Emissionen
des **Offroad-Verkehrs** (CRF 1.A.3.e – Baumaschinen,
Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Industrie, Garten-
pflege und Hobby, Militär) werden in Energiebilanzen
nicht separat ausgewiesen, sondern sind in den End-
energiesektoren „Industrie (Verarbeitendes Ge-
werbe)“, „Haushalte“ und „Gewerbe, Handel, Dienst-
leistung“¹⁰ aufgeführt. Die Ermittlung erfolgt auf Basis
des Kraftstoffabsatzes und der spezifischen Emissions-
faktoren je Jahr.

Sektor Landwirtschaft

Im Sektor Landwirtschaft werden folgende Emissionen
erfasst:

- aus der Fermentation bei der Verdauung (CRF
3.A),
- aus der Behandlung von Wirtschaftsdüngern
(inkl. Wirtschaftsdünger-Vergärung und deren
Gärrestelagerung) (CRF 3.B),

¹⁰ Im Sektor „Gewerbe, Handel, Dienstleistung“ ist auch
der Kraftstoffverbrauch der Land- und Forstwirtschaft ent-
halten.

- aus der Nutzung landwirtschaftlicher Böden (CRF 3.D),
- aus Kalkung (CRF 3.G), der Anwendung von Harnstoff (CRF 3.H) sowie der Anwendung anderer kalkhaltiger Dünger (CRF 3.I),
- aus der Vergärung von Energiepflanzen und deren Gärrestelagerung (CRF 3.J) sowie
- infolge der Ausbringung der Gärreste (CRF 3.D).

Die Daten zur Landwirtschaft werden jährlich vom Thünen-Institut für den Nationalen Inventarbericht (NIR) zum Deutschen Treibhausgasinventar zur Verfügung gestellt [Thünen 2023a]. Aktivitätsgrößen, spezifische Emissionsfaktoren und die THG-Emissionen sind vollumfänglich auf Bundeslandebene als Zeitreihe seit 1990 verfügbar, das aktuelle Berichtsjahr ist 2021. Detaillierte Ausführungen zu den methodischen Aspekten finden sich in [UBA 2023b].

Tierhaltung (CRF 3.A und 3.B)

Die Emissionen aus der Tierhaltung umfassen CH₄ aus der Verdauung und N₂O aus dem Wirtschaftsdünger-Management.

Für die Berechnung der Emissionen aus der Tierhaltung werden die Tierbestände in Unterkategorien unterteilt: Milchkühe, übrige Rinder, Schafe, Schweine, Ziegen, Pferde und Geflügel. Die Tierzahlen werden im Rahmen der Agrarstrukturerhebungen sowie jährlichen Viehbestandserhebungen (für Rinder, Schweine und Schafe) erfasst.

Landwirtschaftliche Böden (CRF 3.D)

Mikrobielle Umsetzungen (Nitrifikation und Denitrifikation) von Stickstoff-Verbindungen führen zu N₂O-Emissionen aus Böden. Es wird zwischen direkten und indirekten N₂O-Emissionen unterschieden. Die

direkten Emissionen umfassen die N₂O-Emissionen infolge von

- Mineraldüngerausbringung,
- Wirtschaftsdüngerausbringung (inkl. Ausbringung von Wirtschaftsdünger-Gärresten),
- Klärschlammasbringung,
- Ausbringung von sonstigen organischen Düngern (Gärreste aus Energiepflanzenvergärung und Abfallvergärung, Komposte aus Bio- und Grünabfall),
- Weidegang,
- Ernterückständen,
- Mineralisierung sowie
- Bewirtschaftung organischer Böden.

Die indirekten N₂O-Emissionen ergeben sich als Folge der Deposition reaktiven Stickstoffs sowie von Auswaschung und Oberflächenfluss [UBA 2023b].

Kalkung und Harnstoffanwendung (CRF 3.B bis 3.I)

Kalkdüngung, d. h. die Zuführung von Carbonaten, verringert den Säuregehalt des Bodens und verbessert das Pflanzenwachstum, wobei CO₂ freigesetzt wird. Bei der Stickstoffdüngung mit Harnstoff entsteht unter Einwirkung von Urease und Wasser ebenfalls CO₂.

Vergärung von Energiepflanzen (CRF 3.J)

Bei der Vergärung (Fermenter) und der Lagerung der Gärreste entstehen CH₄-, N₂O- und NO-Emissionen. Zudem werden auch für die Lagerung von Energiepflanzen-Gärresten indirekte N₂O-Emissionen als Folge der Deposition von reaktivem Stickstoff berechnet [UBA 2023b].

Die Emissionen aus der Nutzung der Gärreste als Dünger werden zusammen mit den Emissionen aus der Ausbringung anderer Dünger unter CRF 3.D berichtet.

Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

Der Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) umfasst Wälder (CRF 4.A) und Holzprodukte (CRF 4.G) sowie die Quellkategorien der Landnutzung und Landnutzungsänderungen (CRF 4.B bis 4.E). Die Strukturierung entspricht der THG-Emissionsberichterstattung im NIR. In der Quellgruppe 4 (LULUCF) werden in erster Linie Emissionen berichtet, die aus dem Auf- und Abbau von Kohlenstoffspeichern¹¹ im Bereich der Landnutzungen (mit und ohne Änderung der Landnutzungskategorie) entstehen. Detaillierte Ausführungen zu den methodischen Aspekten finden sich in [UBA 2023b].

Wald (CRF 4.A)

Die CO₂-Emissionen bzw. -einbindungen der Wälder werden in einem vereinfachten Verfahren auf Basis der Daten der Bundeswaldinventur (BWI) ermittelt.

Die BWI 4 umfasst den Zeitraum 2012 bis 2022. Allerdings liegt eine Auswertung der Daten für den Freistaat Thüringen noch nicht vor. Das letztverfügbare Messjahr ist 2012. Aufgrund der fehlenden Datenlage und der sehr dynamischen aktuellen Waldentwicklung in Thüringen (andauerndes Schadgeschehen seit 2018 inklusive nicht absehbarer künftiger Borkenkäfer-Kalamitätsentwicklung) wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber keine neuen Berechnungen durchgeführt, sondern die im Gutachten zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie für Thüringen [IE Leipzig 2018] ausgearbeiteten Szenarien übernommen. Erst nach Vorliegen der BWI 4 Daten und der

nachfolgend notwendigen Umrechnung in C/CO₂ können neue Berechnungen für den Gesamtwald vorgelegt werden.

Landnutzung und Landnutzungsänderungen (CRF 4.B bis E)

Die positiven (Quelle) und negativen (Senke) CO₂-Emissionen aus Landnutzung und Landnutzungsänderungen werden im NIR für die Landnutzungskategorien Ackerland (CRF 4.B), Grünland (CRF 4.C), Feuchtgebiete (CRF 4.D) und Siedlungen (CRF 4.E) ausgewiesen. Um den langfristigen Auf- und Abbau von Kohlenstoffsinken abzubilden, werden die durch Landnutzungsänderungen bedingten CO₂-Emissionen und -Senken in Änderungsraten über 20 Jahre berechnet. Die N₂O-Emissionen aus der Nutzung landwirtschaftlicher Flächen sowie die Emissionen aus der Humusmineralisation in Mineralböden durch Landnutzungsänderung beziehungsweise Landbewirtschaftung werden in der Landwirtschaft unter CRF 3.D berichtet.

Das Thünen-Institut stellt Daten zu den Emissionen aus Landnutzung und Landnutzungsänderung auf Bundeslandebene als Zeitreihe seit 1990 zur Verfügung [Thünen 2023b]. Das aktuelle Berichtsjahr ist 2021.

Holzprodukte (CRF 4.G)

Holzprodukte verlängern durch die stoffliche Nutzung die Bindung eines Teils des Kohlenstoffs, der durch den Holzeinschlag den Waldspeichern entnommen wurde. Die Abschätzung umfasst alle in Deutschland produzierten Produkte, deren Holz aus heimischem Einschlag stammt und welche stofflich genutzt werden. Es wird nicht unterschieden, ob die Produkte nach ihrer

¹¹ Kohlenstoffpools: (1) ober- und unterirdische Biomasse, (2) Totholz, Streu (tote organische Substanz), (3) organische und mineralische Böden

Herstellung in Deutschland verbraucht werden oder, ob sie anschließend exportiert werden [UBA 2023b].

Sektor Sonstige

Zum Sektor „Sonstige“ zählen „Lösemittel und andere Produktanwendungen“ (CRF 3.D) sowie Abfall und Abwasser (CRF 5.A bis 5.D).

Abfall und Abwasser (CRF 5 A bis 5.D)

Die IPCC-Quellenkategorie „Abfall und Abwasser“ (CRF 5.A bis 5.D) umfasst im Wesentlichen Bereiche der kommunalen und industriellen Abwasserbehandlung (Abwässer und Sickergruben) und Abfallbehandlung bzw. -entsorgung (Kompostierungsanlagen und Deponien).

Abfalldeponierung (CRF 5.A)

Die in Siedlungsabfällen (Hausmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, Sperrmüll, Marktabfälle u. a.) enthaltenen organischen Substanzen werden über einen langen Zeitraum durch aerobe und anaerobe Prozesse mikrobiell in Deponien abgebaut. Die Hauptbestandteile des dabei entstehenden Deponiegases sind Methan (CH_4), Kohlendioxid (CO_2) und Kohlenmonoxid (CO). Das Deponiegas wird überwiegend gefasst und anschließend energetisch verwertet (oder zumindest abgefackelt). Die nicht gefasste Methanmenge wird an die Atmosphäre abgegeben. Maßgebend für die THG-Emissionen aus Deponien sind die eingelagerten Müllmengen und die Müllzusammensetzung¹².

Die Methan-Emissionen (CH_4) aus Deponien werden aus den Analysen der UGRdL für Thüringen übernommen.

Abwasserbehandlung (CRF 5 D)

In der Kategorie 5.D werden die Emissionen der Kategorien kommunales Abwasser 5.D.1 und industrielle Abwasserbehandlung 5.D.2 zusammengefasst.

Kommunales Abwasser (CRF 5.D.1)

In Deutschland erfolgt die Behandlung von Abwasser zu über 99 % in zentralisierten Kläranlagen, an die etwa 97 % der Haushalte über öffentliche Kanalsysteme angeschlossen sind. Die restlichen 3 % der Bevölkerung werden durch andere Behandlungsformen wie Kleinkläranlagen oder abflusslose Gruben versorgt. Alle diese Formen fallen unter den Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung. Gemäß den IPCC-Richtlinien sind Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) die relevanten Treibhausgase für die kommunale Abwasserbehandlung. Die Schlammbehandlung wurde als Hauptquelle für Methan identifiziert, während das Belebtschlammverfahren als Hauptquelle für Lachgas gilt. 99,5 % der jährlichen Abwassermenge werden in zentralisierten kommunalen Kläranlagen behandelt, wobei Methan durch anaerobe Stoffwechselprozesse entsteht. Alle Prozessschritte der Abwasserbehandlung tragen zur Emission bei, wobei Schlammfäulung und Faulschlammstapelung die größten Anteile haben. Die übrigen 0,5 % der Abwassermenge werden in Kleinkläranlagen behandelt oder in abflusslosen Gruben gesammelt, wobei auch hier Prozesse zur Methanbildung auftreten können [UBA 2022b].

Die Methan- und Lachgasemissionen aus zentralen Kläranlagen und Sickergruben in Thüringen werden in den Daten der UGRdL erfasst und können für Thüringen vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg

¹² Seit Mitte 2005 dürfen in Deutschland nur noch vorbehandelte Abfälle, bei denen organische Bestandteile nahezu

nicht mehr vorhanden sind (< 5 %), auf Deponien verbracht werden.

sektorspezifisch in einem höheren Detaillierungsgrad zur Verfügung gestellt werden [UGRdL 2024].

Industrielle Abwasserbehandlung (CRF 5.D.2)

In der biologischen Stufe der industriellen Abwasserreinigung wird in Deutschland eine Kombination aus aeroben und anaeroben Verfahren eingesetzt. Beim anaeroben Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe entsteht Faulgas, das im Wesentlichen aus Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) besteht. Bei der biologischen Abwasserreinigung mit gezielter Stickstoffelimination können Lachgasemissionen als Nebenprodukt vor allem bei der Denitrifikation, wahrscheinlich aber auch bei der Nitrifikation auftreten. Es wird vermutet, dass der Reduktionsschritt von N_2O zu N_2 durch verschiedene Einflussfaktoren wie freien Sauerstoff und hohe Konzentrationen von Nitrit, Ammonium und/oder Sulfid gehemmt wird, was zur Bildung von N_2O führen kann [UBA 2023b].

Die Methan- und Lachgasemissionen aus industriellen Abwässern in Thüringen werden in den Daten der UGRdL erfasst und können für Thüringen sektorspezifisch vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg in einem höheren Detaillierungsgrad zur Verfügung gestellt werden [UGRdL 2024].

Biologische Abfallbehandlung (CRF 5.B)

In der Kategorie 5.B werden Emissionen aus Kompostierungsanlagen (CRF 5.B.1) und aus der Vergärung von Bioabfällen in Biogasanlagen (CRF 5.B.2) erfasst und berichtet. Darüber hinaus werden hier auch die Emissionen aus der mechanisch-biologischen Abfallbehandlung berücksichtigt, die in [UBA2023b] als eigene Kategorie unter 5.E aufgeführt sind.

Kompostierungsanlagen (CRF 5.B.1)

In Thüringen werden biologisch abbaubare Abfälle getrennt gesammelt und behandelt. Die berichteten Emissionen stammen aus Kompostierungsanlagen, in denen hauptsächlich getrennt gesammelte Bioabfälle aus Haushalten sowie Garten- und Parkabfälle verarbeitet werden. Der erzeugte Kompost wird anschließend in der Landwirtschaft oder im Gartenbau eingesetzt. Neben der zentralen Kompostierung getrennt gesammelter Bioabfälle besteht auch die Möglichkeit der Eigenkompostierung im eigenen Garten. Über Mengen und Emissionen der Eigenkompostierung liegen jedoch keine verlässlichen Daten vor, so dass hierauf in der Betrachtung verzichtet wird. Bei der Kompostierung organischer Abfälle (CRF 5.B.1) entstehen, bedingt durch den mikrobiellen Abbau der Ausgangsmaterialien, als klimawirksame Gase Methan (CH_4) und Distickstoffmonoxid (N_2O).

Vergärungsanlagen (CRF 5.B.2)

In Thüringen werden biologisch abbaubare Abfälle getrennt gesammelt und behandelt. Die unter der Kategorie CRF 5.B.2 berichteten Emissionen stammen aus Vergärungsanlagen, in denen hauptsächlich getrennt gesammelte Bioabfälle aus Haushalten, Speiseabfälle aus Kantinen und Restaurants sowie Bioabfälle aus der Lebensmittelherstellung und -verarbeitung vergoren werden. Im Gegensatz zur reinen Kompostierung wird bei der Vergärung gezielt Biogas als Energieträger erzeugt. Dabei wird ein Großteil des erzeugten Biogases aufgefangen und energetisch genutzt, nur ein geringer Teil wird abgefackelt. Während des Vergärungsprozesses entstehen CH_4 - und N_2O -Emissionen. Die anfallenden Gärreste werden anschließend in der Landwirtschaft oder im Gartenbau eingesetzt. Die Methan- und Lachgasemissionen aus Kompostierungs- und

Vergärungsanlagen in Thüringen werden in den Daten der UGRdL erfasst und können für Thüringen sektorspezifisch vom Statistischen Landesamt Baden-

Württemberg in einem höheren Detaillierungsgrad zur Verfügung gestellt werden [UGRdL 2024].

2.4.2 Methodik THG-Szenarien

Die historische sowie die zukünftige Entwicklung der absoluten Emissionen der IPCC-Quellkategorien innerhalb der Sektoren lassen sich im Allgemeinen folgendermaßen auflösen:

Emissionen = Aktivität x Emissionsintensität

Als Aktivität ist dabei der Prozess zu verstehen, welcher ursächlich für die Treibhausgasemissionen ist. Die Emissionsintensität der Aktivität quantifiziert die Menge eines Treibhausgases bezogen auf die Aktivität eines Prozesses (u. a. Erdgaseinsatz im Kraftwerk, Anzahl von Tieren).

Die Emissionsreduktion lässt sich damit einerseits durch die Reduzierung von Aktivitäten (z. B. Senkung der Fahrleistung je Einwohner, Erhöhung der Energieeffizienz von Produktionsprozessen auf Basis Erdgas und damit geringerer Erdgaseinsatz) und andererseits durch die Senkung der Emissionsintensität der

jeweiligen Aktivität (z. B. höherer Anteil der Elektromobilität, höherer Anteil von Wasserstoff oder PtG-Brennstoff im Erdgasnetz) erreichen.

Die Emissionen können somit über spezifische Maßnahmen auf Seite der Aktivitäten und den Emissionsintensitäten beeinflusst werden (siehe Abbildung 2). Dadurch ist die detaillierte Betrachtung zu den Annahmen der Aktivitätsraten bzw. der Emissionsintensitäten innerhalb der jeweiligen IPCC-Quellkategorien für die Szenarienentwicklung maßgebend.

Die zu entwickelnden Maßnahmen sollten sich konsequent an der Beeinflussung der Aktivitätsraten und Emissionsintensitäten orientieren und werden auch diesen zugeordnet – sofern sinnvoll, und falls die Maßnahme nicht übergeordnet wirkt (z. B. Maßnahmen im Bildungsbereich oder Beratung zu Querschnittsthemen).

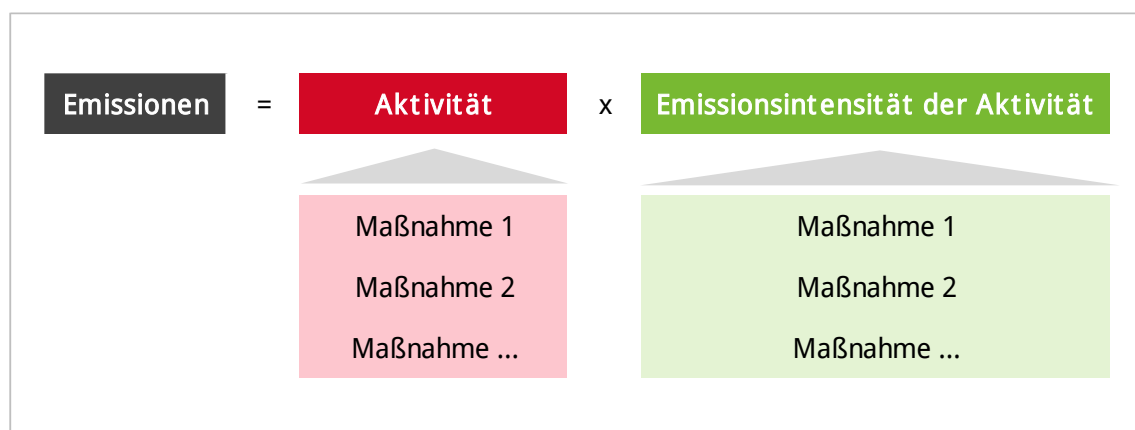


Abbildung 2 Einfluss von Maßnahmen auf Aktivitäten und Emissionsintensitäten

Quelle: Darstellung IE Leipzig

Auf Grundlage der Endenergiebilanz und dem funktionalen Zusammenhang zur Umwandlungsbilanz wird der Umwandlungsbereich abgeleitet. Für die Erstellung der Umwandlungsbilanz ist die Bestimmung des Umwandlungsausstoßes für Strom und Fernwärme notwendig. Der Umwandlungsausstoß resultiert aus der Summe von Energieangebot nach Umwandlungsbilanz, Saldo von Lieferungen und Bezügen, Umwandlungseinsatz, Energieverbrauch im Umwandlungsbereich sowie den Fackel- und Leitungsverlusten. Unter Nutzung der Ergebnisse des Endenergieverbrauchs der Endenergiesektoren und zur Umwandlungsbilanz kann im letzten Schritt des Bottom-up-Verfahrens die Primärenergiebilanz für das jeweilige Jahr erstellt werden. Der Primärenergieverbrauch lässt sich von der

Verwendungsseite (Bottom-up) her ermitteln, indem die Summe aus dem Energieangebot nach Umwandlungsbilanz und dem Saldo der Umwandlungsbilanz gebildet wird. Das Energieaufkommen resultiert aus der Summe des Primärenergieverbrauches, den Lieferungen sowie den Bestandsaufstockungen. Das Energieaufkommen im Inland wird in einem weiteren Schritt auf die Energiegewinnung im Inland, die Einfuhr und die Bestandsentnahmen auf Basis von Annahmen abgeleitet.

Die Abbildung 3 zeigt einen Überblick über die Rolle der verschiedenen Sektoren und deren Zusammenhang bei der Modellierung der Szenarien.



Abbildung 3 Schematische Modelldarstellung der Szenariengestaltung
Quelle: Darstellung IE Leipzig

2.5 Analyse der Ausgangslage

2.5.1 Letzte verfügbare Energiebilanz

Für die Energiebilanz lagen zum Bearbeitungszeitpunkt im ersten Quartal 2024 die letzten Zahlen für das Jahr 2020 vor. Als Basisjahr für die vergleichenden Betrachtungen wurde daher das Jahr 2020 festgelegt. Die Ergebnisse für die wesentlichen Stützjahre von 1990

bis 2020 können in Abbildung 3 links abgelesen werden. Die Daten sind den Veröffentlichungen des Länderarbeitskreises Energiebilanzen [LAK 2023] entnommen.

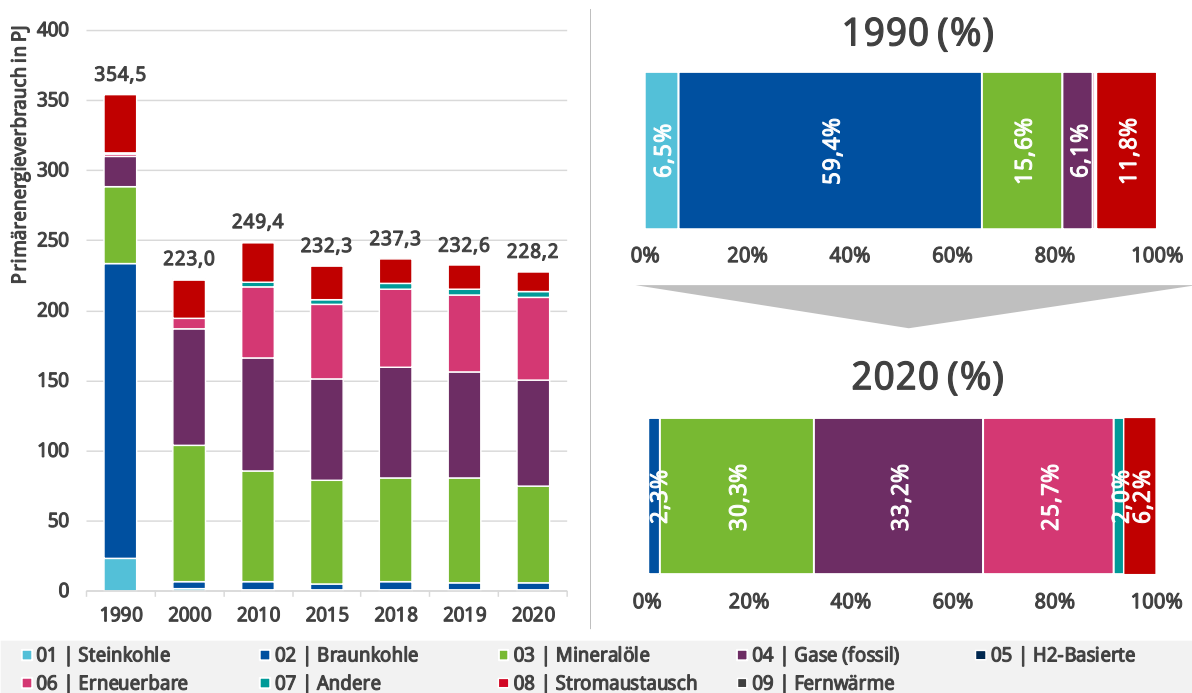


Abbildung 4 Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in Thüringen in ausgewählten Jahren von 1990 bis 2020

Quelle: Energiebilanz [LAK 2023]; Darstellung IE Leipzig (Andere Energieträger: Darunter werden alle Stoffe zusammengefasst, welche nicht den übrigen Energieträgern zugeordnet werden können. Es handelt sich hierbei insbesondere um nicht-biogene Abfall- und Reststoffe, Synthesegas, Ölschiefer, Torf sowie die von Gasentspannungsmotoren und aus Abhitze erzeugte Energie.)

Abbildung 4 zeigt, dass sich in den 1990er Jahren zuerst die Abkehr von der Braunkohlenutzung vollzog, im Jahrzehnt danach entwickelte sich besonders der Ausbau der erneuerbaren Energiequellen. Der rote Balken (Stromaustausch) weist darauf hin, dass Thüringen in diesen Jahren durchweg Strom importierte, weil im

Freistaat weniger erzeugt als verbraucht wurde, der Anteil des Strombezuges am gesamten Bruttostromverbrauch nahm von 2010 bis 2020 von 52 % auf 26 % ab. Die Energiebilanzen bilden für alle Sektoren, in denen Energie verbraucht wird, die zentrale Grundlage für die weiteren Berechnungen.

2.5.2 Annahmen zu den Jahren 2021 bis 2024

Die Datenlage zu den Jahren 2021 bis 2023 ist fallweise unterschiedlich. Für die Zeitreihen, die in die Szenarien als Grundlagen eingehen, werden alle Quellen berücksichtigt, die bis einschließlich Januar 2024 veröffentlicht waren.

Für die Jahre bis 2024 werden zudem Entwicklungsannahmen getroffen, die aus dem Kenntnisstand Januar

2024 heraus plausibel erscheinen, und die in den in Kapitel 3 dargestellten Szenarien gleich sind. Damit wird erreicht, dass im Fall der Umsetzung von Maßnahmen nach Veröffentlichung der Transformationsstudie nur solche Effekte abgebildet werden können, die sich anschließend (d. h. ab 2025) aus den Maßnahmen ergeben.

2.5.3 Sozioökonomische Rahmendaten

Als Grundlage für die zukünftige Entwicklung werden jene sozioökonomischen Rahmenbedingungen festgelegt, die maßgeblich den künftigen Energieverbrauch und die Entwicklung der Treibhausgasemissionen beeinflussen.

Demographie

Mit etwa 2,12 Millionen Einwohnern am 31. Dezember 2020 [TLS 2023d] und einer daraus resultierenden Bevölkerungsdichte von 131 Einwohnern pro Quadratkilometer ist die Bevölkerungsdichte Thüringens seit 1990 um 17 % gesunken (1990: 2,61 Millionen Einwohner und 161 Einwohner pro km²).

Im Dezember 2022 veröffentlichte das Statistische Bundesamt die Ergebnisse der 15. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung für Deutschland. Das Thüringer Landesamt für Statistik erstellte daraufhin die 3. regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung Thüringens [TLS 2023d] in Anlehnung an die Variante 2 (G2-L2-W2) der 15. kV des Bundes und der Länder. Gemäß dem verfolgten Bottom-up-Ansatz ergibt die

Summe der Berechnungen der Landkreise und kreisfreien Städte das Gesamtergebnis für den Freistaat Thüringen.

Laut aktuellen Erkenntnissen wird die Einwohnerzahl aufgrund des demografischen Wandels in den nächsten Jahren weiter zurückgehen. Die zunehmende Alterung der Bevölkerung führt zudem zu einem wachsenden Geburtendefizit, was sich ebenfalls negativ auf die Einwohnerzahl auswirkt. Selbst bei einer angenommenen starken Zuwanderung in Thüringen wird der kontinuierliche Bevölkerungsrückgang laut den Bevölkerungsvorausberechnungen des Statistischen Bundesamtes mittel- bis langfristig anhalten [Destatis 2024].

Die Projektion der Treibhausgasemissionen im Referenz- und Zielszenario erfolgt auf Basis der dritten regionalisierten Bevölkerungsvorausberechnung für Thüringen [TLS 2023d] (siehe Variante 4 in Abbildung 5). Im Vergleich zu 2020 wird die Einwohnerzahl in Thüringen bis zum Jahr 2045 um 0,217 Millionen zurückgehen. Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Rückgang von etwa 0,4 %.

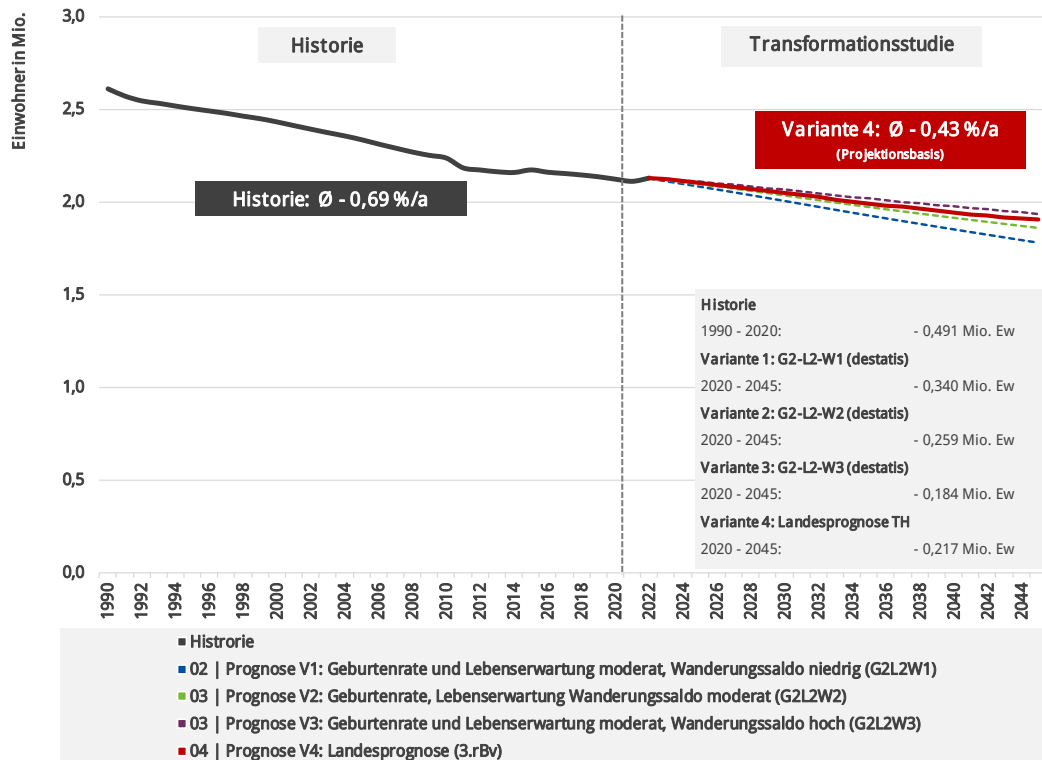


Abbildung 5 Historie der Bevölkerungsentwicklung und Varianten der Bevölkerungsprojektion in Thüringen

Quelle: [TLS 2023d], [Destatis 2024], Variante 1 - Geburtenrate und Lebenserwartung moderat, Wanderungssaldo niedrig (G2L2W1), Variante 2 - Geburtenrate, Lebenserwartung Wanderungssaldo moderat (G2L2W2), Variante 3 - Geburtenrate und Lebenserwartung moderat, Wanderungssaldo hoch (G2L2W3), Variante 4 - Landesprognose dritte regionalisierte Bevölkerungsvorausberechnung, Darstellung IE Leipzig

Gesamtwirtschaft

Nach den tiefen Einschnitten durch die weltwirtschaftliche Krise ab Mitte 2008 und einem erneuten Rückgang des Bruttoinlandsprodukts infolge der COVID-19-Pandemie im Jahr 2020 erholte sich die Wirtschaftsleistung im Jahr 2021 wieder (siehe Abbildung 6). Die Ableitung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung (BIP) erfolgt auf Basis der Herbstprojektion der Bundesregierung vom 11.10.2023 [BMWK/BMF 2023], die bis zum Jahr 2028 reicht. Die darüberhin-
ausgehende Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts bis zum Jahr 2045 wird in Anlehnung an die für

Deutschland angenommene Entwicklung im Projektionsbericht 2023 [UBA 2023a] unter Berücksichtigung der spezifischen Wirtschaftsstruktur Thüringens sowie des im Vergleich zur gesamtdeutschen Ebene deutlicheren Bevölkerungsrückgangs fortgeschrieben. Im Projektionsbericht wird für die Projektion des preisbereinigten Bruttoinlandsprodukts ein durchschnittliches Wachstum von 1,13 % pro Jahr für den Zeitraum 2020 bis 2045 für Deutschland angenommen [UBA 2023a]. Für Thüringen wird ein langfristiges Wachstum des Bruttoinlandsprodukts (BIP) um jährlich durchschnittlich 0,69 % (preisbereinigt, real) bis zum Jahr 2045 erwartet (siehe Abbildung 6).

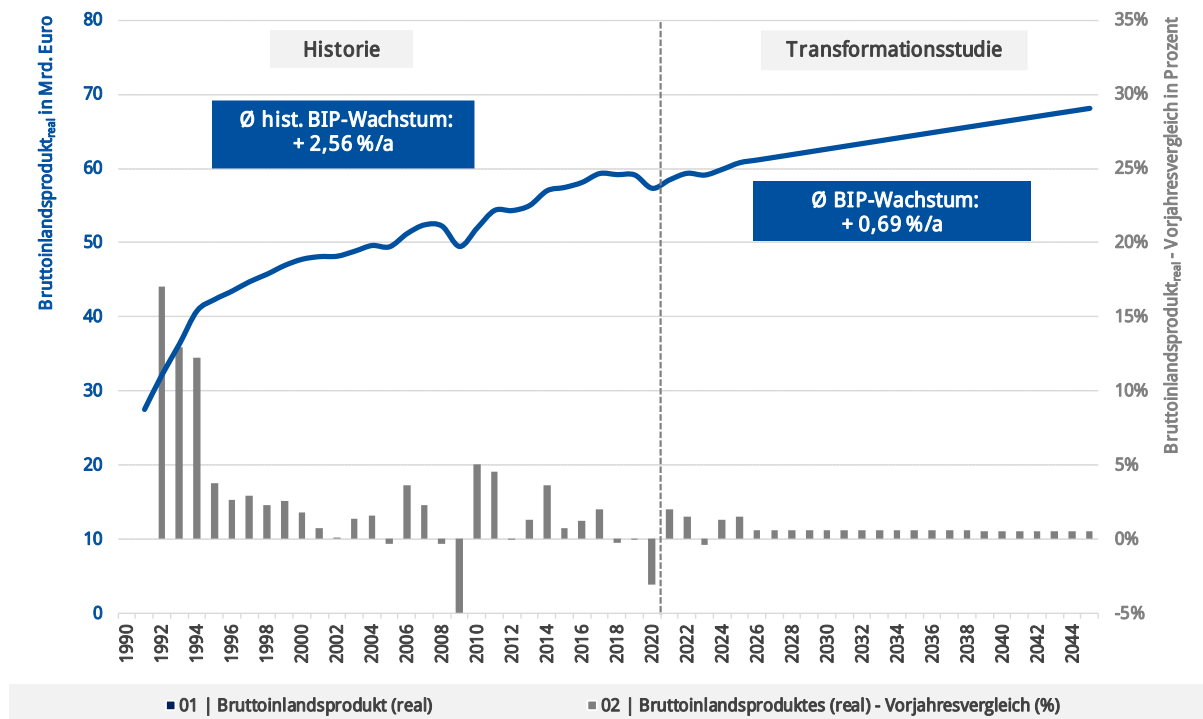


Abbildung 6 Historie und Projektion des Bruttoinlandsproduktes (preisbereinigt, Basis 2015)

Quelle: [VGRdL 2024], [UBA 2023a], [BMWK/BMF 2023], Fortschreibung und Darstellung IE- Leipzig

Bruttowertschöpfung

Hinter der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, die durch das Bruttoinlandsprodukt ausgedrückt wird, verbergen sich verschiedene Veränderungen in den einzelnen Branchen Thüringens. Diese Veränderungen lassen sich anhand der realen Bruttowertschöpfung¹³, das heißt preisbereinigt auf Basis des Jahres 2015, in den folgenden Wirtschaftsbereichen und Sektoren beschreiben:

- 01 | Land- und Forstwirtschaft (WZ A)
- 02 | Verarbeitendes Gewerbe, Bergb. (WZ B-C)
- 03 | Energie, Wasser, Entsorgung (WZ D-E)
- 04 | Baugewerbe (WZ F)
- 05 | Wirtschaftsdienstleistungen (WZ G-N)
- 06 | Öffentliche Dienstleistungen (WZ O-T)

Im Vergleich zu 2000 stieg die reale Bruttowertschöpfung im Primärsektor (01) und im Sekundärsektor (02, 03, 04) bis 2020 um etwa 33 %. Diese Entwicklung wurde maßgeblich vom verarbeitenden Gewerbe beeinflusst. Im Dienstleistungssektor (05, 06) erhöhte sich die Bruttowertschöpfung im gleichen Zeitraum hingegen um rund 25 %.

Die zukünftige Entwicklung der Bruttowertschöpfung wird analog zur prognostizierten Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts für Deutschland [UBA 2023a] unter Berücksichtigung der spezifischen Wirtschaftsstruktur Thüringens fortgeschrieben. Die unterschiedliche Bedeutung der Wirtschaftszweige zeigt sich anhand der Anteile der Erwerbstätigen in Thüringen und Deutschland im Jahr 2022 [VGRdL 2024]:

- Land- und Forstwirtschaft, Fischerei (WZ A)
Thüringen: 1,6 % | Deutschland: 1,2 %
- Produzierendes Gewerbe (WZ B-F)
Thüringen: 28,9 % | Deutschland: 23,6 %
- Dienstleistungsbereiche (WZ G-T)
Thüringen: 69,5 % | Deutschland: 75,2 %

Es wird angenommen, dass Thüringen seine internationale Wettbewerbsfähigkeit beibehält, wodurch der Anteil des verarbeitenden Gewerbes an der gesamten Wirtschaftsleistung aufgrund der Rückgänge in einwohnerbedingten Wirtschaftsbereichen leicht ansteigen wird. Weiterhin wird erwartet, dass sich der Trend zur Dienstleistungs- und Wissensgesellschaft weiter verfestigt, wodurch die Bedeutung der Wirtschaftsdienstleistungen (06) zunimmt (siehe Abbildung 7). Die Bruttowertschöpfung des Baugewerbes (04) und des Sektors Energie, Wasser und Entsorgung (03) wird aufgrund erforderlicher Effizienzmaßnahmen und des Umbaus der Energieversorgung steigen. Allerdings wird die Bruttowertschöpfung des Baugewerbes nach Abschluss der notwendigen Maßnahmen am Ende des Betrachtungszeitraums wieder sinken (siehe Tabelle 3). Öffentliche Dienstleistungen (05), die vor allem Leistungen des Freistaates Thüringen sowie der Kommunen und Gemeinden umfassen, werden aufgrund des erwarteten Bevölkerungsrückgangs nur noch minimal ansteigen und somit zukünftig einen geringeren Anteil an der Bruttowertschöpfung haben.

¹³ Unter der Bruttowertschöpfung wird dabei der Gesamtwert aller produzierten Waren und Dienstleistungen abzüglich der sogenannten Vorleistungen verstanden. Das sind alle Waren und Dienstleistungen, die während der Produktion verarbeitet oder verbraucht werden. Die

Bruttowertschöpfung ist bewertet zu Herstellungspreisen, das heißt ohne die auf die Güter zu zahlenden Steuern (Gütersteuern), aber einschließlich der empfangenen Gütersubventionen.

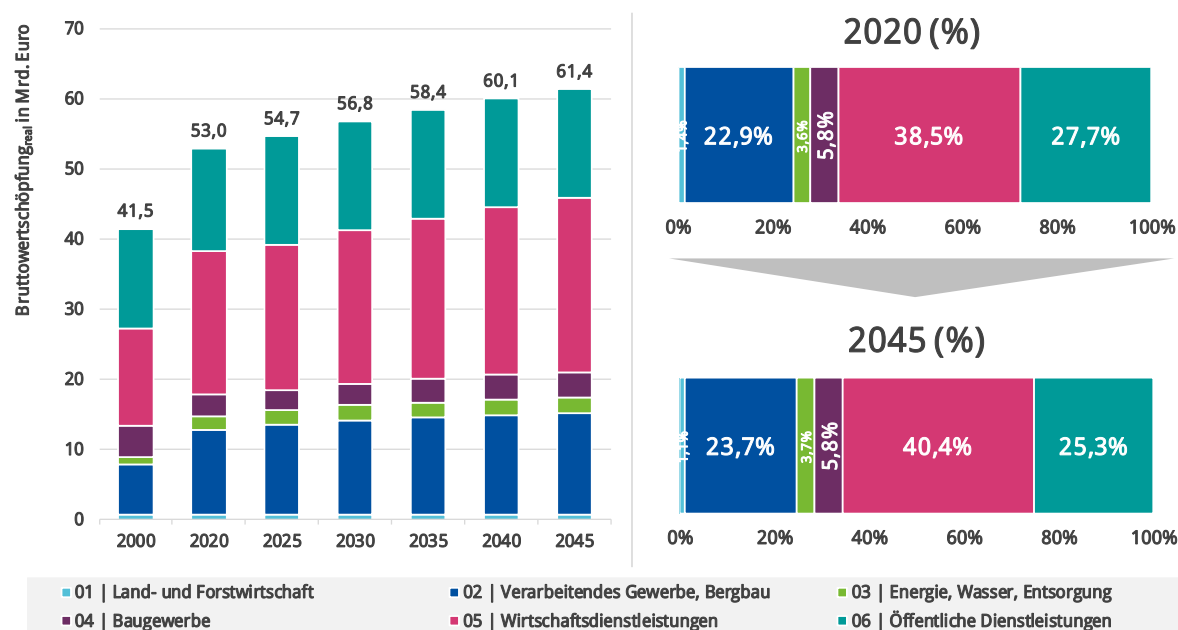


Abbildung 7 Historie und Projektion der Bruttowertschöpfung nach Sektoren (preisbereinigt, Basis 2015)
Quelle: [VGRdL 2024], Fortschreibung auf Basis [UBA 2023a], [BMWK/BMF 2023], Berechnung und Darstellung IE- Leipzig

Bruttowertschöpfung _{real} in Mrd. Euro	2000	2020	2025	2030	2035	2040	2045
01 Land- und Forstwirtschaft	0,76	0,73	0,71	0,69	0,68	0,67	0,65
02 Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau	7,11	12,14	12,87	13,50	13,87	14,24	14,54
03 Energie, Wasser, Entsorgung	0,99	1,93	2,01	2,11	2,18	2,25	2,28
04 Baugewerbe	4,54	3,08	2,89	3,13	3,31	3,49	3,58
05 Wirtschaftsdienstleistungen	13,89	20,40	20,75	21,92	22,91	23,89	24,82
06 Öffentliche Dienstleistungen	14,23	14,67	15,45	15,48	15,50	15,51	15,53
Thüringen Gesamt	41,52	52,95	54,69	56,84	58,45	60,06	61,40

Tabelle 3 Historie und Projektion der Bruttowertschöpfung nach Sektoren (preisbereinigt, Basis 2015)
Quelle: [VGRdL 2024], Fortschreibung auf Basis [UBA 2023a], [BMWK/BMF 2023], Berechnung und Darstellung IE- Leipzig

Erwerbstätige

Für die Projektion der Treibhausgasszenarien wird von einem deutlichen Rückgang der Erwerbstätigen ausgegangen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die erwarteten Produktivitätssteigerungen über den Wachstumsraten des Bruttoinlandsprodukts liegen. Bis zum Jahr 2045 wird daher von einem Rückgang der

Erwerbspersonen um ca. 10,4 % gegenüber 2020 auf ca. 0,92 Mio. Personen ausgegangen (vgl. Abbildung 8). Die Zahl der Einwohner im potenziell erwerbsfähigen Alter (20 bis 65 Jahre) sinkt bis 2045 gegenüber 2020 deutlich stärker um 17 % auf rund 0,99 Mio. Einwohner. Unter den getroffenen Annahmen wird daher die Arbeitslosigkeit deutlich zurückgehen, was

allerdings eine den Arbeitsplätzen entsprechende Qualifizierung voraussetzt.

Aufgrund der unterstellten unterschiedlichen Produktivitätsfortschritte in den Sektoren wird analog zu davon ausgegangen, dass die Zahl der Erwerbstätigen im Verarbeitenden Gewerbe (02) gegenüber 2020 um rund 29 % zurückgeht. Im Sektor Energie, Wasser und Entsorgung (03) wird hingegen ein Anstieg der Erwerbstätigenzahlen erwartet, der auf eine stärkere Dezentralisierung der Stromerzeugung sowie auf die

Substitution von Importenergien mit den damit verbundenen positiven regionalen Wertschöpfungseffekten zurückzuführen ist. In den anderen Sektoren werden eher geringe Produktivitätsimpulse erwartet. Aufgrund des Bevölkerungsrückgangs wird die Zahl der Erwerbstätigen in den Dienstleistungssektoren (05, 06) bis 2045 voraussichtlich um rund 5,1 % zurückgehen (vgl. Tabelle 4).

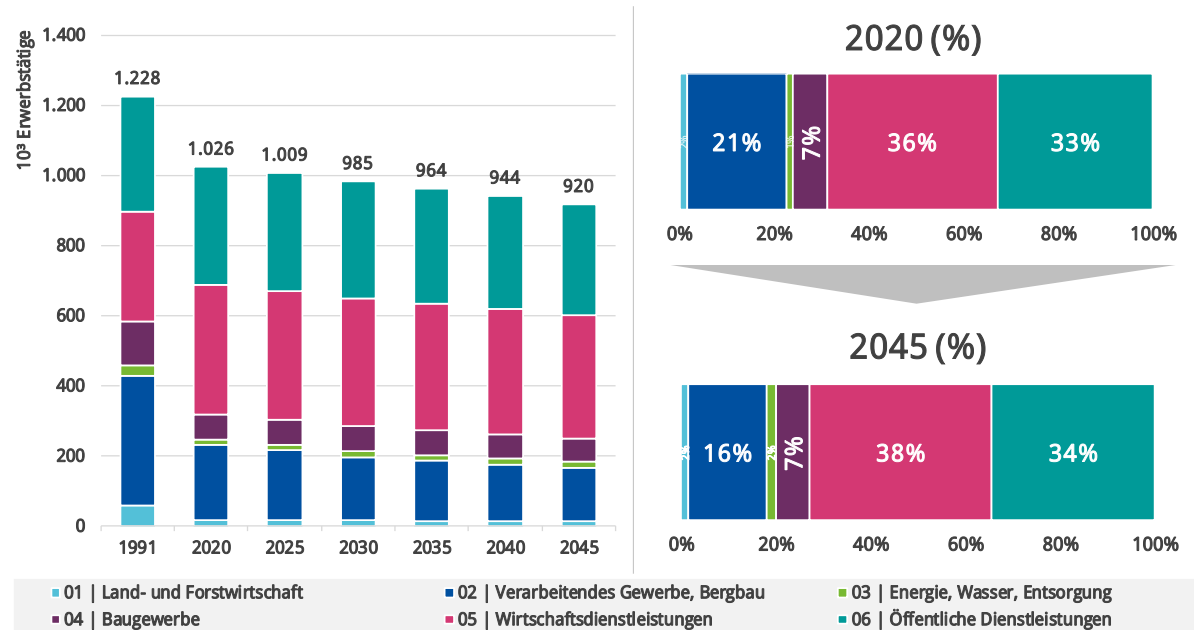


Abbildung 8 Historie und Projektion der Zahl der Erwerbstätigen im Inland nach Sektoren
Quelle: [VGRdL 2024], [UBA 2023a], Fortschreibung und Darstellung IE- Leipzig

Erwerbstätige in 1.000	1991	2020	2025	2030	2035	2040	2045
01 Land- und Forstwirtschaft	58,6	17,4	16,3	15,8	15,3	14,7	14,1
02 Verarbeitendes Gewerbe, Bergbau	370,7	213,9	199,3	181,8	171,1	160,5	151,6
03 Energie, Wasser, Entsorgung	28,1	15,1	15,4	15,2	15,9	16,6	17,3
04 Baugewerbe	126,1	73,4	71,7	72,8	71,5	70,2	66,6
05 Wirtschaftsdienstleistungen	314,8	369,3	367,4	365,6	361,9	358,3	352,9
06 Öffentliche Dienstleistungen	329,2	337,1	339,1	333,7	328,7	323,7	317,2
Thüringen Gesamt	1227,6	1026,2	1009,3	984,9	964,4	943,9	919,7

Tabelle 4 Historie und Projektion der Zahl der Erwerbstätigen nach Sektoren
Quelle: [VGRdL 2024], [UBA 2023a], Fortschreibung und Darstellung IE- Leipzig

Überblick sozioökonomischer Annahmen

Mit der Projektion der zukünftigen Entwicklung von

- Bevölkerung (01),
- Bruttoinlandsprodukt (02) und
- Erwerbstätigen (03).

sind die wesentlichen sozioökonomischen Rahmenbedingungen Thüringens definiert, die einen relevanten Einfluss auf den künftigen Energieverbrauch bzw. die THG-Emissionen haben.

Abbildung 9 zeigt den indizierten Verlauf dieser Entwicklungsgrößen im Zeitraum 1990 bis 2045 im Vergleich. In den für die Transformationsstudie relevanten Zeitraum 2020 bis 2045 zeigt sich ein deutlicher Rückgang der Einwohner. Bedingt durch den Bevölkerungsrückgang und den bereits erfolgten wirtschaftlichen

Regenerationsprozess Thüringens Mitte der 1990er Jahre, wird die zukünftige Steigerung des Bruttoinlandsproduktes bis zum Jahr 2045 deutlich geringer als noch im Zeitraum 1990 bis 2020 ausfallen. Da die zukünftig zu erwartenden Produktivitätsfortschritte voraussichtlich höher ausfallen werden als die Wachstumsraten des Bruttoinlandsproduktes (real), wird die Erwerbstätigenzahl Thüringens bis 2045 zurückgehen. Dabei sinkt die Zahl der Einwohner im potenziell erwerbsfähigen Alter zukünftig stärker als die Einwohnerzahl. Somit wird unterstellt, dass der Arbeitskräftebedarf durch eine Anhebung des durchschnittlichen Erwerbstätigenalters mit den erforderlichen Qualifikationsmaßnahmen gedeckt werden können.

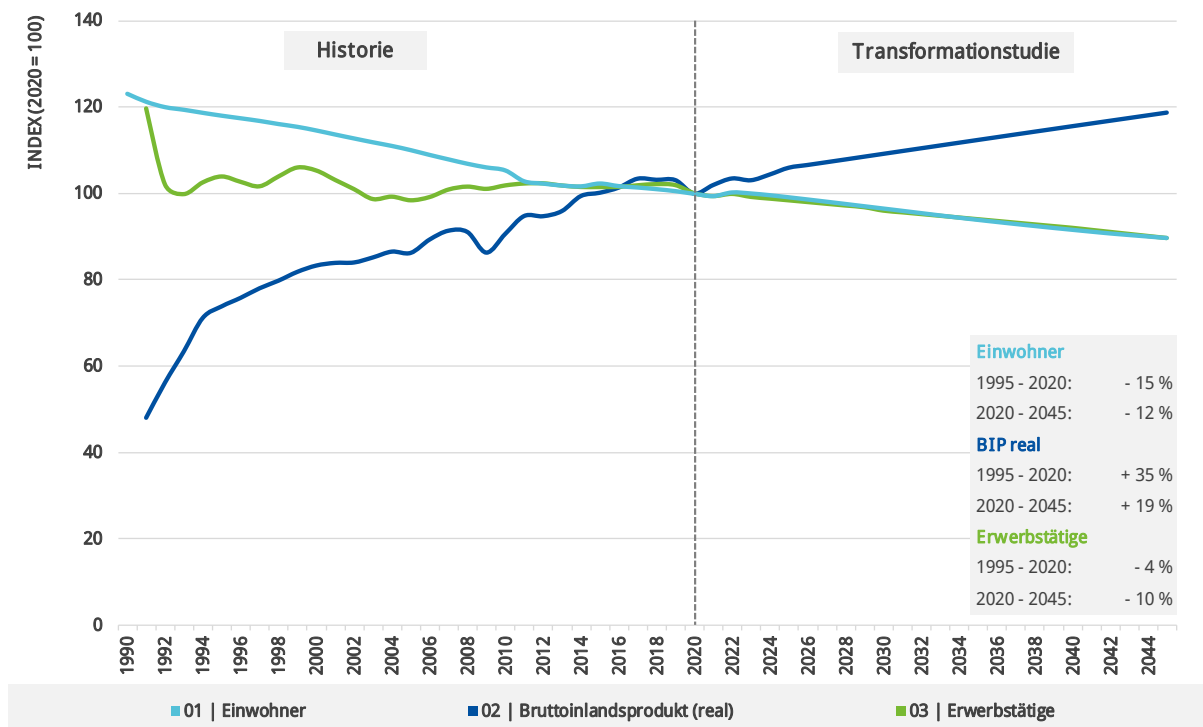


Abbildung 9 Index zu den sozioökonomischen Rahmenbedingungen im Überblick (2020 = 100)

Quelle: [TLS 2023d], [Destatis 2024], [VGRdL 2024], [UBA 2023a], [BMWK/BMF 2023], Berechnung und Darstellung IE Leipzig

2.5.4 Strategien und Programme des Landes

Die vorliegenden Strategien und Programme des Freistaates Thüringen (Stand Januar 2024) wurden im Hinblick auf Planungen und deren klimarelevante Auswirkungen ausgewertet. Dazu gehören:

- Landesentwicklungsprogramm Thüringen 2025 [TMBLV 2014, relevant für die Sektoren Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft und LULUCF.
- Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie (inkl. Landeswärmestrategie) [TMUEN 2019], betrifft alle Sektoren.
- Thüringer Landesstrategie Wasserstoff, [ThEGA/TMUEN 2021], ist vor allem für die Sektoren Industrie, Energiewirtschaft und Verkehr relevant.
- Masterplan – Perspektiven für die Entwicklung der Eisenbahn-Schieneninfrastruktur in Thüringen [TMIL 2023a], betrifft den Verkehrssektor.
- Radverkehrskonzept 2.0 für den Freistaat Thüringen [TMIL 2018], ist relevant für den Verkehrssektor.
- Landesstraßenbedarfsplan 2030 [TMIL 2019a], betrifft den Verkehrssektor.
- Positionspapier zur Weiterentwicklung des ökologischen Landbaus in Thüringen [TMIL 2023d], relevant für den Landwirtschaftssektor.
- Landesabfallwirtschaftsplan Thüringen [LAWP 2018], betrifft den Sektor Sonstige.
- Aktionsplan Wald 2030 ff. [TMIL 2019b], ist relevant für die Forstwirtschaft (LULUCF).

Soweit möglich wurden Entwicklungen während des Bearbeitungszeitraums aufgegriffen. Für die einzelnen Sektoren zeigten sich dabei die folgenden Planungen als besonders relevant mit Blick auf die Wirkung auf die THG-Emissionen:

Sektor Energiewirtschaft

Der Sektor Energiewirtschaft wird überwiegend von EU- und bundesweit geltenden Rahmenbedingungen bestimmt. Für Thüringen maßgeblich sind darüber hinaus insbesondere die Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie (inkl. Landeswärmestrategie) [TMUEN 2019] sowie die Thüringer Landesstrategie Wasserstoff [ThEGA/TMUEN 2021].

Sektor Industrie

Als moderner Produktions- und Entwicklungsstandort in allen Wirtschaftsbereichen ist der Industriesektor Thüringens zentraler Teil diverser Strategien und Planungen auf Landesebene. Hinsichtlich Energie und Klima sind hier speziell die Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie [TMUEN 2019] und die Thüringer Landesstrategie Wasserstoff [ThEGA/TMUEN 2021] zu nennen.

Die auf EU-Ebene geltenden Richtlinien bezüglich FKW, wie die EU-Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluoridierte Treibhausgase und die nationale Chemikalien-Klimaschutzverordnung (ChemKlimaschutzV), die bestimmte fluorhaltige Treibhausgase regelt, gelten für alle Bundesländer gleichermaßen.

Sektor Gebäude

Die zentrale Planungs- und Strategiegrundlage für den Gebäudesektor Thüringens hinsichtlich Energie und Klima ist die Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie [TMUEN 2019a], speziell die Arbeiten zur Landeswärmestrategie, die als Teil der IEKS veröffentlicht wurden.

Sektor Verkehr

Das Landesentwicklungsprogramm 2025 [TMLV 2014] wurde 2014 erstellt und enthält in Kapitel 4.5 die Leitlinien zur Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur. Es dient auch aktuell noch als Grundlage für weitere Planungen, so etwa den Masterplan Schiene von 2023 [TMIL 2023a]. Im Herbst 2023 wurde der Nahverkehrsplan SPNV Thüringen 2023 – 2027 erst im Entwurf bekannt, ein vollständiges öffentliches Dokument liegt noch nicht vor. Einige Elemente wurden jedoch im Oktober 2023 bekannt [EVN 2023].

Der Landesstraßenbedarfsplan (LStrBPl) ist der strategische Rahmen für die Entwicklung der Straßenverkehrsinfrastruktur. Er wurde im August 2019 veröffentlicht [TMIL 2019a].

Für den Radverkehr ist das Radverkehrskonzept 2.0 die maßgebliche Planungsgrundlage [TMIL 2018], zu dem 2023 ein erster Umsetzungsbericht veröffentlicht wurde [TMIL 2023b].

Die genannten Konzepte wirken sich auf den Klimaschutz dadurch aus, dass durch sie das Angebot für die verschiedenen Verkehrsträger bestimmt wird. Die Nachfrage und damit der Modal Split reagieren auf dieses Angebot. Damit können sich Verlagerungseffekte zu mehr oder weniger klimafreundlichen Verkehrsmitteln einstellen. Zudem benennt der Masterplan Schiene auch Elektrifizierungsvorhaben und ordnet diesen eine Priorität zu, was sich auf den Energieträgereinsatz auswirken wird.

Sektor Landwirtschaft

Die Land- und Ernährungswirtschaft trägt eine große Verantwortung für Umwelt, Klima und Gesellschaft. Mit der Umstellung auf den ökologischen Landbau werden umweltbelastende Stoffeinträge aus der

Landwirtschaft konsequent reduziert und die Artenvielfalt in der Agrarlandschaft gefördert. Mit einem Positionspapier wird der Weiterentwicklung des ökologischen Landbaus in Thüringen eine besondere Priorität eingeräumt [TMIL 2023d].

Sektor Sonstige

Der Landesabfallwirtschaftsplan Thüringen, kurz LAWP, dient der abfallwirtschaftlichen Planung in Thüringen und enthält Mindestinhalte zur Umsetzung der europäischen Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle sowie der Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen und Verpackungsabfälle. Er legt die Grundsätze und Ziele der Kreislauf- und Abfallwirtschaft im Freistaat Thüringen fest und bildet die Rechtsgrundlage für die abfallwirtschaftlichen Planungen. [LAWP 2018]. Der LAWP berücksichtigt auch die Abfallwirtschaftskonzepte der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger in Thüringen. Die Abfallwirtschaftskonzepte der öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (örE) in Thüringen umfassen Maßnahmen zur Vermeidung, Sammlung, Behandlung und Verwertung von Abfällen. Sie beinhalten Strategien zur Abfalltrennung, zum Ausbau der Infrastruktur sowie zur Öffentlichkeitsarbeit und setzen die gesetzlichen Vorgaben um. In Thüringen sind 20 öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger (örE) organisiert.

Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)

Stürme, Dürre, Borkenkäfer und auch Waldbrände haben dem Wald in Thüringen seit dem Jahr 2018 erheblich zugesetzt. Der Wald nimmt dabei eine Doppelrolle ein: Er ist einerseits Betroffener des Klimawandels, andererseits eines der wesentlichen Instrumente für den Klimaschutz. Die Wälder in Thüringen sind bezüglich

der vorhandenen Baumarten und deren Mischung vielfach nicht in der Lage, unter den sich ändernden Klimaverhältnissen zu bestehen. Der Umbau der Wälder hin zu stabileren Waldaufbauformen ist anspruchsvoll, da zum einen Unwägbarkeiten künftiger Entwicklungen bestehen und zum anderen ein Baumartenwechsel aufwendig und langwierig ist. Vor diesem Hintergrund

hat die Landesregierung den Aktionsplan »Grünes Herz Thüringen. Aktionsplan Wald 2030 ff.« beschlossen und darin mittel- und langfristige Maßnahmen für die Bewältigung der aktuellen Schäden sowie für die klimagerechte Anpassung der Wälder in Thüringen formuliert [TMIL 2019b]

3 THG-Minderungspfade in drei Szenarien

Im folgenden Kapitel wird beschrieben, welche Entwicklungsannahmen den jeweiligen Szenarien zu Grunde liegen und welche THG-Minderungspfade sich in den drei definierten Szenarien ergeben.

Je Sektor wird zunächst die Ausgangslage dargestellt, anschließend die drei Szenarien, die sich jeweils ab dem Jahr 2025 in ihren Entwicklungen unterscheiden können.

3.1 Sektor Energiewirtschaft

Der Sektor Energiewirtschaft mit den CRF-Kategorien „Verbrennung von Brennstoffen in der Energiewirtschaft (CRF 1.A.1)“, „Pipelinetransport (übriger Transport)“ und „Flüchtige Emissionen aus Brennstoffen (beides in CRF 1.B)“ umfasst den Bereich von der Bereitstellung der Primärenergie bis zur Versorgung Thüringens mit Endenergie. Prägend für diesen Bereich sind die Anlagen zur Strom- und Fernwärmeerzeugung. Hierzu zählen auch Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien wie Windkraft- und Photovoltaikanlagen, die nach dem Quellenprinzip jedoch als emissionsneutral gelten, weil der Aufwand zur Anlagenherstellung in den Produktionsstätten, nicht aber am Standort der Anlagen bilanziert wird. Zur Energieumwandlung gehören auch die Umwandlung von flüssigen oder gasförmigen Brenn- und Kraftstoffen sowie der Transport und die Speicherung von Energie. Neben der Energieumwandlung umfasst der Sektor Verluste in Kraft- und Heizwerken sowie Transport- und Speicherungsverluste im Zuge der Energieverwendung. Letztere umfassen vor allem die Netzverluste beim Transport von elektrischer Energie und Gas, die Verdichtungsarbeit beim Transport von Gas sowie den Energieaufwand für die Speicherung in Pumpspeicherkraftwerken oder in unterirdischen Gasspeichern.

Datengrundlage

Zentrale Datenquelle für die Beschreibung der bisherigen Entwicklung bis zum Jahr 2020 sind die Energiebilanzen des Thüringer Landesamtes für Statistik. In den Energiebilanzen werden folgende Anlagengruppen unterschieden:

- **Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK):** Wärmekraftwerke der Energieversorger zur ungekoppelten Stromversorgung.
- **Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK):** Strom- und Wärmeerzeugung ausschließlich auf Basis von Kraft-Wärme-Koppelung (KWK).
- **Industriewärmekraftwerke:** Verbuchung des Brennstoffeinsatzes für die Stromerzeugung, während der Brennstoffeinsatz für die Wärmeerzeugung in industriellen KWK-Anlagen beim Endenergieverbrauch ausgewiesen wird.
- **Wasserkraftanlagen:** Angaben zur Stromerzeugung aus Wasserkraft, die von allgemeinen und industriellen Wasserkraftwerken erzeugt wird oder von Dritten in das allgemeine Netz eingespeist wird. Als Umwandlungseinsatz wird zudem der Pumpstromaufwand und als

Umwandlungsausstoß die Pumpstromerzeugung von Pumpspeicherkraftwerken berücksichtigt. Dies gilt sinngemäß auch für den Strom In- und Output für Batteriespeicher.

- **Windenergie-, Photovoltaik- und andere Anlagen:** Anlagen der erneuerbaren Energieerzeugung (Windenergie, Photovoltaik, Kläranlagen, Deponiegas, Biogas und Geothermieanlagen sowie Biomassekraftwerke) außerhalb von Heizkraftwerken der allgemeinen Versorgung, mit Ausnahme der in einer gesonderten Zeile ausgewiesenen Wasserkraftwerke.
- **Heizwerke:** Anlagen, in denen der eingesetzte Primärenergieträger ausschließlich zur Wärmebereitstellung genutzt wird.
- **Sonstige Erzeuger:** Ortsgaswerke, Kohlenwertstoffbetriebe, chemische Industrie, Raffinerien, Aufbereitungsanlagen, BHKW usw.
- **Verbrauch in der Energiegewinnung und Umwandlung:** Eigenverbrauch aller Strom- und Fernwärmeerzeugungsanlagen.
- **Fackel- und Leitungsverluste:** Fackelverluste treten bei der Gewinnung oder Erzeugung von Gasen auf, Leitungsverluste bei den leitungsgebundenen Energieträgern Erdgas (flüchtige Emissionen CRF 1.B), Strom und Fernwärme.

In den Jahren 2021 bis 2023 wurden zusätzliche Datenquellen integriert, um die gegenwärtige Entwicklung im Modell möglichst realistisch darzustellen. Dies waren Daten des Thüringer Landesamtes für Statistik für ausgewählte Merkmale zur Energiewirtschaft und Leistungsdaten aus dem Marktstammdatenregister der BNetzA (MaStR):

- Stromerzeugung der Kraftwerke der allgemeinen Versorgung in Thüringen bis 2022
- Gesamtstromerzeugung nach Energieträgern in Thüringen bis 2022 [TLS 2024a]

- Nettowärmeerzeugung der Kraftwerke der allg. Versorgung bis 2022 [TLS 2024a]
- Wärmeerzeugung, Bezug und Abgabe nach Abnehmergruppen der Kraftwerke der allg. Versorgung sowie der Heizwerke in Thüringen bis 2022 [TLS 2024a]
- Bruttoleistung zur Stromerzeugung nach Energieträgern bis 2023 gemäß MaStR (Stand 01.01.2024)

Durch die Zusammenführung dieser Quellen wurde im IE Leipzig eine realitätsnahe Schätzung für die Jahre 2021 bis 2023 vorgenommen.

Bisherige Entwicklung

Die Bruttostromerzeugung in Thüringen ist zwischen den Jahren 1990 und 2023 um insgesamt 8,9 TWh auf rund 11,1 TWh gestiegen (vgl. Tabelle 5). Ausschlaggebend für den Anstieg der Bruttostromerzeugung war der deutliche Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ab dem Jahr 2000. Dominiert wurde und wird die regenerative Stromerzeugung in Thüringen durch Windenergieanlagen, Biomasse- und Biogasanlagen sowie Photovoltaik (2023: ca. 94 %). Wasserkraft und Klär-, Deponiegas und sonstige Erneuerbare trugen 2023 nur unwesentlich (ca. 6 %) zur gesamten regenerativen Stromerzeugung bei. Durch den starken Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Thüringen (von 2000 bis 2023 um den Faktor 8) erhöhte sich der Anteil der erneuerbaren Energien an der gesamten Bruttostromerzeugung in Thüringen auf 61,8 % und am Bruttostromverbrauch auf 45,6 % (vgl. Tabelle 5). Unter Berücksichtigung der Zunahme der konventionellen (fossilen) Stromerzeugung sank der Anteil des Stromimports am Bruttostromverbrauch auf ca. 26,2 % im Jahr 2023.

Der Netto-Fernwärmeverbrauch ist zwischen 1990 und 2023 um ca. 4 TWh auf ca. 3,5 TWh gesunken, parallel

dazu ist auch die Brutto-Fernwärmeerzeugung zurückgegangen. Die größten Rückgänge des Fernwärmeverbrauchs waren in den Sektoren Industrie (-2,3 TWh) und Haushalte (-1,1 TWh) zu verzeichnen (siehe Tabelle 6).

Stromerzeugung und -verbrauch in TWh/a	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	2022	2023
01 Bruttostromerzeugung	2,22	3,64	7,36	9,13	10,49	10,29	11,11	10,24	10,89	11,20
- Bruttostromerzeugung aus fossilen Energieträgern	2,13	2,56	2,43	1,88	2,08	1,86	1,91	2,14	1,89	1,88
- Bruttostromerzeugung aus Speichern	0,00	0,23	1,94	1,89	2,30	2,08	2,34	1,98	2,04	2,03
- Bruttostromerzeugung EE	0,10	0,84	3,00	5,35	6,10	6,35	6,87	6,12	6,97	7,30
- Wasserkraft	0,03	0,20	0,34	0,19	0,18	0,14	0,18	0,21	0,19	0,19
- Windkraft	0,00	0,24	1,03	2,18	2,72	3,14	3,25	2,77	3,13	3,23
- Photovoltaik	0,00	0,00	0,18	1,07	1,30	1,37	1,54	1,50	1,82	2,05
- Biomasse	0,07	0,38	1,41	1,88	1,86	1,66	1,85	1,60	1,79	1,79
- Klär-, Deponiegas und sonst. EE	0,00	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
02 Eigenenergieverbrauch	0,33	0,09	0,23	0,20	0,35	0,16	0,18	0,17	0,18	0,18
03 Nettostromerzeugung	1,89	3,54	7,13	8,93	10,14	10,13	10,93	10,07	10,72	11,02
04 Stromaustauschsaldo	11,58	7,62	7,97	6,70	4,98	4,66	3,95	4,84	4,40	4,03
05 Bruttostromverbrauch (LAK)	13,80	11,26	15,34	15,83	15,46	14,95	15,06	15,08	15,29	15,24
06 Pump- & Batteriespeicher	0,55	0,33	2,48	2,42	2,97	2,69	3,03	2,57	2,64	2,63
07 Netzverluste	1,20	0,57	0,15	0,38	0,46	0,49	0,55	0,51	0,54	0,56
08 Nettostromverbrauch - Endenergiesektoren	11,73	10,27	12,48	12,83	11,69	11,60	11,30	11,83	11,93	11,86
- Industrie	5,30	3,78	5,92	6,01	6,00	5,84	5,46	5,67	5,58	5,34
- Verkehr	0,30	0,08	0,25	0,20	0,22	0,20	0,20	0,26	0,29	0,32
- GHD	3,16	3,59	3,55	3,67	2,66	2,73	2,83	2,89	2,95	3,04
- Haushalte	2,97	2,82	2,77	2,95	2,82	2,83	2,81	3,01	3,11	3,16
EE-Anteile										
Anteil EE-Stromerzeugung an Bruttostromerzeugung	4,3%	23,2%	40,7%	58,6%	58,2%	61,7%	61,8%	59,8%	64,0%	65,1%
Anteil EE-Stromerzeugung am Bruttostromverbrauch	0,7%	7,5%	19,5%	33,8%	39,5%	42,4%	45,6%	40,6%	45,6%	47,9%
Anteil Stromaustausch am Bruttostromverbrauch	83,9%	67,7%	52,0%	42,3%	32,2%	31,2%	26,2%	32,1%	28,7%	26,5%

Tabelle 5 Entwicklung von Stromerzeugung und -verbrauch in Thüringen

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

Fernwärmeerzeugung und -verbrauch in TWh/a	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	2022	2023
01 Bruttofernwärmeerzeugung	8,70	4,35	4,55	3,83	3,78	3,91	4,06	3,97	3,95	3,95
02 Eigenverbrauch und Leitungsverluste	1,13	0,94	0,73	0,62	0,62	0,39	0,64	0,40	0,40	0,40
03 Nettofernwärmeverbrauch	7,57	3,40	3,82	3,21	3,16	3,51	3,42	3,56	3,55	3,54
- Industrie	3,06	0,52	0,90	0,83	0,92	0,91	0,88	0,91	0,84	0,80
- GHD	1,80	1,04	1,10	0,93	0,97	1,14	1,19	1,16	1,15	1,15
- Haushalte	2,70	1,85	1,82	1,46	1,27	1,46	1,35	1,49	1,56	1,59

Tabelle 6 Entwicklung von Fernwärmeerzeugung und -verbrauch in Thüringen

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

Die Energieumwandlung in Thüringen hat sich seit 1990 stark verändert. Es wurden nicht nur die Energieverluste der einzelnen Umwandlungsprozesse deutlich reduziert und damit die Wirkungsgrade erhöht, sondern es konnte auch auf eine Vielzahl von Energieumwandlungsprozessen verzichtet werden. Diese waren zuvor notwendig, um aus der Braunkohle - dem einzigen nennenswerten Primärenergieträger der DDR – hochveredelte Brennstoffe wie Braunkohlenbriketts und Stadtgas zu gewinnen. Alle Braunkohlenbrikettfabriken in Thüringen wurden stillgelegt (bis 2001) und das bezogene Stadtgas vollständig durch Erdgas ersetzt. Dadurch konnten die Umwandlungsverluste erheblich reduziert werden.

Zwischen 1990 und 2023 sank der Energieeinsatz zur Energieumwandlung um rund 16,5 TWh bzw. 57,4 PJ (-42,6 %), vor allem durch den Wegfall der Energieträger Kohle und Stadtgas (siehe Tabelle 7). Im Jahr 2023 wurde der Einsatz zur Energieumwandlung in Thüringen maßgeblich durch den Einsatz von Erdgas und erneuerbaren Energieträgern (Biomasse, Windkraft und Photovoltaik) bestimmt. Damit einhergehend konnte der Umwandlungssektor seit 1990 seine Treibhausgasemissionen um etwa 78 % reduzieren, von etwa 7,1 Mio. t CO_{2äq} im Jahr 1990 auf 1,5 Mio. t CO_{2äq} im Jahr 2023 (vgl. Abbildung 10). Die größte Reduktion fand zwischen 1990 und 1995 statt.

Umwandlungseinsatz in TWh/a	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	2022	2023
01 Steinkohle	2,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02 Braunkohle	29,68	0,36	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
03 Mineralöle	0,53	0,22	0,15	0,08	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,05
04 Gase (fossil)	0,73	7,80	7,16	6,02	6,90	6,34	6,31	6,25	6,11	6,04
05 H ₂ -Basierte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06 Erneuerbare	0,14	1,63	7,50	9,38	9,69	9,54	10,42	9,73	10,54	10,86
07 Andere	0,27	0,00	0,24	0,39	0,38	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
08 Strom	2,07	0,99	2,85	3,00	3,77	3,35	3,76	3,25	3,36	3,38
09 Fernwärme	1,13	1,10	1,02	0,79	0,76	0,41	0,39	0,16	0,16	0,16
Thüringen Gesamt	37,44	12,10	18,91	19,67	21,60	20,17	21,42	19,90	20,69	20,95
Umwandlungseinsatz in PJ/a	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	2022	2023
01 Steinkohle	10,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
02 Braunkohle	106,84	1,31	0,00	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02
03 Mineralöle	1,92	0,78	0,52	0,29	0,30	0,27	0,28	0,21	0,20	0,19
04 Gase (fossil)	2,62	28,08	25,76	21,69	24,82	22,81	22,73	22,49	21,99	21,74
05 H ₂ -Basierte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06 Erneuerbare	0,49	5,85	27,01	33,76	34,88	34,35	37,51	35,02	37,95	39,11
07 Andere	0,98	0,00	0,85	1,40	1,38	1,60	1,63	1,63	1,63	1,62
08 Strom	7,46	3,58	10,26	10,80	13,59	12,05	13,54	13,85	14,09	14,13
09 Fernwärme	4,08	3,96	3,67	2,84	2,74	1,47	1,39	0,58	0,58	0,57
Thüringen Gesamt	134,78	43,56	68,08	70,82	77,75	72,60	77,11	73,81	76,47	77,39
Umwandlungseinsatz in Prozent	1990	2000	2010	2015	2018	2019	2020	2021	2022	2023
01 Steinkohle	7,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
02 Braunkohle	79,3%	3,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
03 Mineralöle	1,4%	1,8%	0,8%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%	0,2%
04 Gase (fossil)	1,9%	64,5%	37,8%	30,6%	31,9%	31,4%	29,5%	30,5%	28,8%	28,1%
05 H ₂ -Basierte	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
06 Erneuerbare	0,4%	13,4%	39,7%	47,7%	44,9%	47,3%	48,6%	47,4%	49,6%	50,5%
07 Andere	0,7%	0,0%	1,3%	2,0%	1,8%	2,2%	2,1%	2,2%	2,1%	2,1%
08 Strom	5,5%	8,2%	15,1%	15,3%	17,5%	16,6%	17,6%	18,8%	18,4%	18,3%
09 Fernwärme	3,0%	9,1%	5,4%	4,0%	3,5%	2,0%	1,8%	0,8%	0,8%	0,7%
Thüringen Gesamt	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 7 Entwicklung des Umwandlungseinsatzes der Energiewirtschaft in Thüringen

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

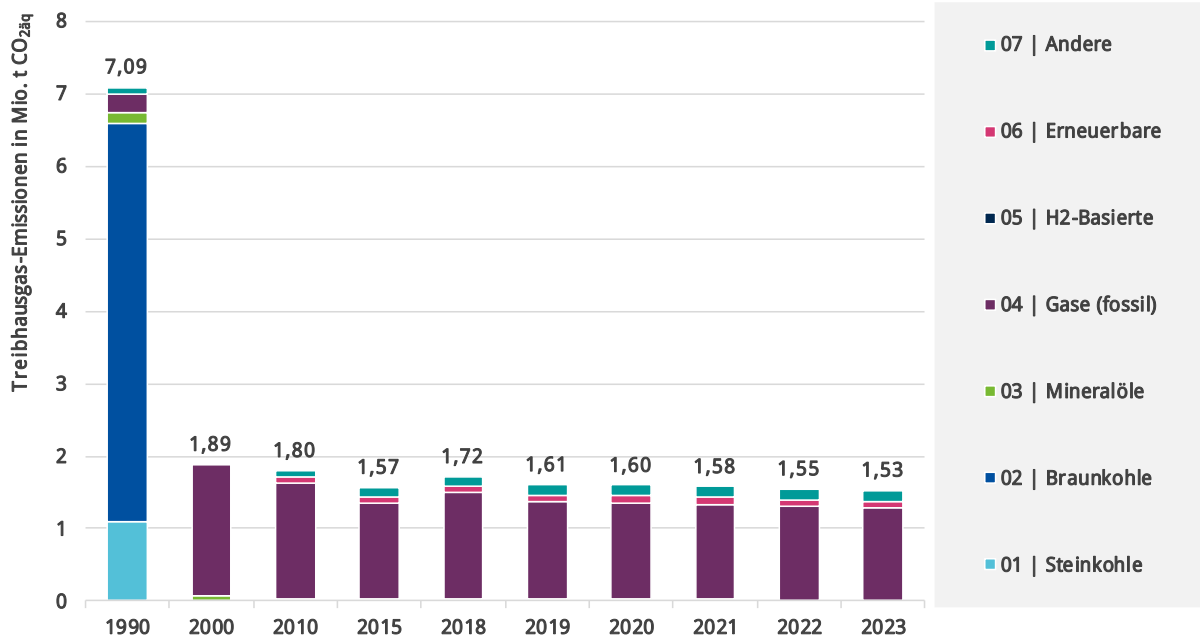


Abbildung 10 Entwicklung der THG-Emissionen der Energiewirtschaft in Thüringen

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

3.1.1 Referenzszenario

Das Referenzszenario basiert auf den zentralen Annahmen des Projektionsberichts 2023 [UBA 2023a], aus der insbesondere folgende Entwicklung erwartet wird:

Stromerzeugung:

Bei der Entwicklung der Bruttostromerzeugung im Zeitraum bis 2045 wird im Referenzszenario von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Der Ausbau der Stromerzeugung orientiert sich im Referenzszenario am Ausbaupfad des § 4 EEG 2023. Es wurde berücksichtigt, dass der Ausbaupfad für Windenergieanlagen an Land und Photovoltaik zwischen den Zieljahren 2024 bis 2040 nicht linear verläuft und kein weiterer Nettozubau über das Jahr 2040 hinaus erfolgt.

Der Großteil der neuen Windenergieanlagen an Land wird nach der ersten zusätzlichen Flächenweisung gemäß Windenergieflächenbedarfsgesetz (WindBG) zum Stichtag 31. Dezember 2027 vor allem ab dem Jahr 2030 errichtet.

- Gemäß dem WindBG wird angenommen, dass 2,2 % der Landesfläche (16.202 km²) für Windenergieanlagen ausgewiesen werden und bis 2040 eine Leistung von 7,96 GW_{el} installiert werden kann. Vereinfachend wurde dabei durch die Gutachter eine Gleichverteilung des Flächenbedarfs je Windenergieanlage (22,3 ha je Anlage) in den Bundesländern unterstellt.
- Der unterstellte Ausbaupfad der Photovoltaik für Deutschland bis 2040 (400 GW_{el}) wird in Thüringen in gleichem Maße stattfinden (Einwohneranteil von Thüringen an Deutschland:

2,51 %). Im Jahr 2040 wird in Thüringen eine Photovoltaikleistung von ca. 10 GW_{el} installiert sein.

- Die elektrische Bruttonennleistung von Biomasseanlagen wird sich bis 2045 insgesamt deutlich reduzieren. Einerseits werden Anlagen, die flüssige Biomasse nutzen, bis zum Jahr 2030 vollständig außer Betrieb genommen, insbesondere aber wird die Leistung der Biogasanlagen deutlich zurückgehen (sofern nicht aktuelle politische Bestrebungen die Rahmenbedingungen des Projektionsberichts verändern, der hier zu Grunde liegt).
- Die elektrische Bruttoleistung von Wasserkraftanlagen wird bis 2045 um etwa 1,8 MW_{el} gegenüber dem Jahr 2020 zunehmen (durch Modernisierung alter Bestandsanlagen mit neu ausgelegten Turbinen sowie ggf. neue Wasserkrafttechnologien, z. B. schwimmende Wasserkraftwerke ohne Querbauwerk).
- Die anderen erneuerbaren Energieträger zur Stromerzeugung werden sich bis 2045, insbesondere durch die zurückgehende Nutzung von Deponiegas zur Stromerzeugung, nur marginal verringern (siehe Tabelle 4).
- Die Vollbenutzungsstunden wurden entsprechend des Projektionsberichts auf die Ausgangsbedingungen in Thüringen skaliert.
- Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Thüringen wird gegenüber dem Basisjahr 2020 bis zum Jahr 2045 um etwa 22,1 TWh auf 29 TWh ansteigen. Dabei wird vor allem ein Leistungs- und Stromerzeugungszuwachs bei Windenergie- und Photovoltaikanlagen erwartet (siehe Tabelle 8).
- Der Strombedarf für neue Fernwärmeerzeuger (Großwärmepumpen, Elektrodenkessel) wird 2045 entsprechend der Annahmen zur Fernwärmeerzeugung auf etwa 1,25 TWh ansteigen.

- Insgesamt steigt der Bruttostromverbrauch durch die Anstiege in den Nachfragesektoren sowie durch den Strombedarf für neue Fernwärmeerzeuger gegenüber dem Jahr 2020 um 7,7 TWh auf 22,8 TWh.
- Im Referenzszenario erhöht sich der Anteil der erneuerbaren Energien Thüringens an der gesamten Bruttostromerzeugung auf ca. 89 % und am Bruttostromverbrauch auf ca. 128 % im Jahr 2045. Durch den Anstieg der inländischen Bruttostromerzeugung verändert sich gleichzeitig der Stromaustauschsaldo auf etwa -9,9 TWh (Strom-export) im Jahr 2045 (siehe Tabelle 9).

Fernwärmeerzeugung:

Für die Entwicklung der Bruttofernwärmeerzeugung bis 2045 basiert das Referenzszenario auf folgenden Annahmen:

- Die zukünftige Bruttofernwärmeerzeugung Thüringens wird durch die Nachfrage der Endenergiesektoren bestimmt. Im Referenzszenario erhöht sich der Nettofernwärmeverbrauch bis zum Jahr 2045 gegenüber 2020 um etwa 0,33 TWh auf etwa 3,75 TWh (siehe Tabelle 9).
- Die netzgebundene Wärme wurde im Jahr 2020 hauptsächlich in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) auf Erdgasbasis erzeugt. Daneben gab es noch einen kleinen Anteil ungekoppelter Wärmeerzeugung, vor allem in fossil befeuerten Heizwerken und biogen befeuerten Heizwerken. Da über die projizierten Jahre die Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen stark rückläufig ist, wird die Wärme durch die Einbindung von Solar- und Umweltwärme sowie durch die zunehmende direkt Strom-Wärme-Umwandlung („Power-to-Heat“) in Elektrodenkesseln auf Basis EE-Strom in die Fernwärmeerzeugung bereitgestellt (2045: Solarthermie: 0,14 TWh, Umweltwärme: 0,56 TWh, Elektrodenkessel: 1,01 TWh).

Stromerzeugung und -verbrauch in TWh/a	2020	2025	2030	2035	2040	2045
01 Bruttostromerzeugung	11,11	12,30	15,71	23,03	31,39	32,69
- Bruttostromerzeugung aus fossilen Energieträgern	1,91	1,94	1,57	1,14	0,78	0,88
- Bruttostromerzeugung aus Speichern	2,34	2,15	2,30	2,44	2,60	2,71
- Bruttostromerzeugung aus H2-Basierten	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,07
- Bruttostromerzeugung EE	6,87	8,20	11,83	19,43	27,95	29,02
- Wasserkraft	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20
- Windkraft	3,25	3,68	5,08	10,83	17,20	18,14
- Photovoltaik	1,54	2,53	4,79	7,11	9,50	9,80
- Biomasse	1,85	1,77	1,73	1,26	1,01	0,85
- Klär-, Deponiegas und sonst. EE	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
02 Eigenenergieverbrauch	0,18	0,20	0,26	0,37	0,51	0,53
03 Nettostromerzeugung	10,93	12,10	15,45	22,65	30,88	32,16
04 Stromaustauschsaldo	3,95	3,91	1,86	-3,69	-9,23	-9,90
05 Bruttostromverbrauch (LAK)	15,06	16,21	17,57	19,33	22,16	22,79
- davon Bruttostromverbrauch für Erzeugung H2-Basierter	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- davon Bruttostromverbrauch für neue Fernwärmeerzeugung	0,00	0,03	0,13	0,41	1,52	1,25
- davon Bruttostromverbrauch für DACCS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
06 Pump- & Batteriespeicher	3,03	2,79	2,97	3,16	3,37	3,51
07 Netzverluste	0,55	0,61	0,78	1,15	1,56	1,63
08 Nettostromverbrauch - Endenergiesektoren	11,30	12,58	13,43	14,24	15,20	15,86
- Industrie	5,46	5,85	6,16	6,20	6,23	6,19
- Verkehr	0,20	0,44	0,82	1,45	2,29	2,91
- GHD	2,83	3,07	3,15	3,27	3,38	3,49
- Haushalte	2,81	3,22	3,30	3,33	3,30	3,26
09 Nettostromverbrauch - Neue Fernwärmeerzeuger	0,00	0,03	0,13	0,41	1,52	1,25
10 Nettostromverbrauch - Erzeugung H2-Basierte	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EE-Anteile						
Anteil EE-Stromerzeugung an Bruttostromerzeugung	61,8%	66,7%	75,4%	84,5%	89,2%	89,0%
Anteil EE-Stromerzeugung am Bruttostromverbrauch	45,6%	50,6%	67,4%	100,6%	126,4%	127,7%
Anteil Stromaustausch am Bruttostromverbrauch	26,2%	24,1%	10,6%	-19,1%	-41,7%	-43,5%

Tabelle 8 Entwicklung der Stromerzeugung und -verbrauch im Referenzszenario bis 2045 in Thüringen
 Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

Fernwärmeerzeugung und -verbrauch in TWh/a	2020	2025	2030	2035	2040	2045
01 Bruttofernwärmeerzeugung	4,06	4,18	4,45	4,47	4,34	4,18
- Erdgas	3,48	3,53	3,59	3,26	1,95	1,97
- Heizöl	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
- gasförmige Biomasse	0,22	0,20	0,16	0,13	0,10	0,08
- feste Biomasse	0,17	0,16	0,13	0,11	0,09	0,07
- flüssige Biomasse	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- biogener Abfall	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08
- Abfall fossil	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08
- Solarthermie	0,00	0,01	0,07	0,09	0,12	0,14
- Tiefe Geothermie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- Großwärmepumpen (Umweltwärme)	0,00	0,07	0,24	0,36	0,47	0,56
- Elektrodenkessel	0,00	0,00	0,03	0,27	1,31	1,01
- Abwärme	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09
- Wasserstoff	0,00	0,00	0,01	0,04	0,07	0,09
02 Eigenverbrauch und Leitungsverluste	0,64	0,43	0,45	0,45	0,44	0,43
03 Nettofernwärmeverbrauch	3,42	3,76	4,00	4,01	3,90	3,75
- Industrie	0,88	0,95	1,05	1,08	1,11	1,12
- GHD	1,19	1,17	1,25	1,22	1,12	1,03
- Haushalte	1,35	1,64	1,70	1,71	1,67	1,60

Tabelle 9 Entwicklung der Fernwärmeerzeugung und -verbrauch im Referenzszenario bis 2045 in Thüringen
Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

Die für die Projektion unterstellten Entwicklungen bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung führen im Referenzszenario dazu, dass der im Wesentlichen erdgasbasierte fossile Umwandlungseinsatz weiter zurückgeht. Dies erfolgt nicht linear, vielmehr wird berücksichtigt, dass die Elektrodenkessel und Großwärmepumpen, die größere Strommengen benötigen, vorrangig in den 2030er Jahren ausgebaut werden, wenn durch den Ausbau erneuerbarer Energien die Stromproduktion in Thüringen den Stromverbrauch übersteigen wird. Zugleich nimmt der Umwandlungseinsatz von Windkraft und Photovoltaik entsprechend den Annahmen zur Bruttostromerzeugung dieser Energiequellen zu. Der Umwandlungseinsatz erneuerbarer Energien steigt im

Referenzszenario zwischen 2020 und 2045 um ca. 209 % (78,2 PJ) auf etwa 115,7 PJ. Infolge des Rückgangs des fossilen Umwandlungseinsatzes erhöht sich der gesamte Umwandlungseinsatz von 77,1 PJ im Jahr 2020 auf 158,5 PJ im Jahr 2045. (siehe Abbildung 11)

Die Entwicklung der THG-Emissionen korreliert eng mit dem Erdgaseinsatz in der Energiewirtschaft (siehe Abbildung 12). Dadurch wird im Vergleich zu 2020 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 43 % bis 2045 erzielt, was einem Rückgang von 87 % gegenüber dem Stand von 1990 entspricht.

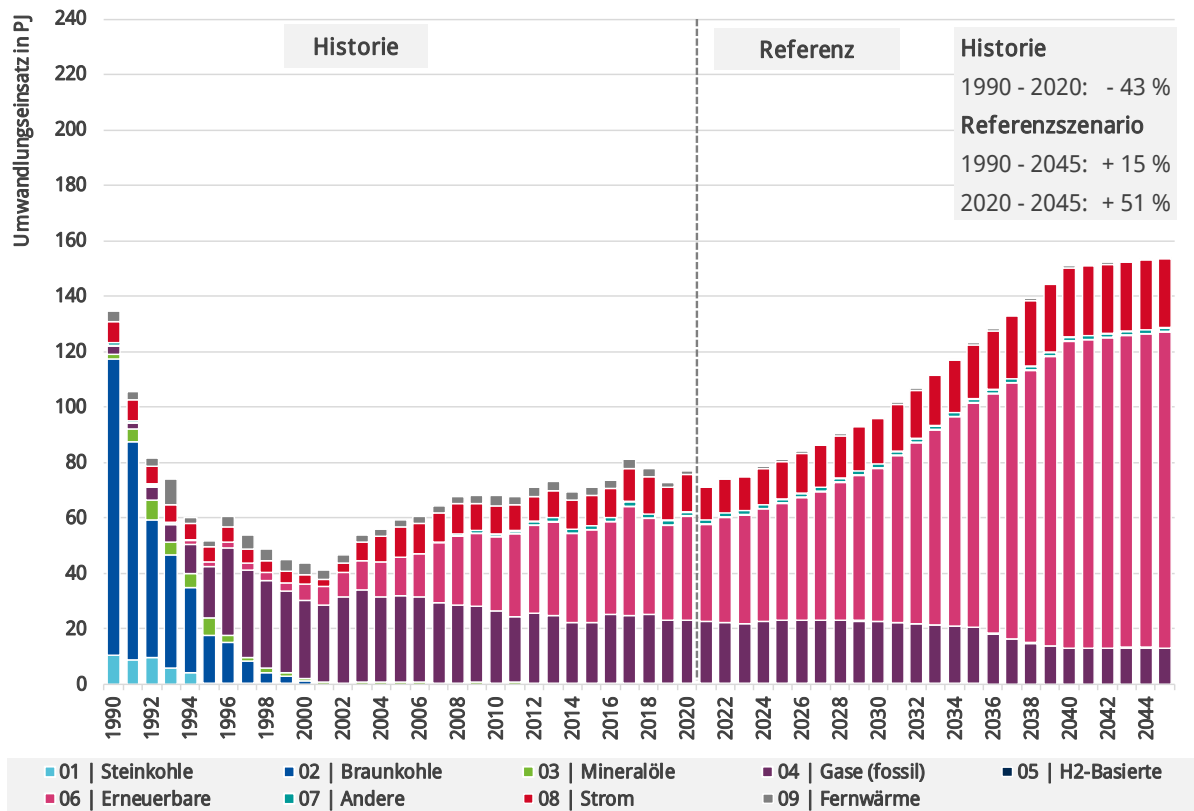


Abbildung 11 Entwicklung des Umwandlungseinsatzes der Energiewirtschaft im Referenzszenario in Thüringen
Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

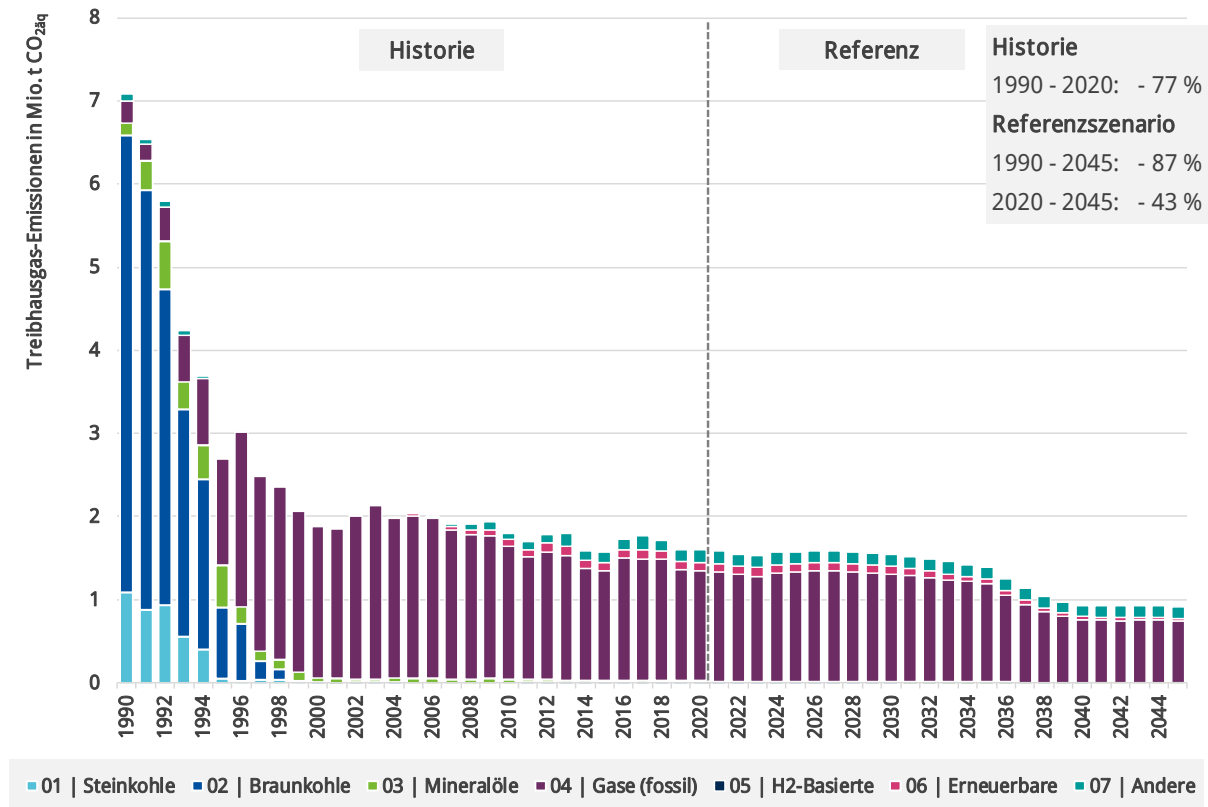


Abbildung 12 Entwicklung der THG-Emissionen der Energiewirtschaft im Referenzszenario in Thüringen
Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

3.1.2 Zielszenario 2045

Für das Zielszenario 2045 besteht das Kernziel darin, keine fossilen Brennstoffe mehr zu nutzen, um bis 2045 die THG-Neutralität zu erreichen.:

Stromerzeugung:

Bei der Entwicklung der Bruttostromerzeugung im Zeitraum bis 2045 wird im Zielszenario 2045 von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Der Ausbau der Stromerzeugung aus Windenergie, Solarenergie und Biomasse orientiert sich im Zielszenario 2045 wie im Referenzszenario am Ausbaupfad des § 4 EEG 2023.
- Auch für die anderen erneuerbaren Energieträger zur Stromerzeugung werden für die Entwicklung der elektrischen Bruttoleistung dieselben Annahmen wie im Referenzszenario unterstellt.
- Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Thüringen wird daher gegenüber dem Basisjahr 2020 bis zum Jahr 2045 in gleicher Weise wie im Referenzszenario um etwa 22,1 TWh auf 29 TWh ansteigen. Dabei wird vor allem ein Leistungs- und Stromerzeugungszuwachs bei Windenergie- und Photovoltaikanlagen erwartet (siehe Tabelle 10).

- Es wird unterstellt, dass die Wasserstoffnachfrage in Thüringen bis zum Jahr 2045 zur Hälfte in Thüringen unter Nutzung der nicht in Thüringen benötigten Strommengen erzeugt wird. Im Jahr 2045 ist dafür eine Elektrolyseleistung von etwa 323 MW erforderlich.
- Ab 2030 wird auch für die Kraftwerke (KWK-Anlagen und Spitzenlastkraftwerke) selbst Wasserstoff genutzt. Dies erfolgt vor allem in Industriekraftwerken bzw. in Anlagen in räumlicher Nähe zum H₂-Kernnetz, das quer durch Thüringen geplant ist. Die steuerbaren Kraftwerkskapazität bleiben damit überwiegend erhalten.
- Der Strombedarf für neue Fernwärmeerzeuger (Großwärmepumpen, Elektrodenkessel) wird 2045 entsprechend der Annahmen zur Fernwärmeerzeugung auf etwa 1,06 TWh ansteigen. Anders als im Referenzszenario unterstellt wird die Fernwärmeerzeugung überwiegend durch Großwärmepumpen bereitgestellt, so dass die Elektrodenkessel eine deutlich geringere Rolle spielen als im Referenzszenario.
- Im Gegensatz zum Referenzszenario, in dem kein zusätzlicher Strombedarf für das Verfahren des "Direct Air Capture and Carbon Storage" (DACCS) angenommen wird, wird im Zielszenario die Implementierung dieses Verfahrens berücksichtigt. DACCS ist ein Verfahren zur technischen Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre, dessen Transport von der Entnahmestelle zur Lagerstätte sowie die langfristige und vorwiegend unterirdische CO₂-Speicherung umfasst. Die Anwendung des DACCS-Verfahrens ist erforderlich, um die verbleibenden Restemissionen anderer Sektoren, insbesondere der Landwirtschaft, zu kompensieren. Zur Entnahme von einer Million Tonnen CO₂ aus der Atmosphäre ist ein Strombedarf von 1 TWh erforderlich (1 kWh/kg CO₂). Es wird davon ausgegangen, dass das

Verfahren schrittweise ab 2035 eingeführt wird und bis zum Jahr 2045 die verbleibenden Restemissionen vollständig kompensiert.

Neben dem Endenergieverbrauch von Strom muss auch der Stromverbrauch der Energiewirtschaft selbst berücksichtigt werden, um den Bruttostromverbrauch zu ermitteln. In diesem Bereich zeichnen sich bis zum Jahr 2045 deutliche Veränderungen ab. Die Herstellung von grünem Wasserstoff und PtL-Kraftstoffen für die Sektoren Industrie und Verkehr führt zu einem stark steigenden Strombedarf. Langsam beginnend ab 2030 kommt die Erzeugung von Wasserstoff für die Rückverstromung in Kraftwerken hinzu. Zusätzlich zum ansteigenden Bedarf an Speicherstrom in Pump- und Batteriespeichern muss der Stromverbrauch für die Bereitstellung von Wasserstoff und DACCS separat betrachtet werden. Der Anstieg des Speicherstroms geht hauptsächlich auf die Zunahme von Batteriespeichern zurück. Die Fernwärmeerzeugung mittels Stroms über Elektrodenkessel und Großwärmepumpen wird bis zum Jahr 2045 stark zunehmen. Der insgesamt steigende Stromverbrauch führt auch zu höheren Netzverlusten. Insgesamt steigt der Bruttostromverbrauch durch die Anstiege in den Nachfragesektoren sowie durch den Strombedarf für die Wasserstoffherstellung, neue Fernwärmeerzeuger und DACCS gegenüber dem Jahr 2020 um 13 TWh auf 28 TWh im Jahr 2045.

Im Zielszenario 2045 erhöht sich der Anteil der erneuerbaren Energien Thüringens an der gesamten Bruttostromerzeugung auf ca. 89,2 % und am

Bruttostromverbrauch auf ca. 107,3 % im Jahr 2045¹⁴. Durch den Anstieg der inländischen Bruttostromerzeugung verändert sich gleichzeitig der

Stromausgleichssaldo auf etwa minus 4,9 TWh (Stromexport) im Jahr 2045 (siehe Tabelle 10).

Stromerzeugung und -verbrauch in TWh/a	2020	2025	2030	2035	2040	2045
01 Bruttostromerzeugung	11,11	12,36	15,59	23,12	32,10	33,91
- Bruttostromerzeugung aus fossilen Energieträgern	1,91	2,01	1,32	0,61	0,19	0,04
- Bruttostromerzeugung aus Speichern	2,34	2,14	2,41	2,77	3,19	3,61
- Bruttostromerzeugung aus H2-Basierten Energieträgern	0,00	0,00	0,03	0,31	0,76	1,23
- Bruttostromerzeugung EE	6,87	8,21	11,83	19,43	27,95	29,02
- Wasserkraft	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20
- Windkraft	3,25	3,68	5,08	10,83	17,20	18,14
- Photovoltaik	1,54	2,53	4,79	7,11	9,50	9,80
- Biomasse	1,85	1,77	1,73	1,26	1,01	0,85
- Klär-, Deponiegas und sonst. EE	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
- davon Bruttostromerzeugung EE für H2-Basierte Energieträger	0,00	0,00	0,02	0,66	1,65	1,54
02 Eigenenergieverbrauch	0,18	0,20	0,25	0,38	0,52	0,55
03 Nettostromerzeugung	10,93	12,16	15,34	22,75	31,57	33,36
04 Stromaustauschsaldo	3,95	3,69	2,07	-2,05	-6,18	-5,71
05 Bruttostromverbrauch (LAK)	15,06	16,05	17,66	21,07	25,91	28,20
- davon Bruttostromverbrauch für Erzeugung H2-basierter Energieträger	0,00	0,00	0,02	0,66	1,65	1,54
- davon Bruttostromverbrauch für neue Fernwärmeerzeugung	0,00	0,04	0,24	0,74	1,26	1,06
- davon Bruttostromverbrauch für DACCS	0,00	0,00	0,00	0,06	0,82	1,53
06 Pump- & Batteriespeicher	3,03	2,78	3,12	3,58	4,14	4,68
07 Netzverluste	0,55	0,61	0,78	1,15	1,60	1,69
08 Nettostromverbrauch - Endenergiesektoren	11,30	12,41	13,26	14,50	15,93	17,14
- Industrie	5,46	5,64	5,55	5,63	5,75	5,93
- Verkehr	0,20	0,49	1,18	2,13	3,06	3,70
- GHD	2,83	3,05	3,12	3,24	3,39	3,62
- Haushalte	2,81	3,23	3,40	3,50	3,73	3,89
09 Nettostromverbrauch - Neue Fernwärmeerzeuger	0,00	0,04	0,24	0,74	1,26	1,06
10 Nettostromverbrauch - Erzeugung H2-Basierte	0,00	0,00	0,02	0,66	1,65	1,54
Anteil EE-Stromerzeugung an Bruttostromerzeugung	61,8%	66,4%	76,1%	85,4%	89,5%	89,2%
Anteil EE-Stromerzeugung am Bruttostromverbrauch	45,6%	51,1%	67,2%	93,7%	110,8%	107,3%
Anteil Stromaustausch am Bruttostromverbrauch	26,2%	23,0%	11,7%	-9,7%	-23,9%	-20,3%

Tabelle 10 Entwicklung der Stromerzeugung und -verbrauch im Zielszenario 2045 in Thüringen

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

¹⁴ Unter der Annahme, dass die Bruttostromerzeugung aus Speichern als erneuerbar gilt (anders als in der derzeit verwendeten Konvention des LAK), würde der Anteil der erneuerbaren Energien an der gesamten

Bruttostromerzeugung bis 2045 auf nahezu 100 % und am Bruttostromverbrauch auf etwa 120 % steigen.

Fernwärmeerzeugung:

Für die Entwicklung der Bruttofernwärmeerzeugung bis 2045 basiert das Zielszenario 2045 auf folgenden Annahmen:

- Die zukünftige Bruttofernwärmeerzeugung wird maßgeblich durch die Nachfrage der Endenergiesektoren bestimmt. Gemäß dem Zielszenario für das Jahr 2045 steigt der Nettofernwärmeverbrauch bis 2045 im Vergleich zu 2020 um etwa 0,7 TWh auf etwa 4,1 TWh an (siehe Tabelle 11).
- Im Unterschied zum Referenzszenario wird im Zielszenario das in KWK-Anlagen eingesetzte Erdgas vollständig durch Wasserstoff ersetzt. Dazu ist es erforderlich, diese Anlagen umzustellen.
- Die netzgebundene Wärme wurde im Jahr 2020 hauptsächlich in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) auf Erdgasbasis erzeugt. Daneben gab es noch einen kleinen Anteil ungekoppelter Wärmeerzeugung, vor allem in fossil befeuerten Heizwerken und biogen befeuerten Heizwerken. Im Unterschied zum Referenzszenario wird die Wärme verstärkt durch die Einbindung von Solar- und Umweltwärme sowie in geringerem Maß durch die zunehmende direkt

Strom-Wärme-Umwandlung („Power-to-Heat“) in Elektrodenkesseln auf Basis EE-Strom in die Fernwärmeerzeugung bereitgestellt (2045: Solarthermie: 0,32 TWh, Umweltwärme: 2,31 TWh, Elektrodenkessel: 0,13 TWh).

Die Zukunft der Fernwärmeerzeugung im Zielszenario ist von einem Wandel hin zu erneuerbaren Wärmequellen geprägt. Großwärmepumpen, Solarthermie und Elektrodenkessel werden dabei eine wichtige Rolle spielen. Im Gegensatz zum Referenzszenario, in dem Elektrodenkessel eine größere Bedeutung für die Fernwärmeerzeugung haben, werden im Zielszenario Großwärmepumpen und Solarthermie die Hauptlast der Wärmeerzeugung übernehmen. Die Nutzung von Tiefengeothermie kann grundsätzlich einen Beitrag zur Wärmeenergieerzeugung leisten. Aufgrund noch bestehender Kenntnisdefizite bei der Standortauswahl in Thüringen und Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten wäre die Berücksichtigung im Szenario rein hypothetisch und wurde deshalb nicht weiter verfolgt.

Fernwärmeerzeugung und -verbrauch in TWh/a	2020	2025	2030	2035	2040	2045
01 Bruttofernwärmeerzeugung	4,06	4,13	4,30	4,45	4,64	4,59
- Erdgas	3,48	3,47	2,58	1,35	0,68	0,00
- Heizöl	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
- gasförmige Biomasse	0,22	0,19	0,15	0,12	0,10	0,08
- feste Biomasse	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08	0,06
- flüssige Biomasse	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- biogener Abfall	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08
- Abfall fossil	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08
- Solarthermie	0,00	0,01	0,11	0,18	0,29	0,32
- Tiefe Geothermie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- Großwärmepumpen (Umweltwärme)	0,00	0,11	0,54	1,35	2,07	2,31
- Elektrodenkessel	0,00	0,00	0,02	0,20	0,42	0,13
- Abwärme	0,00	0,02	0,07	0,10	0,14	0,17
- Wasserstoff	0,00	0,00	0,53	0,88	0,71	1,35
02 Eigenverbrauch und Leitungsverluste	0,64	0,42	0,44	0,45	0,47	0,47
03 Nettofernwärmeverbrauch	3,42	3,71	3,86	4,00	4,17	4,12
- Industrie	0,88	0,92	0,95	0,93	0,92	0,90
- GHD	1,19	1,15	1,14	1,19	1,19	1,09
- Haushalte	1,35	1,64	1,77	1,87	2,06	2,13

Tabelle 11 Entwicklung der Fernwärmeerzeugung und -verbrauch im Zielszenario 2045 in Thüringen

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

Die für die Projektion unterstellten Entwicklungen bei der Strom- und Fernwärmeerzeugung führen im Zielszenario 2045 dazu, dass der im Wesentlichen erdgasbasierte fossile Umwandlungseinsatz vollständig ausläuft. Der Umwandlungseinsatz erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung steigt im Zielszenario 2045 zwischen 2020 und 2045 im gleichen Umfang wie im Referenzszenario an. Im Gegensatz zum Referenzszenario nimmt der Umwandlungseinsatz erneuerbarer Energien zur Fernwärmeerzeugung im Zielszenario 2045 stärker zu. Der gesamte Umwandlungseinsatz zur Strom- und Wärmeerzeugung steigt von 77,1 PJ im Jahr 2020 auf 161,0 PJ im Jahr 2045, dabei ist der Strombedarf des DACCS-Verfahrens noch nicht

berücksichtigt (siehe Abbildung 13). Die Entwicklung der THG-Emissionen korreliert eng mit dem Erdgaseinsatz in der Energiewirtschaft (siehe Abbildung 14). Dadurch wird im Vergleich zu 2020 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 90 % bis 2045 erzielt, was einem Rückgang von 98 % gegenüber dem Stand von 1990 entspricht. Die dann noch verbleibenden Restemissionen werden maßgeblich durch die Verbrennung von Abfall in Müllkraftwerken verursacht. Bei Berücksichtigung des DACCS-Verfahrens würden die Emissionen negativ ausfallen, um die Restemissionen anderer Sektoren ausgleichen zu können (vgl. Kapitel 3.8).

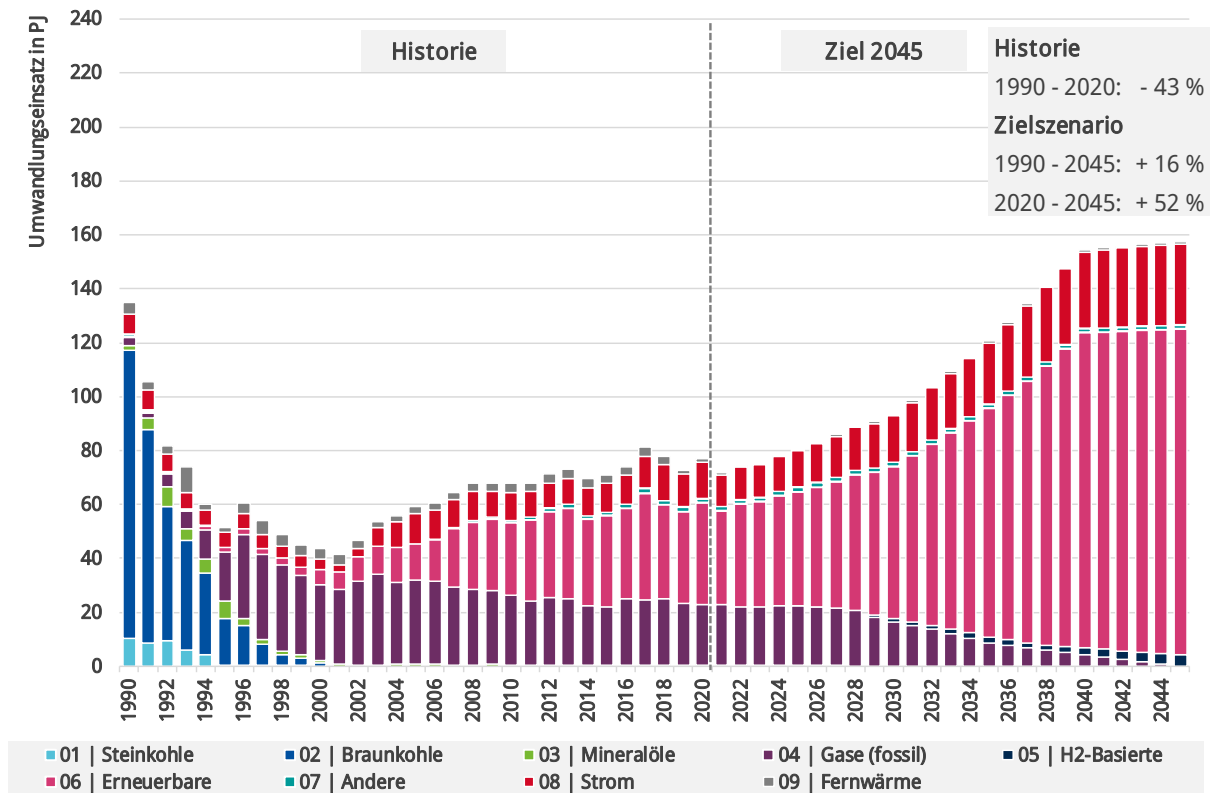


Abbildung 13 Entwicklung des Umwandlungseinsatzes der Energiewirtschaft im Zielszenario 2045 in Thüringen (ohne DACCS)

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

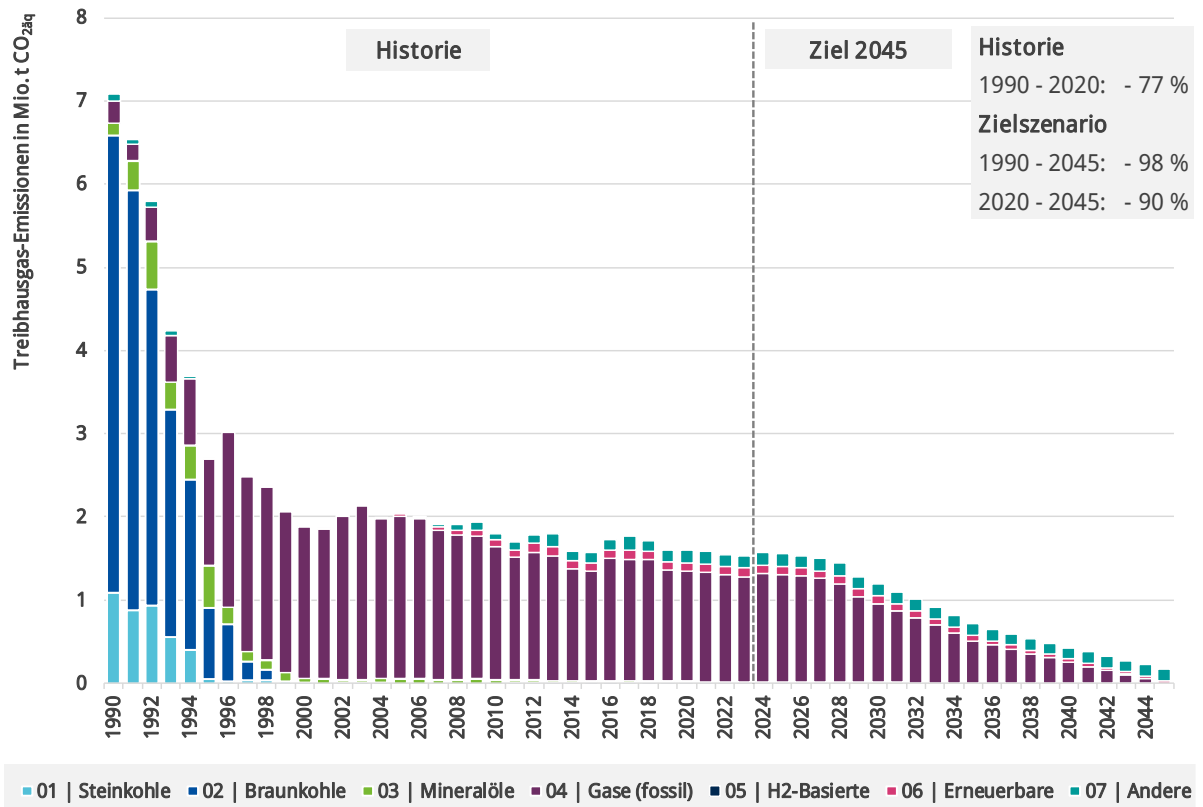


Abbildung 14 Entwicklung der THG-Emissionen der Energiewirtschaft im Zielszenario 2045 in Thüringen (ohne DACCS)
Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

3.1.3 Zielszenario 2040

Das Zielszenario 2040 basiert auf den Annahmen des Zielszenarios 2045. Zur Erreichung der Treibhausgasneutralität bis 2040 wurden jedoch die Maßnahmen im Energiesektor intensiviert und deren Umsetzung beschleunigt. Bis 2040 wird die Stromerzeugung weitgehend auf erneuerbaren Energien basieren, während der verbleibende Einsatz von Erdgas in KWK-Anlagen bereits vollständig auf Wasserstoff umgestellt sein wird (siehe Tabelle 12). Auch die Fernwärmeerzeugung

wird schneller auf Großwärmepumpen, Solartechnik, Elektrodenkessel und KWK-Wasserstoff umgestellt (siehe Tabelle 13). Abbildung 15 zeigt die Entwicklung des Umwandlungseinsatzes und Abbildung 16 stellt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen dar. Gegenüber 1990 werden die Treibhausgasemissionen bis 2040 um 98 % und gegenüber 2020 um 89 % reduziert (auch hier noch ohne die Berücksichtigung von DACCS).

Stromerzeugung und -verbrauch in TWh/a	2020	2025	2030	2035	2040
01 Bruttostromerzeugung	11,11	11,99	14,78	22,78	32,25
- Bruttostromerzeugung aus fossilen Energieträgern	1,91	1,68	0,77	0,23	0,04
- Bruttostromerzeugung aus Speichern	2,34	2,14	2,42	2,77	3,26
- Bruttostromerzeugung aus H2-Basierten Energieträgern	0,00	0,00	0,03	0,31	0,76
- Bruttostromerzeugung EE	6,87	8,16	11,55	19,47	28,18
- <i>Wasserkraft</i>	<i>0,18</i>	<i>0,19</i>	<i>0,19</i>	<i>0,20</i>	<i>0,20</i>
- <i>Windkraft</i>	<i>3,25</i>	<i>3,68</i>	<i>5,08</i>	<i>10,83</i>	<i>17,20</i>
- <i>Photovoltaik</i>	<i>1,54</i>	<i>2,54</i>	<i>4,85</i>	<i>7,27</i>	<i>9,80</i>
- <i>Biomasse</i>	<i>1,85</i>	<i>1,72</i>	<i>1,39</i>	<i>1,14</i>	<i>0,94</i>
- <i>Klär-, Deponiegas und sonst. EE</i>	<i>0,04</i>	<i>0,04</i>	<i>0,04</i>	<i>0,04</i>	<i>0,04</i>
- <i>davon Bruttostromerzeugung EE für H2-Basierte Energieträger</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,02</i>	<i>1,64</i>	<i>2,55</i>
02 Eigenenergieverbrauch	0,18	0,19	0,24	0,37	0,52
03 Nettostromerzeugung	10,93	11,80	14,54	22,41	31,73
04 Stromaustauschsaldo	3,95	4,03	2,90	-0,75	-4,18
05 Bruttostromverbrauch (LAK)	15,06	16,02	17,68	22,04	28,07
- <i>davon Bruttostromverbrauch für Erzeugung H2-basierter Energieträger</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,02</i>	<i>1,64</i>	<i>2,55</i>
- <i>davon Bruttostromverbrauch für neue Fernwärmeerzeugung</i>	<i>0,00</i>	<i>0,04</i>	<i>0,24</i>	<i>0,74</i>	<i>1,26</i>
- <i>davon Bruttostromverbrauch für DACCS</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,05</i>	<i>1,66</i>
06 Pump- & Batteriespeicher	3,03	2,78	3,13	3,59	4,22
07 Netzverluste	0,55	0,60	0,74	1,13	1,60
08 Nettostromverbrauch - Endenergiesektoren	11,30	12,41	13,32	14,52	16,25
- Industrie	5,46	5,64	5,58	5,68	5,93
- Verkehr	0,20	0,49	1,15	2,03	2,81
- GHD	2,83	3,05	3,16	3,29	3,62
- Haushalte	2,81	3,23	3,44	3,53	3,89
09 Nettostromverbrauch - Neue Fernwärmeerzeuger	0,00	0,04	0,24	0,74	1,26
10 Nettostromverbrauch - Erzeugung H2-Basierte	0,00	0,00	0,02	1,64	2,55
<i>Anteil EE-Stromerzeugung an Bruttostromerzeugung</i>	61,8%	68,1%	78,4%	86,8%	89,8%
<i>Anteil EE-Stromerzeugung am Bruttostromverbrauch</i>	45,6%	50,9%	65,5%	89,8%	103,1%
<i>Anteil Stromaustausch am Bruttostromverbrauch</i>	26,2%	25,2%	16,4%	-3,4%	-14,9%

Tabelle 12 Entwicklung der Stromerzeugung und -verbrauch im Zielszenario 2040 in Thüringen

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

Fernwärmeerzeugung und -verbrauch in TWh/a	2020	2025	2030	2035	2040
01 Bruttofernwärmeerzeugung	4,06	4,15	4,43	4,57	4,73
- Erdgas	3,48	3,48	2,71	1,35	0,00
- Heizöl	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
- gasförmige Biomasse	0,22	0,19	0,15	0,12	0,10
- feste Biomasse	0,17	0,15	0,12	0,10	0,08
- flüssige Biomasse	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- biogener Abfall	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08
- Abfall fossil	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08
- Solarthermie	0,00	0,01	0,11	0,18	0,29
- Tiefe Geothermie	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
- Großwärmepumpen (Umweltwärme)	0,00	0,11	0,54	1,35	2,07
- Elektrodenkessel	0,00	0,00	0,02	0,20	0,42
- Abwärme	0,00	0,02	0,07	0,10	0,14
- Wasserstoff	0,00	0,00	0,53	0,99	1,47
02 Eigenverbrauch und Leitungsverluste	0,64	0,42	0,44	0,45	0,47
03 Nettofernwärmeverbrauch	3,42	3,71	3,91	4,01	4,12
- Industrie	0,88	0,92	0,94	0,93	0,90
- GHD	1,19	1,15	1,17	1,21	1,09
- Haushalte	1,35	1,64	1,80	1,88	2,13

Tabelle 13 Entwicklung der Fernwärmeerzeugung und -verbrauch im Zielszenario 2040 in Thüringen
 Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a], 2021 bis 2023 Schätzung

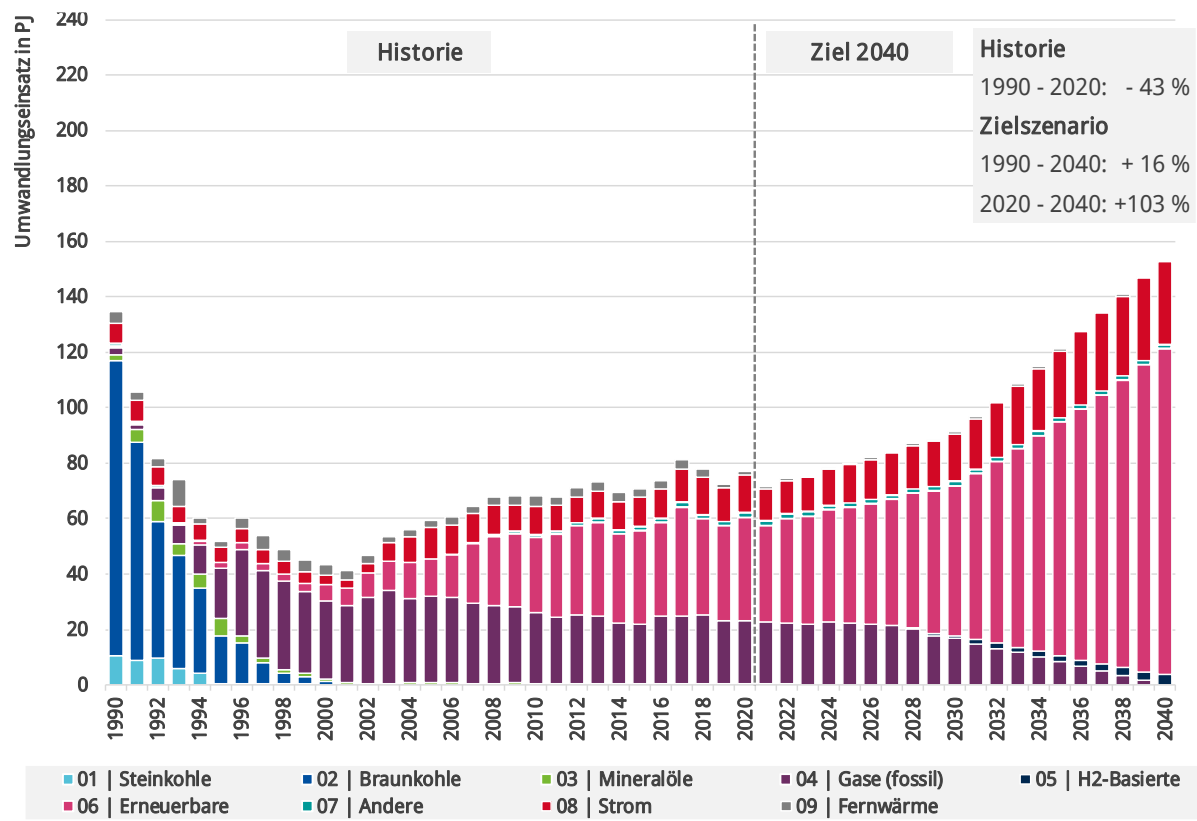


Abbildung 15 Entwicklung des Umwandlungseinsatzes der Energiewirtschaft im Zielszenario 2040 in Thüringen (ohne DACCS)

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a]

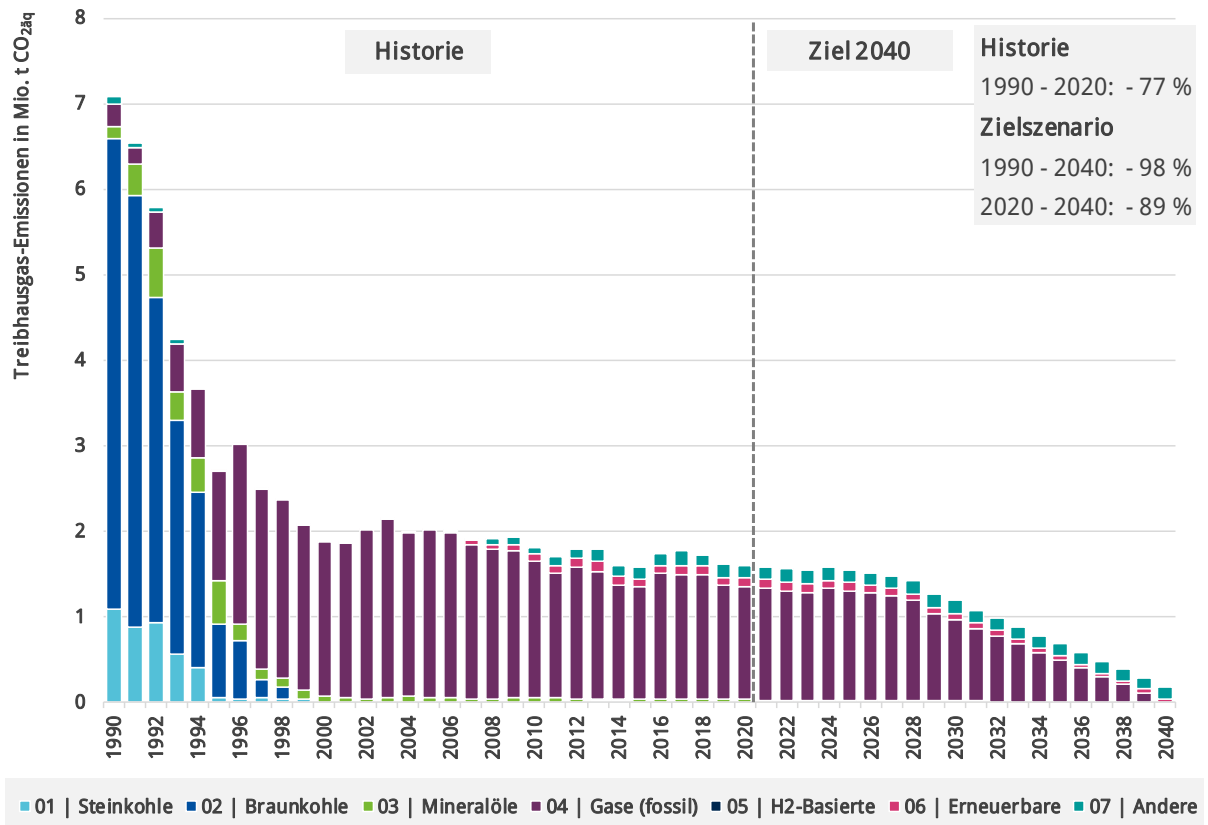


Abbildung 16 Entwicklung der THG-Emissionen der Energiewirtschaft im Zielszenario 2040 in Thüringen (ohne DACCS)
Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a]

3.2 Sektor Industrie

Der Sektor Industrie gliedert sich in die CRF-Kategorien CRF 1.A.2 (Industrie – energiebedingt) und CRF 2 (Industrieprozesse). Die Kategorie CRF 1.C (Lagerung und Transport von CO₂) wird gemäß KSG auch der Industrie zugeordnet, aktuell ist dieser Posten allerdings leer bzw. null, da keine entsprechenden Aktivitäten vorliegen.

Die energiebedingten Treibhausgasemissionen (CRF 1.A.2) aus dem Industriesektor Thüringens ergeben sich direkt aus dem Energieeinsatz für die in Thüringen vorhandenen Industrieanlagen, inklusive der Strom- und Wärmebereitstellung aus Industriekraftwerken. Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass nach KSG-Sektorabgrenzung auch der bauwirtschaftliche Verkehr zur Industrie gezählt wird. Dieser ist in Thüringen jedoch vernachlässigbar klein und wird darum im Weiteren nicht weiter betrachtet.

Die prozessbedingten Emissionen (CRF 2) stammen aus Prozessen, bei denen unmittelbar Treibhausgase entstehen bzw. entweichen. Dazu gehören einerseits Produktionsprozesse wie bspw. das Brennen von Zementklinker. Andererseits sind in dieser Kategorie auch flüchtige Emissionen von bspw. Kältemitteln (F-Gase) aus Kühlgeräten erfasst.

Der Logik der Quellenbilanzierung folgend werden nur Emissionen erfasst, die in Thüringen bei der Produktion entstehen (CRF 1.A.2 und teilw. CRF 2) bzw. entweichen (teilw. CRF 2), d. h. die Emissionen importierter Vorleistungsgüter oder Energieträgerumwandlungen sowie die Emissionen, die während der Nutzung der in Thüringen produzierten Güter anfallen, sind *nicht* Teil des Industriesektors.

Datengrundlage

Für die Beschreibung der bisherigen Entwicklung bis zum Jahr 2020 stellt die Energiebilanz, die vom LAK Energiebilanzen [LAK 2023] veröffentlicht wurde, die zentrale Datenquelle dar, da sie den Energieverbrauch der Industrie Thüringens differenziert nach den eingesetzten Energieträgern (Strom, mehrere Mineralölprodukte, Biomasse etc.) sowie den wichtigsten Branchengruppen darstellt.

Für die Jahre 2021 bis 2022 wurde als weitere Datenquelle die Energieverbrauchserhebung des Verarbeitenden Gewerbes [TLS 2024b] hinzugezogen. Anhand der Änderungsraten einzelner Energieträger je Branche konnten die Verbräuche 2021 und 2022 geschätzt werden. Somit konnte die Entwicklung am statistischen Rand so realitätsnah wie möglich abgebildet werden.

Die Industrieprozesse werden in der Umweltökonomischen Gesamtrechnung der Länder [UGRdL 2022] nur teilweise und auch nur bis 2020 aufgeführt: In diesem Sektor anfallende CH₄-, N₂O- und F-Gase-Emissionen werden jeweils als Summe genannt. Die CO₂-Emissionen müssen sämtlich rekonstruiert werden. Die Vorgehensweise hierfür nutzt einerseits aus dem THG-Inventar bekannte bundesdeutsche spezifische Emissionsfaktoren [UBA 2023b] und multipliziert diese mit den Produktionsmengen in Thüringen [TLS 2023]. Dieses Vorgehen wird separat für die in der CRF 2-Gruppe wichtigsten Branchen, nämlich Zement, Kalk und Glas (diese machen beinahe die gesamten prozessbedingten CO₂-Emissionen Thüringens aus) durchgeführt und mit den werkscharfen Daten des EU-ETS [DEHSt 2023] plausibilisiert.

Bisherige Entwicklung

Insgesamt ergibt sich aus der Statistik für die letzten Jahre in Bezug auf den Energieträgereinsatz das Bild in Abbildung 17 und in Bezug auf die THG-Emissionen dasjenige in Abbildung 18.

In den Jahren 2018 bis 2022 ist sowohl beim Endenergieverbrauch als auch bei den Treibhausgasemissionen ein Plateau erkennbar: grob 60 PJ bei rund 3,4 Mt CO_{2äq}. Diese Konstanz wird erst 2023 aufgrund der Energiekrise gebrochen (erkennbar in Zahlen auf Bundesebene), im Zuge derer die Energieträgerpreise insbesondere für Erdgas und Strom stark anstiegen und

die Produktion energieintensiver Güter gedrosselt wurde.

Nach der Restrukturierung und Umstellung der Energiebereitstellung Mitte der 1990er-Jahre, überwiegend von Kohle auf Erdgas, haben sich die Emissionen bis heute geringfügig von rund 3,0 auf rund 3,4 Mt CO_{2äq} erhöht. Dabei nehmen die prozessbedingten Emissionen (CRF 2) mit durchgängig fast 50 % einen signifikanten Anteil ein. Diese stammen überwiegend aus der Kalksteinentsäuerung bei der Zementklinker- und Kalkproduktion sowie in geringerem Umfang von entweichenden Kältemitteln (F-Gase)

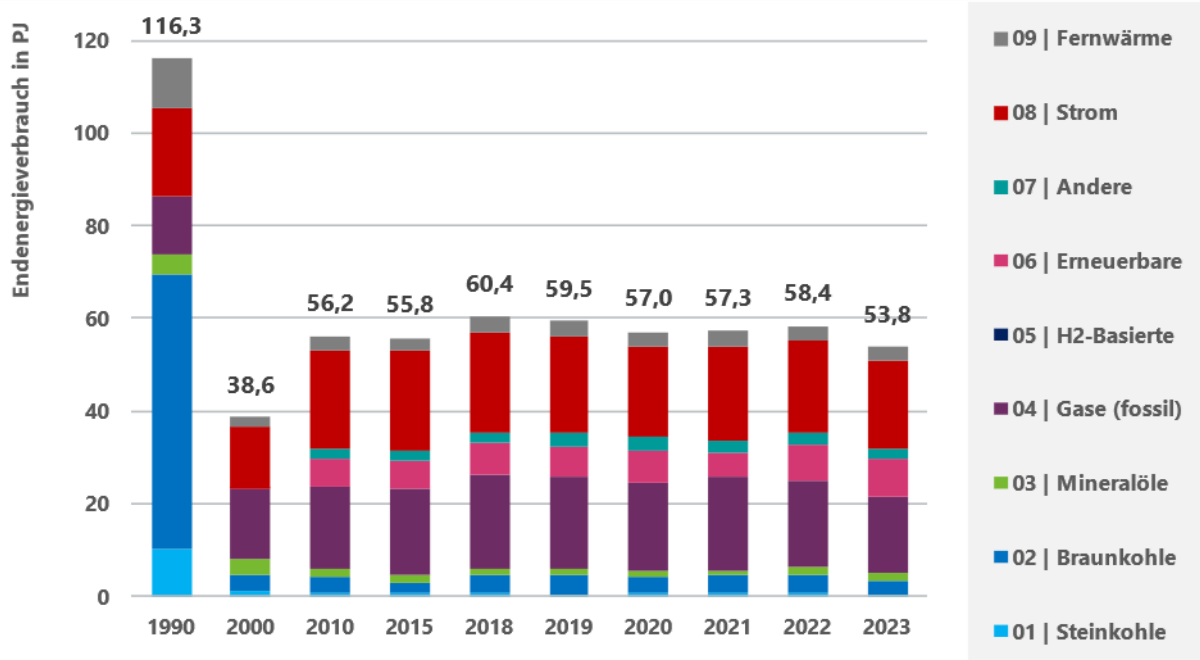


Abbildung 17 Entwicklung des Endenergieverbrauchs in der Industrie Thüringens

Quelle: Darstellung und Berechnungen Prognos auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024b], [UGRdL 2022], [TLS 2023]

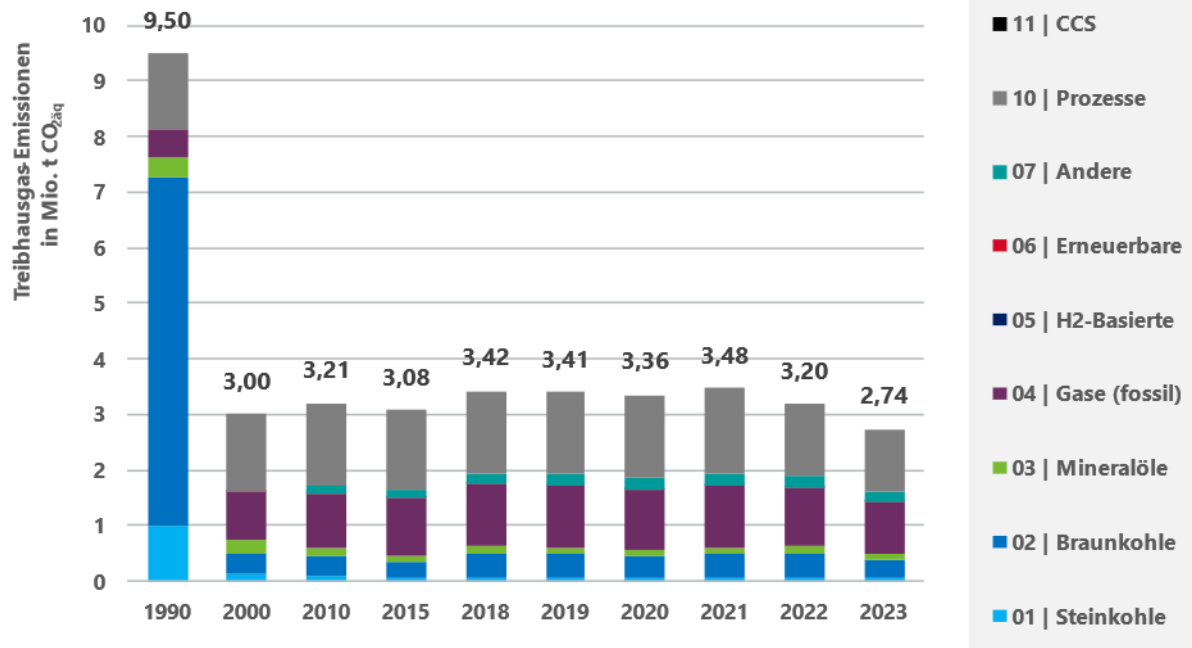


Abbildung 18 Entwicklung der THG-Emissionen in der Industrie Thüringens

Quelle: Darstellung und Berechnungen Prognos auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024b]

3.2.1 Referenzszenario

Das Referenzszenario orientiert sich hinsichtlich der Aktivitätsraten in der Grundrichtung am „Mit-Maßnahmenszenario“ des Projektionsberichts 2023 für Deutschland [UBA 2023a]. Es wird davon ausgegangen, dass sich bisherige Entwicklungen weitgehend fortsetzen. Bestehende Hemmnisse für einen zielorientierten Klimaschutz bleiben bestehen. Das Referenzszenario stellt somit einen wahrscheinlichen Pfad dar, wenn die existierenden energie- und klimapolitischen Instrumente in die Zukunft fortgeschrieben und nicht verschärft werden.

Für das Referenzszenario wurden auch die zentralen Annahmen aus dem Projektionsbericht 2023 [UBA 2023a] abgeleitet. Demnach werden insbesondere folgende Entwicklungen erwartet:

- Die Produktionsmengen der energieintensiven Produkte bleiben – wie auch bereits in der Vergangenheit absehbar – nahezu auf dem heutigen Niveau stabil. Ausnahmen bilden die Jahre 2023 und 2024, in denen insbesondere die Baukonjunktur rückläufig war/sein wird [ZDB 2023].
- Erhöhte Energieeffizienz durch die bereits wirkenden Maßnahmen im Industriesektor, die damit im Gesamten leicht über der (marktgetriebenen) „Ohnehin“-Effizienzverbesserung liegt.
- Fortführung bestehender und durch die Maßnahmen (insbesondere die CO₂-Bepreisung) angereizte Trends bei der Energieträgersubstitution. Dabei laufen Kohlen und Mineralöle sukzessive aus, fossile Gase nehmen anteilig ab, Erneuerbare und andere (vorwiegend

Abfälle) Energieträger bleiben anteilig etwa konstant und Strom sowie Fernwärme nehmen anteilig zu. Auch eine geringe Menge an (grünem) Wasserstoff wird ab den 2030ern erwartet. Zwar sind die prädestinierten H₂-Abnehmer wie Primärstahlerzeuger, Hersteller chemischer Grundstoffe oder Betreiber von (zukünftigen) Spitzenlastkraftwerken nicht oder kaum in Thüringen vertreten. Jedoch ist bis 2028 ein H₂-Kernnetz quer durch Thüringen geplant [FNB 2023], sodass entlang dieses Kernnetzes auch wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeiten für Wasserstoff in der Industrie entstehen können. Ein (begrenzter) Einsatz wird gemäß der H₂-Strategie von Thüringen speziell in den Branchen Glas, Keramik und Stahl angenommen.

Energieintensive Branchen

Die energieintensive Industrie Thüringens dominiert den Endenergieverbrauch sowie die THG-Emissionen des Industriesektors. Dabei weist sie einen klaren Schwerpunkt bei den Branchen der mineralischen Verarbeitung auf. Bei den ETS-pflichtigen Werken sind dies ein Zementwerk mit heutigen THG-Emissionen von insgesamt über 1 Mt CO_{2äq}, zwei Kalkwerke mit knapp 0,2 Mt CO_{2äq}, sechs Glaswerke mit über 0,2 Mt CO_{2äq}, sechs Keramikwerke mit fast 0,1 Mt CO_{2äq}. Weiterhin gibt es noch ein Elektrostahlwerk mit rund 0,1 Mt CO_{2äq} sowie zwei Papierwerke mit weniger als 0,1 Mt CO_{2äq}.

Konkret werden so jährlich etwa 2,2 Mt Zement, 240 kt Kalk, 570 kt Glas, 800 kt Elektrostahl sowie rund 400 kt Verpackungspapier produziert.

Sowohl die Werksstruktur als auch die Produktionsmengen ändern sich im Referenzszenario nicht wesentlich. Demnach stellen die Mengenentwicklung und

eine damit einhergehende Strukturänderung der Industriebranchen in Thüringen keine relevanten Treiber der Entwicklung des Endenergieverbrauchs sowie der THG-Emissionen dar.

F-Gas-Verordnung

Die Verordnung (EU) Nr. 517/2014 gilt seit 2015 und begrenzt in Wesentlichen die EU-weit am Markt verfügbaren fluorierten Treibhausgase (F-Gase). Die Begrenzung findet in mehreren Stufen statt. In den Jahren 2024 –2026 sind nurmehr 31 % der Mengen des Jahres 2015 erlaubt. Bis 2030 sinkt dieser Anteil auf 21 %. Dieses Auslaufen der F-Gas-Mengen ist bereits in den deutschen [UBA 2023b] und europäischen [EEA 2023] Zahlen deutlich beobachtbar.

Seit 11. März 2024 gilt die Verordnung (EU) 2024/573 [UBA 2024a], welche die bestehende F-Gas-Verordnung ablöst und weiter verschärft. Diese konnte in der Modellierung nicht mehr berücksichtigt werden.

Batteriezellfertigung

In den derzeitigen Ausbauplänen der deutschen Fertigung für Pkw-Batteriezellen [BN 2024] ist Thüringen mit dem CATL-Werk in Arnstadt vertreten, welches bereits seit Anfang 2023 produziert. Das Werk weist eine Produktionskapazität von 14 GWh/a auf [HB 2023]. Bei voller Auslastung entspricht dies einem Energieverbrauch von etwa 2,7 PJ elektrisch und 0,6 PJ thermisch. Dieser zusätzliche Verbrauch, der einen merklichen Anteil am industriellen Gesamtverbrauch hat, wurde bei der Modellierung des Referenzpfades antizipiert.

Gesamtbetrachtung

Die Zusammenführung der dargestellten Annahmen mit dem Energieträgereinsatz und den spezifischen Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 2) führt im Referenzszenario zu einem Gesamtbild, das in Abbildung 19 in Bezug auf die Energie graphisch dargestellt ist.

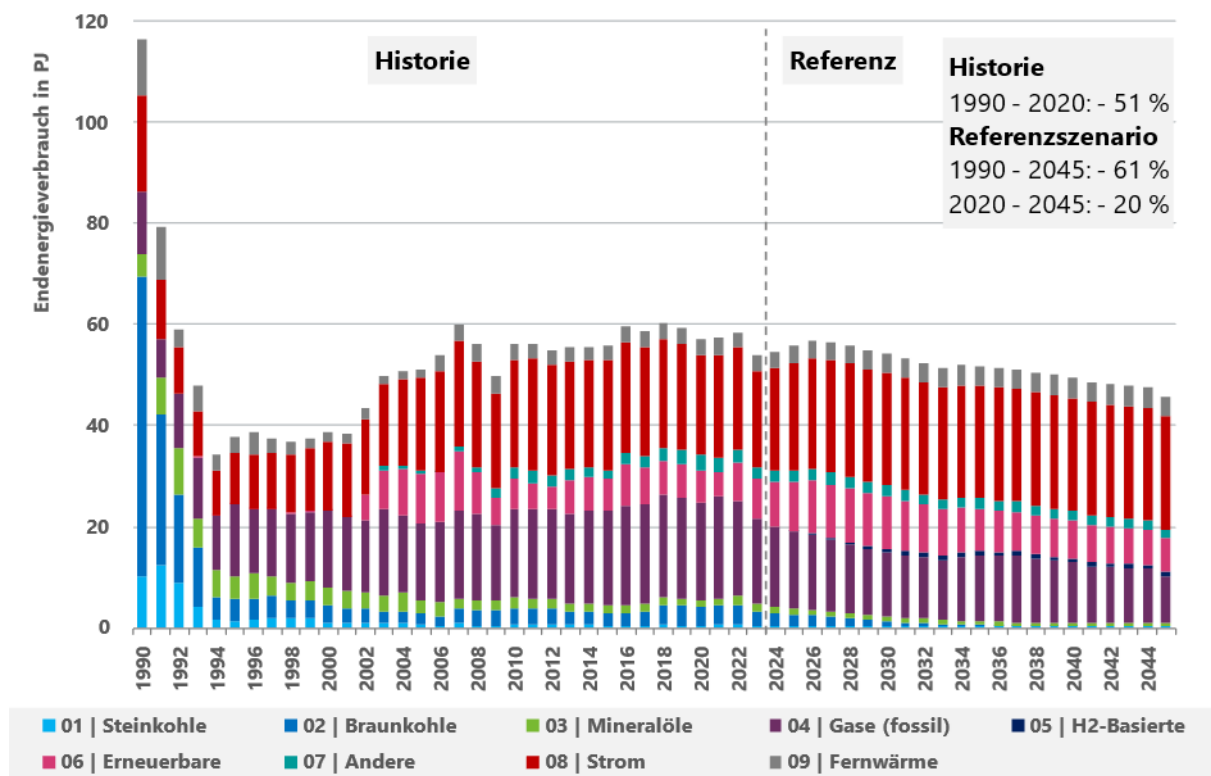


Abbildung 19 Referenzszenario: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Industrie

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von [UBA 2023a] und im Text dokumentierten Annahmen

Es zeigt sich, dass der Endenergieverbrauch strukturell ähnlich bleibt wie heute, aber die restliche Verwendung von Kohlen und Mineralölen (weitgehend) ausläuft. Ab Mitte der 2020er besteht durch Energieeffizienz und Prozessumstellungen ein leicht rückläufiger Trend des Endenergieverbrauchs. 2045 wird insgesamt

rund 20 % weniger Energie verbraucht als 2020. Erdgas geht im Endenergieverbrauch von 2020 bis 2045 um rund die Hälfte zurück, aber bleibt in diesem Szenario auch langfristig ein wichtiger Energieträger für die Industrie Thüringens, speziell im Hochtemperaturbereich. Ergänzend werden in den Branchen Keramik,

Glas und Stahl geringe Mengen Wasserstoff genutzt, 2045 rund 0,7 PJ. Strom wird langfristig der wichtigste Energieträger für die Industrie Thüringens.

Bei der Betrachtung der Emissionen folgt die Entwicklung weitgehend dem Endenergieverbrauch für fossile Brennstoffe, wie in Abbildung 20 deutlich wird. Die Prozessemissionen ändern sich (entsprechend den nahezu konstanten Produktionsmengen der energieintensiven Güter) kaum. Dadurch wird im Vergleich zu 2020 ein Rückgang der THG-Emissionen von 46 %

erreicht, in Bezug auf 1990 um 81 % (wobei hier ein Großteil des Rückgangs bereits Anfang der 1990er Jahre zu beobachten war).

Die Emissionen aus dem Einsatz von Strom und Fernwärme fallen nicht am Standort der Industrieanlagen an und werden daher – wie auch in den übrigen Verbrauchssektoren – nach dem Quellenprinzip im Sektor „Energiewirtschaft“ dargestellt.

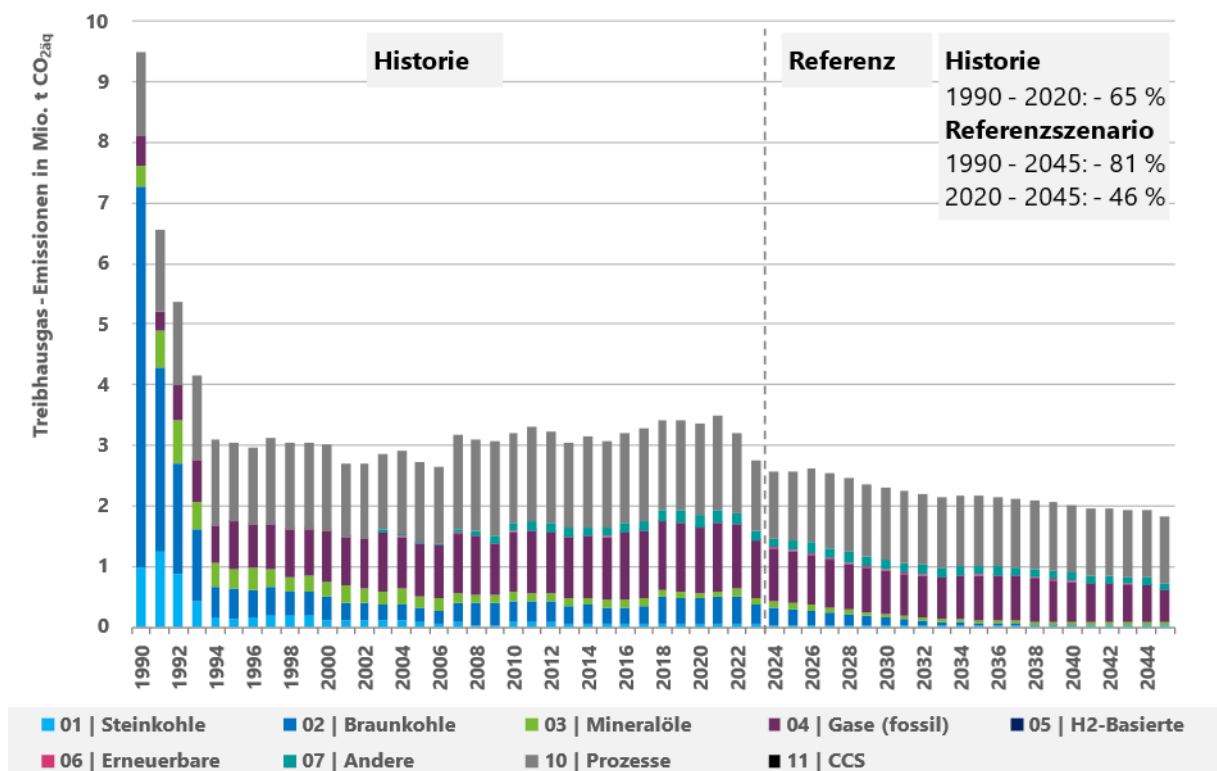


Abbildung 20 Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Industrie

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von [UBA 2023a] und im Text dokumentierten Annahmen

3.2.2 Zielszenario 2045

Im Zielszenario 2045 wird ein ambitionierter Pfad an THG-Minderungsoptionen angenommen, der sich in seinen Eckpunkten an verschiedenen Strategien und aktuellen Entwicklungen und Plänen ausrichtet, welche die Industrie Thüringens energie- und klimapolitisch betreffen. Neben Instrumenten, die bereits im Referenzszenario berücksichtigt werden (wie EU-ETS oder F-Gas-Verordnung), sind dies unter anderem Bundesstrategien, wie die Industrie-, Wasserstoff-, und Carbon Management-Strategien [BMWK 2024a], sowie bekannte Transformationskonzepte von Branchen (Verbände) und Unternehmen. Zusätzlich wurden – soweit bekannt – spezifische Dekarbonisierungsstrategien und -möglichkeiten der in Thüringen ansässigen Unternehmen und Branchen berücksichtigt.

Das Zielszenario 2045 bildet also einen ambitionierten Pfad ab, in dem die existierenden energie- und klimapolitischen Instrumente verschärft werden und die Industrie Thüringens die bestehenden Optionen zum Erreichen von Klimaneutralität gezielt und breitflächig umsetzt.

Zentrale Annahmen

Für das Zielszenario 2045 wurden die zentralen Annahmen aus der bestehenden Szenarienarbeit „Roadmap Energieeffizienz“ [BMWK 2023a] abgeleitet. Demnach werden insbesondere folgende Entwicklungen antizipiert:

- Die hergestellten Mengen der energieintensiven Produkte sind identisch zu jenen im Referenzszenario. Beim Zement kommt es jedoch zu einer strukturellen Änderung: Der Klinkerfaktor ist im Vergleich zum Referenzszenario niedriger. Grund sind gegenläufige und nicht

synchrone Effekte, besonders die sinkende Verfügbarkeit von Klinkersubstituten (Flugasche, Hüttensand) und der Zementsortenwechsel hin zu klinkerarmen Zementen und neuen Bindemitteln (CEM IV, bestimmte CEM II-Typen, Solidia/Celitement). Letzterer überkompensiert ersteren Effekt, sodass es netto zu einer Reduktion des Klinkerfaktors kommt.

- Erhöhte Energieeffizienz (Leitprinzip „Efficiency First“) durch bereits wirkende und zusätzliche Maßnahmen (Förderprogramme, ordnungsrechtliche Verschärfungen) im Industriesektor. Dabei gilt es, nahezu alle stromverbrauchenden Geräte und Anlagen der Querschnittstechnologien bis 2045 auf den (heutigen) Stand der BVT¹⁵ zu bringen.
- Umstellung zentraler Produktionsverfahren durch THG-arme oder -freie Verfahren, darunter die Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung (E-Öfen, Power-to-Heat, Wärmepumpen), welche in der Regel zugleich mit einer (deutlichen) Effizienzverbesserung einhergehen, sowie die verstärkte Umstellung auf Wasserstoff überwiegend in den Branchen Glas, Keramik und Stahl.
- Verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger (Biomasse, Solarthermie, Geothermie) zur Substitution von fossilen, emissionsintensiven Energieträgern für die Prozesswärmebereitstellung insbesondere in Bereichen, die nicht oder nur schlecht elektrifiziert werden können und im mittleren bis hohen Temperaturbereich liegen.
- Die folgenden Dekarbonisierungsoptionen wurden zusätzlich berücksichtigt:

¹⁵ BVT = Beste Verfügbare Technologien

- Verstärkte Abwärmenutzung insbesondere bei Branchen mit hoher Niedertemperatur-Prozesswärmenachfrage. Zum Teil auch verstärkte Einspeisung der überschüssigen Wärme ins Fernwärmenetz.
- Geringe Ausweitung der Kreislaufwirtschaft für recyclebare Güter (Altglas, Altpapier, Altmetalle).
- Technische CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS) wird in der Zement- und Kalkherstellung etabliert. Dort entstehen unvermeidbare prozessbedingte Emissionen, die nach heutigem Stand nur geringfügig (über die Reduktion des Klinkerfaktors beim Zement) reduziert werden können. Weiterhin ist diese Technologie bereits ab effektiven CO₂-

Preisen von um die 70 €/t für ein Zementwerk wirtschaftlich [Agora Ind 2022], was durch das Abschmelzen der freien Zuteilungen im Zielszenario bereits vor 2030 erreicht wird. Alle Werke (ein Zement- und zwei Kalkwerke) werden sukzessive mit CCS nachgerüstet mit einer CO₂-Abscheidequote von rund 90 bis 95 %.

Gesamtbetrachtung

Die Zusammenführung der dargestellten Annahmen mit dem Energieträgereinsatz und den spezifischen Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 2) führt im Zielszenario 2045 zu einem Gesamtbild, das in Abbildung 21 in Bezug auf den Endenergieverbrauch graphisch dargestellt ist.

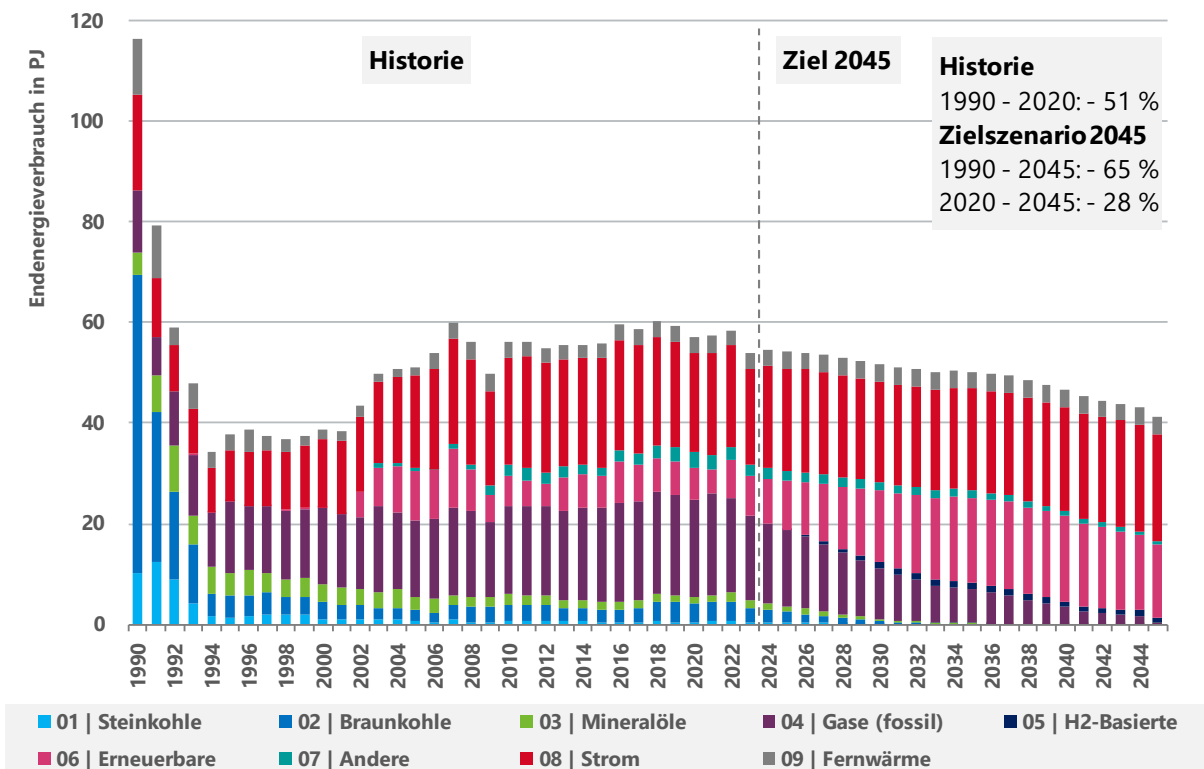


Abbildung 21 Zielszenario 2045: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Industrie

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von im Text dokumentierten Quellen und Annahmen

Es zeigt sich, dass der Endenergieverbrauch durch zusätzliche Effizienzmaßnahmen und Prozessumstellungen stärker als im Referenzszenario abnimmt, von 2020 bis 2045 insgesamt um rund 28 %. Neben dem (schnelleren) Auslaufen der Kohlen- und Mineralölnutzung in den nächsten 10 Jahren geht auch der Einsatz von Erdgas als Energieträger in der Industrie zurück, bis er 2045 ganz ausläuft. Der EEV aus erneuerbaren Energien wird sich mehr als verdoppeln: Ein wesentlicher Treiber davon ist die Nutzung von Umweltwärme über Wärmepumpen im Temperaturbereich bis 200 °C (bspw. in der Papierproduktion). Daneben steigt die Biomassenutzung in der Industrie, wobei dies auf eine Nutzungsumverteilung aus anderen Sektoren (Gebäude, Energiewirtschaft) zurückzuführen ist. Der Stromverbrauch des Industriesektors in Thüringen steigt von 2020 bis 2045 trotz Effizienzgewinnen insgesamt um 9 %, was auf eine umfassende Elektrifizierung zurückzuführen ist. Strom ist langfristig der wichtigste Energieträger für die Industrie Thüringens.

Ergänzend wird auch im Zielszenario 2045 Wasserstoff in den Branchen Glas, Keramik und Stahl eingesetzt, mit knapp über 1 PJ etwas mehr als im Referenzszenario.

Die Entwicklung der THG-Emissionen folgt auch hier weitgehend dem EEV für fossile Brennstoffe, wie in Abbildung 22 erkennbar. Die Prozessemissionen werden im Wesentlichen durch die sich ergebende Drosselung des Klinkerfaktors, also den Anteil von Zementklinker an Zement, reduziert. Zudem werden die Emissionen der Zement- und Kalkwerke durch CO₂-Abscheidung bis auf wenige Prozent gemindert. 2045 werden so knapp 0,9 Mt CO₂ pro Jahr abgeschieden. Dadurch wird im Industriesektor im Vergleich zu 2020 insgesamt ein Rückgang der THG-Emissionen von 98 % erreicht, bezogen auf 1990 von 99 %. Die wenigen Restemissionen sind v. a. verbleibende Prozessemissionen und THG-Emissionen aus diffusen Quellen (nicht CO₂).

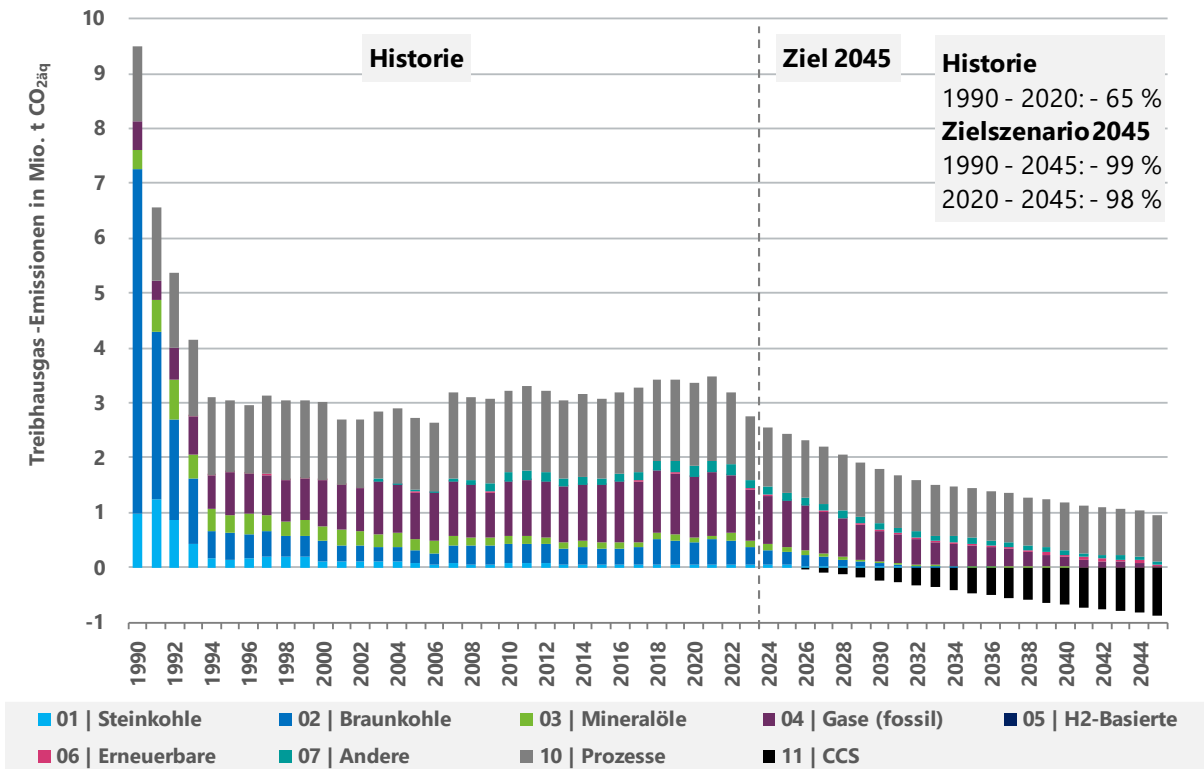


Abbildung 22 Zielszenario 2045: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Industrie

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von im Text dokumentierten Quellen und Annahmen

3.2.3 Zielszenario 2040

Im Zielszenario 2040 gelten – soweit nicht anders vermerkt – die Annahmen des Zielszenarios 2045. Um die Treibhausgasneutralität jedoch schon im Jahr 2040 zu erreichen, wurden Maßnahmen forciert und deren Umsetzung beschleunigt angenommen. Das bedeutet, dass sämtliche Durchdringungsraten, bspw. bei den Querschnittstechnologien oder der CCS-Nachrüstung entsprechend höher sind, um die Einsparwirkung bereits früher zu erzielen.

Gesamtbetrachtung

Die Zusammenführung der dargestellten Annahmen mit dem Energieträgereinsatz und den spezifischen Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 2) führt im Zielszenario 2040 zu einem Gesamtbild, das in Abbildung 23 in Bezug auf den Endenergieverbrauch graphisch dargestellt ist.

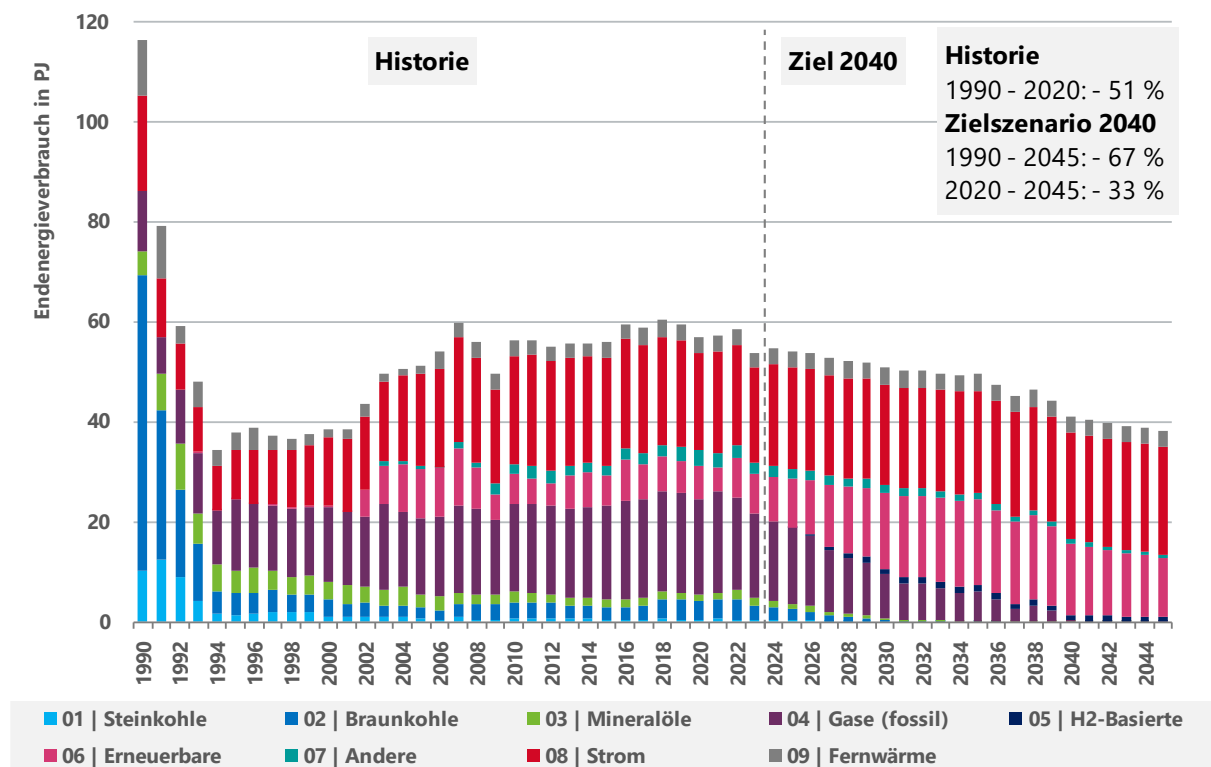


Abbildung 23 Zielszenario 2040: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Industrie

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von im Text dokumentierten Quellen und Annahmen

Es zeigt sich, dass der Endenergieverbrauch durch beschleunigte Effizienzmaßnahmen und Prozessumstellungen nochmals stärker als im Zielszenario 2045 abnimmt. Ansonsten gleichen sich die Entwicklungen:

Die Kohlen- und Mineralölnutzung läuft in den nächsten Jahren aus. Der Einsatz von Erdgas verschwindet bis 2040 vollständig. Die Verwendung erneuerbarer Energien (v. a. Biomasse, Wärmepumpen) wird

deutlich ausgeweitet. Der Stromverbrauch bleibt wiederum nahezu konstant. Auch im Zielszenario 2040 kommt Wasserstoff in gewissem, eingeschränktem Maße zum Einsatz.

In Abbildung 24 ist die Entwicklung der THG-Emissionen dargestellt. Aufgrund des EEV-Rückganges und der Energieträgersubstitutionen wird im Vergleich zu 2020 ein Rückgang der THG-Emissionen bis 2040 von 99 % erreicht, in Bezug auf 1990 um knapp 100 %.

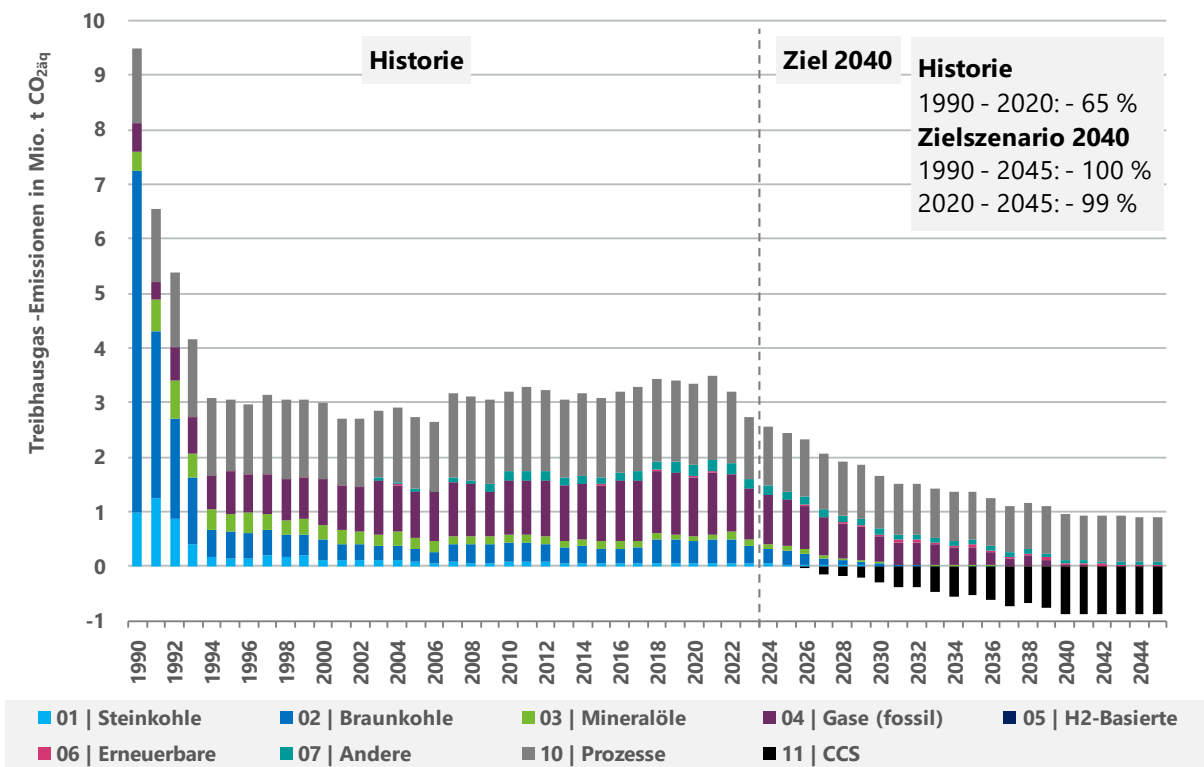


Abbildung 24 Zielszenario 2040: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Industrie

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von im Text dokumentierten Quellen und Annahmen

3.3 Sektor Gebäude

Der Gebäudesektor gliedert sich in die CRF-Kategorien 1.A.4.a (GHD) und 1.A.4.b (private Haushalte).

Die THG-Emissionen aus dem Gebäudesektor Thüringens ergeben sich dabei aus dem Energieeinsatz für die in Thüringen ansässigen Betriebe in den Bereichen Gewerbe, Handel und Dienstleistungen sowie für die privaten Haushalte Thüringens. Für den Gebäudesektor ist der Energieverbrauch für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser von großer Relevanz. Rund zwei Drittel des Gebäude-Energieverbrauchs werden für die Erzeugung von Raumwärme aufgewendet. Bezogen auf die THG-Emissionen liegt der Anteil der Raumwärme sogar bei rund 85 %, weitere rund 10 % der THG-Emissionen entfallen auf die Warmwasser-Bereitstellung.

Wichtigster Mengentreiber für die Entwicklung des Energieverbrauchs ist die Bevölkerung. Durch die Bevölkerung und deren Struktur wird die Zahl der Haushalte bestimmt. Dabei entspricht die Zahl der Haushalte beinahe exakt der Zahl der bewohnten Wohnungseinheiten, da in der Regel eine Wohnung von je einem Haushalt bewohnt wird. Weiter besteht eine sehr hohe Korrelation zwischen der Zahl der Wohnungen und der beheizten Wohnfläche. Ebenso korrelieren der Warmwasserverbrauch und die Zahl der betriebenen Elektrogeräte stark mit der Bevölkerung. Für die beheizte Fläche in Nichtwohngebäuden (NWG) ist hingegen die Zahl der Erwerbstätigen nach Wirtschaftsbranchen relevant. Die Entwicklung der Erwerbstätigen korreliert mit der Bevölkerung und deren Altersstruktur.

Datengrundlage

Für die Beschreibung der bisherigen Entwicklung bis zum Jahr 2020 stellt die Energiebilanz des LAK Energiebilanzen die zentrale Datenquelle dar, da sie den Energieverbrauch der Sektoren Private Haushalte und GHD in Thüringen nach den eingesetzten Energieträgern (Strom, mehrere Mineralölprodukte, Biomasse etc.) differenziert darstellt.

Eine wichtige Grundlage für die Berechnung des Raumwärmeverbrauchs sind zudem die Veröffentlichungen des Statistischen Bundesamtes zur Beheizungsstruktur der Haushalte in den Jahren 2006 bis 2022 [Destatis 2008, 2012, 2019, 2023].

Bisherige Entwicklung

Die Entwicklung des Energieverbrauchs nach Energieträgern im Gebäudesektor in den Jahren 1990 bis 2022 ist in Abbildung 25 dargestellt. Dabei entfallen 2022 35 % des Energieverbrauchs auf den Subsektor GHD und 65 % auf den Subsektor Haushalte. Leicht abweichend davon gehen etwa 32 % der THG-Emissionen vom GHD-Sektor aus und die restlichen 68 % von den privaten Haushalten. Bisher wurden vorwiegend fossile Energieträger eingesetzt, davon mehrheitlich fossile Gase (Erdgas) und Mineralöle (Heizöl). Kohle-basierte Energieträger, welche um 1990 noch hohe Bedeutung hatten, wurden bis zum Jahr 2000 fast vollständig verdrängt. Seit dem Jahr 2000 machen sie nur noch einen geringen Anteil am Endenergieverbrauch aus.

Der Endenergieverbrauch insgesamt nahm im Zeitraum 1990 bis 2000 stark ab (-29 %). Seit 2000 ist nur noch ein leicht rückläufiger Trend zu beobachten. Für

den Zeitraum 1990 bis 2020 zeigt sich insgesamt ein EEV-Rückgang von 36 %. Einher mit dieser Entwicklung geht ein Rückgang der Bevölkerung und der Erwerbstätigen im GHD-Sektor, welche sich im gleichen Zeitraum in Thüringen um 19 % respektive 6 % verringert haben.

Witterungseinflüsse sind ein relevanter Faktor, um die Verbrauchsschwankungen aufeinanderfolgender Jahre zu erklären. In Jahren mit kalter Witterung, wie beispielsweise in den Jahren 2010 oder 2021, zeigen sich aufgrund des erhöhten Verbrauchs für Raumwärme hohe Endenergieverbräuche. Warme Winter mit

vergleichsweise niedrigem EEV gab es bspw. in den Jahren 2018-2020 und 2022.¹⁶

Die Maßnahmen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie in den Jahren 2020 und 2021 hatten nur einen begrenzten Effekt auf den Energieverbrauch im Gebäudesektor. Einerseits führte der zeitweise Lock-down und das verstärkte Arbeiten im Homeoffice zu einem erhöhten Energieverbrauch im Sektor Private Haushalte. Andererseits nahm der Energieverbrauch im GHD-Sektor ab (u. a. aufgrund geringerer Belegung von Büros und der Abnahme in den Bereichen Gastgewerbe und Hotellerie).

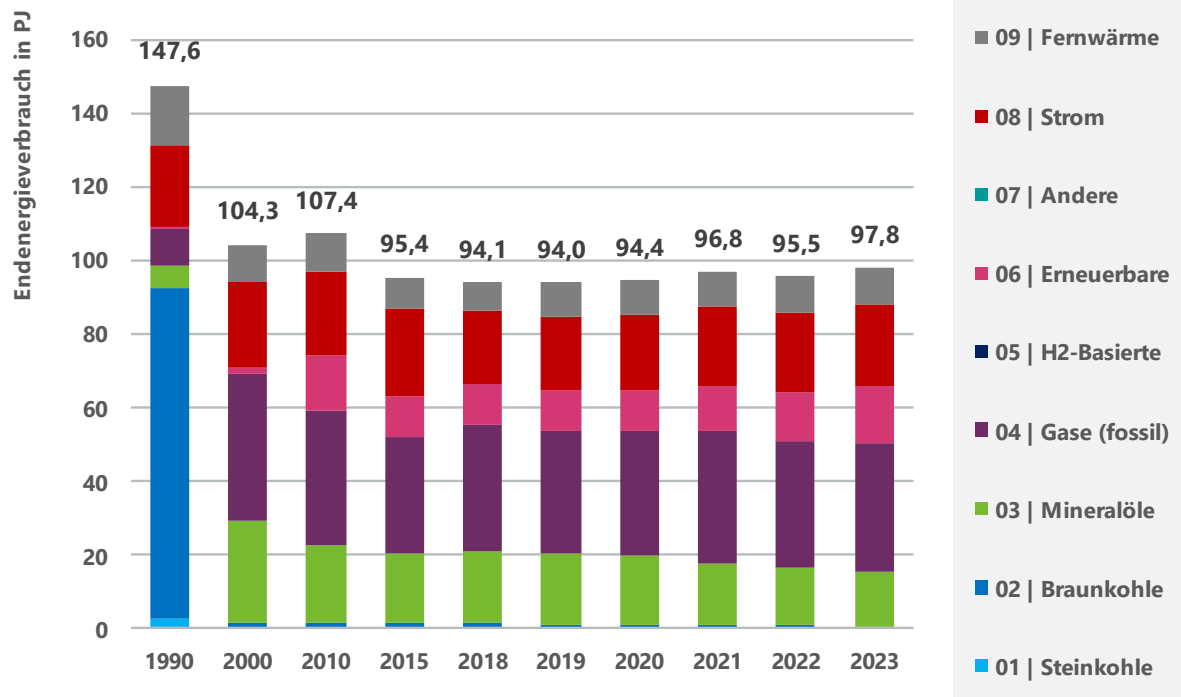


Abbildung 25 Entwicklung des Energieverbrauchs im Gebäudesektor Thüringens
Quelle: Darstellung und Berechnungen Prognos auf Grundlage von [LAK 2023]

¹⁶ Auch das Jahr 2023 war vergleichsweise warm. Da die Zahl der Gradtagszahlen zum Zeitpunkt der Berechnungen noch nicht vorlag, wurde das Jahr 2023 mit Normwitterung

berechnet. Der effektive Verbrauch dürfte dadurch überschätzt sein.

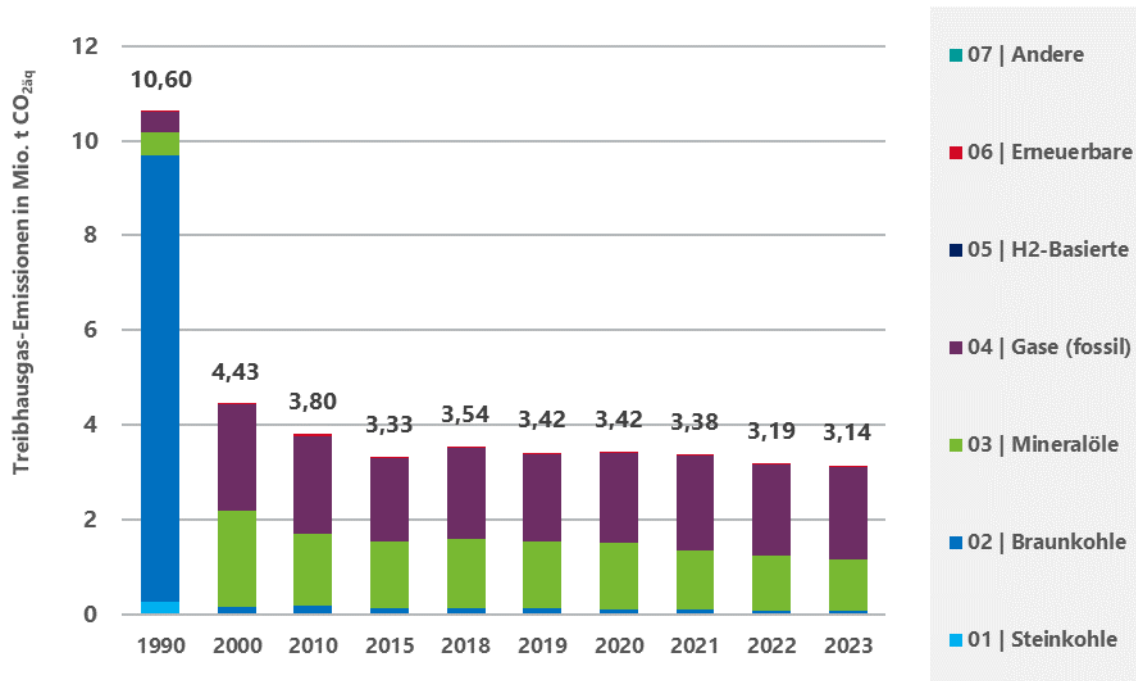


Abbildung 26 Entwicklung der THG-Emissionen im Gebäudesektor Thüringens

Quelle: Darstellung und Berechnungen Prognos auf Grundlage von [LAK 2023]

Die aus der Energienutzung resultierende Entwicklung der THG-Emissionen ist in Abbildung 26 dargestellt. Die THG-Emissionen im Gebäudesektor werden zum Großteil durch die Energieträger fossile Gase und Mineralöle verursacht. Den größten Anteil macht dabei Erdgas aus. In der historischen Betrachtung gingen die Treibhausgasemissionen in den 90er-Jahren sehr stark

zurück, was auf die starke Reduzierung des Kohleinsatzes zurückzuführen ist. In den letzten 10 Jahren war der Rückgang der Treibhausgasemissionen jedoch eher moderat. Bislang ist kein signifikanter Rückgang der THG-Emissionen aus dem Einsatz von Erdgas im Gebäudesektor zu beobachten.

3.3.1 Referenzszenario

Das Referenzszenario orientiert sich bei den relevanten Aktivitätsraten und der Instrumentierung in der Grundausrichtung am „Mit-Maßnahmen-Szenario“ (MMS) des Projektionsberichts 2023 der Bundesregierung [UBA 2023a]. Bei der Instrumentierung wird das im Herbst 2023 verabschiedete Gesetz für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze berücksichtigt. Dieses Gesetz ist die Grundlage für eine flächendeckende Einführung kommunaler Wärmepläne. Ebenfalls im Szenario berücksichtigt wird das

im Herbst 2023 novellierte Gebäudeenergiegesetz (GEG), mit der Vorgabe eines Mindestanteils von 65 % erneuerbarer Energien beim Einbau neuer Wärmeerzeuger.

Im Referenzszenario wird davon ausgegangen, dass sich bisherige Entwicklungen weitgehend fortsetzen. Es stellt somit einen wahrscheinlichen Pfad dar, wenn die bis Ende 2023 eingeführten energie- und klimapolitischen Instrumente in der Zukunft beibehalten, nicht

aber verschärft oder durch weitere Instrumente ergänzt werden.

Für die Regionalisierung der Annahmen im Projektionsbericht auf Thüringen werden bundeslandspezifische Entwicklungen berücksichtigt. Die angenommene Bevölkerungsentwicklung in Thüringen bis zum Jahr 2045 basiert auf den Berechnungen der 3. regionalisierten Bevölkerungsvorausberechnung des Thüringer Landesamtes für Statistik [TLS 2021]. Die Entwicklung der Zahl der Haushalte basiert ebenfalls auf Berechnungen des TLS; sie ist abgestimmt auf die angenommene Bevölkerungsentwicklung. Die mittlere Haushaltsgröße war in der Vergangenheit deutlich rückläufig, sie verringerte sich von 2,33 Personen je Haushalt im Jahr 1995 auf noch 1,93 Personen je Haushalt im Jahr 2020. Im Szenarienzeitraum verändert sich die Haushaltgröße nur noch geringfügig (2045: 1,91 Pers./Haushalt).

Insgesamt werden im Gebäudesektor im Zeitraum 2020 bis 2045 folgende Entwicklungen erwartet:

- Die Bevölkerungszahl geht um 10,2 % zurück.
- Die Zahl der Privathaushalte in Thüringen nimmt um 9,4 % ab.
- Die Zahl der Erwerbstätigen im GHD-Sektor verringert sich um 5 %.

Wohnungen

Bundesweit waren im Jahr 2022 rund 45 % der Haushalte in einem Ein- oder Zweifamilienhaus (EZFH), die übrigen 55 % in einem Mehrfamilienhaus (MFH). In Thüringen liegt der Anteil der Haushalte in einem EZFH bei rund 37 % und der Anteil der MFH liegt entsprechend bei rund 63 %. Dies deutet im Vergleich zum bundesweiten Mittelwert auf etwas

flächensparendere Bauweisen in Thüringen hin, die mit dem seit den Zeiten der DDR niedrigeren Anteil von Einfamilienhäusern im Wohneigentum oder durch die Konzentration der Bevölkerung in den Städten erklärt werden können.

In der historischen Betrachtung war die Zahl der Ein- und Zweifamilienhäuser rückläufig und die Zahl der Mehrfamilienhäuser steigend. Für den zukünftigen Szenarienzeitraum ist dieser Trend weiterhin zu erwarten.

Die Entwicklung der Zahl der Wohnungen im Szenarienzeitraum beruht auf einer eigenen Abschätzung. Diese basiert auf der Anzahl an Haushalten (je Haushalt eine bewohnte Wohnung) und Annahmen zu den nur teilweise bewohnten Wohnungen (Zweit- und Ferienwohnungen) sowie dem Leerstand. Für diese wird angenommen, dass der Anteil bis 2045 in etwa dem Anteil des Jahres 2020 entspricht (8,5 %). Im Referenzszenario verringert sich die Zahl der Wohnungen im Zeitraum 2020 bis 2045 um 9,5 %. Der Rückgang erfolgt damit annähernd proportional zur Entwicklung der Haushalte.

Wohnfläche

In der Vergangenheit hatte die Wohnfläche stärker zugenommen als die Zahl an Wohnungen, die mittlere Fläche je Wohnung und auch die Wohnfläche pro Kopf hat deutlich zugenommen. Die durchschnittliche Wohnfläche pro Wohnung lag im Jahr 2022 in Thüringen bei knapp 83 m² [TLS 2024c]. Aufgrund des niedrigeren Bestands an EZFH ist die Wohnfläche pro Wohnung niedriger als im bundesweiten Mittel von rund 92 m² [Destatis 2023c].

Im Szenario wird unterstellt, dass die mittlere Fläche je Wohnung im Zeitverlauf weiter leicht zunimmt,

basierend auf der Entwicklung auf nationaler Ebene (eigene Abschätzung Prognos). Im Jahr 2045 beträgt die mittlere Wohnfläche in Thüringen im Referenzszenario 84 m².

Aus der Verknüpfung der Zahl an Wohnungen mit der mittleren Wohnungsgröße wird die Wohnfläche fortgeschrieben. Im Referenzszenario nimmt sie aufgrund der rückläufigen Bevölkerung und der damit verbundenen rückläufigen Anzahl an Wohnungen ab, von 98,3 Mio. m² im Jahr 2020 auf noch 90,8 Mio. m² (-8 %).

Die Fortschreibung der Fläche in Nichtwohngebäuden erfolgt anhand der Zahl an Erwerbstätigen im GHD-Sektor [VRGdL 2024]. Die Nutzfläche nimmt wie die Wohnfläche im Szenariozeitraum ab.

Gebäudeeffizienz

Im Jahr 2023 wurden bundesweit verschärfte Effizienzvorschriften für Neubauten eingeführt. Seit dann gilt der Effizienzhausstandard 55 als Mindeststandard. Mit der rückläufigen Bevölkerung nimmt im Referenzszenario auch die Menge an jährlich neu gebauten Wohngebäuden und Wohnungen ab.

Auf die Entwicklung des Energieverbrauchs für Raumwärme haben deshalb Effizienzmaßnahmen an bestehenden Gebäuden den größeren Einfluss als die Neubauvorschriften. Insbesondere kann durch energetische Sanierungen der Energieverbrauch der bestehenden Gebäude reduziert werden. In der Vergangenheit wurden deutschlandweit jährlich rund 1 % der Gebäudefläche energetisch saniert [IWU 2018]. Diese Entwicklung wird im Referenzszenario fortgeschrieben und auf Thüringen übertragen, wobei der Anteil aufgrund der ausgebauten Förderprogramme (u. a. die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)) und der steigenden

Energiepreise zunimmt. So werden im Referenzszenario im Jahr 2030 (und in den nachfolgenden Jahren) rund 25 % mehr Gebäudeflächen saniert als im Jahr 2020. Dämpfend auf die Sanierungsaktivitäten wirken sich die stark gestiegenen Baukosten aus. Der Baupreisindex hat sich seit dem ersten Quartal 2015 bis zum Jahr 2023 von 100 auf über 160 Indexpunkte erhöht [BKI 2023].

Heizungsumstellung

In den Jahren 2006 bis 2022 hat der Anteil der mit Heizöl beheizten Wohnfläche in Thüringen von rund 21 % auf noch 15 % abgenommen [Destatis 2007, 2012, 2019, 2023]. Demgegenüber haben die Anteile der Fernwärme, von Erdgas und auch der Wärmepumpen leicht zugenommen.

Aufgrund der Anpassung des GEG und der Einführung des Mindestanteils von 65 % erneuerbaren Energien beim Heizungsersatz, setzt sich im Referenzszenario der Trend weg vom Heizöl fort. Knapp 50 % der Wohnfläche wurden im Jahr 2022 mit Erdgas beheizt. Unter anderem aufgrund des angepassten GEG verringert sich dieser Anteil im Referenzszenario ab dem Jahr 2024, bis zum Jahr 2045 auf unter 20 %.

Die Öl- und Erdgasheizungen werden im Referenzszenario überwiegend durch elektrische Wärmepumpen und Fernwärme ersetzt. Dazu trägt auch die ausgebauten Förderung dieser Technologien bei. Der Anteil der Wärmepumpe steigt bis zum Jahr 2045 auf über 40 %, derjenige der Fernwärme auf über 30 %. Die Bedeutung der Holzheizungen bleibt begrenzt, der Anteil verbleibt bei rund 5 %.

Die Entwicklung im Bereich Nichtwohngebäude ist grundsätzlich vergleichbar zu den Wohngebäuden. Der

Anteil der Fernwärme ist jedoch etwas höher und der Anteil der Wärmepumpen etwas geringer.

Gesamtbetrachtung

Die Zusammenführung der dargestellten Annahmen mit dem Energieträgereinsatz führt im Referenzszenario zum EEV-Gesamtbild in Abbildung 27.

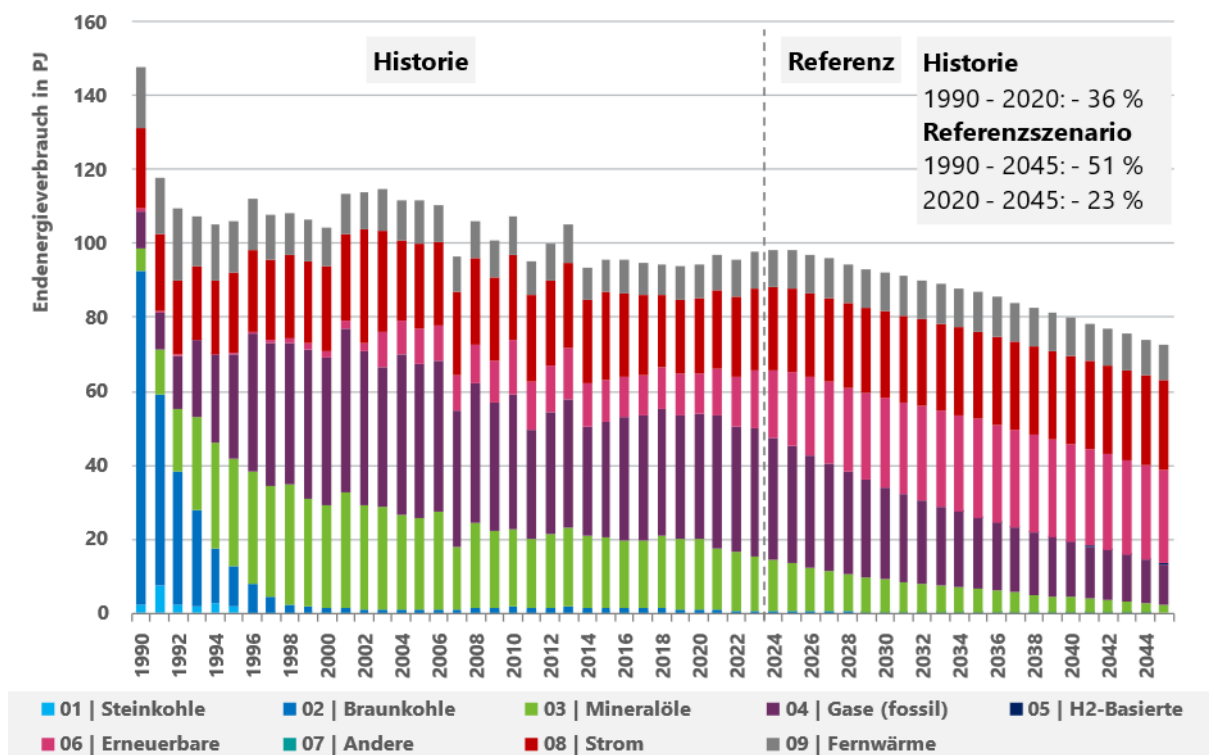


Abbildung 27 Referenzszenario: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Gebäude

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von [UBA 2023a] und im Text dokumentierten Annahmen

Neben dem Rückgang der Bevölkerung sind die steigende Gebäudeeffizienz (Sanierungsrate und Sanierungstiefe) sowie die effizienter werdenden Anlagen und Geräte weitere Gründe für den sinkenden Endenergieverbrauch im Referenzszenario. Von 2020 bis 2045 verringert sich der Endenergieverbrauch um 23 % auf noch 73 PJ. Auch die Struktur der eingesetzten Energieträger verändert sich deutlich. Bis zum Jahr 2045 werden die fossilen Energieträger Erdgas, Mineralöle

(i. W. Heizöl) und Kohle zum Großteil durch erneuerbare Energien, Strom und Fernwärme substituiert. Der Anteil der fossilen Energieträger nimmt von 57 % im Jahr 2020 auf noch 18 % im Jahr 2045 ab. Der Stromverbrauch nimmt hingegen deutlich zu (+20 %). Strom wird zum wichtigsten Energieträger, der Anteil am Sektorverbrauch steigt auf 34 %. Ein deutlicher Verbrauchsanstieg zeigt sich auch bei den erneuerbaren Energieträgern. Ein Großteil des Anstiegs entfällt

dabei auf die mittels Wärmepumpen genutzte Umweltwärme. Auch der Einsatz von Biogas nimmt durch die Beimischung in das Erdgasnetz etwas zu. Der Holzverbrauch ist hingegen leicht rückläufig. Die Menge an genutzter Solarwärme bleibt in etwa auf dem heutigen Niveau (ohne PV zur Stromerzeugung). Die mit Fernwärme beheizte Fläche nimmt zu, gleichzeitig verringert die steigende Effizienz den spezifischen Wärmeverbrauch (je beheizter Fläche). Insgesamt steigt der Verbrauch an Fernwärme leicht an (+3 %).

Aus der Verknüpfung des Energieverbrauchs nach Energieträgern und den spezifischen

Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 2) werden die THG-Emissionen berechnet. Der Rückgang der THG-Emissionen korreliert mit dem Ersatz der fossilen Energieträger. Bereits bis zum Jahr 2030 nehmen die THG-Emissionen im Vergleich zum Jahr 2020 um 38 % ab. Bis zum Jahr 2045 wird ein Rückgang der THG-Emissionen von 76 % erreicht (Abbildung 28). Im Vergleich zum Jahr 1990 ergibt sich bis zum Jahr 2045 sogar ein Rückgang um über 90 %. Rund 60 % der Restemissionen entfallen auf den Sektor Haushalte, 40 % auf den GHD-Sektor.

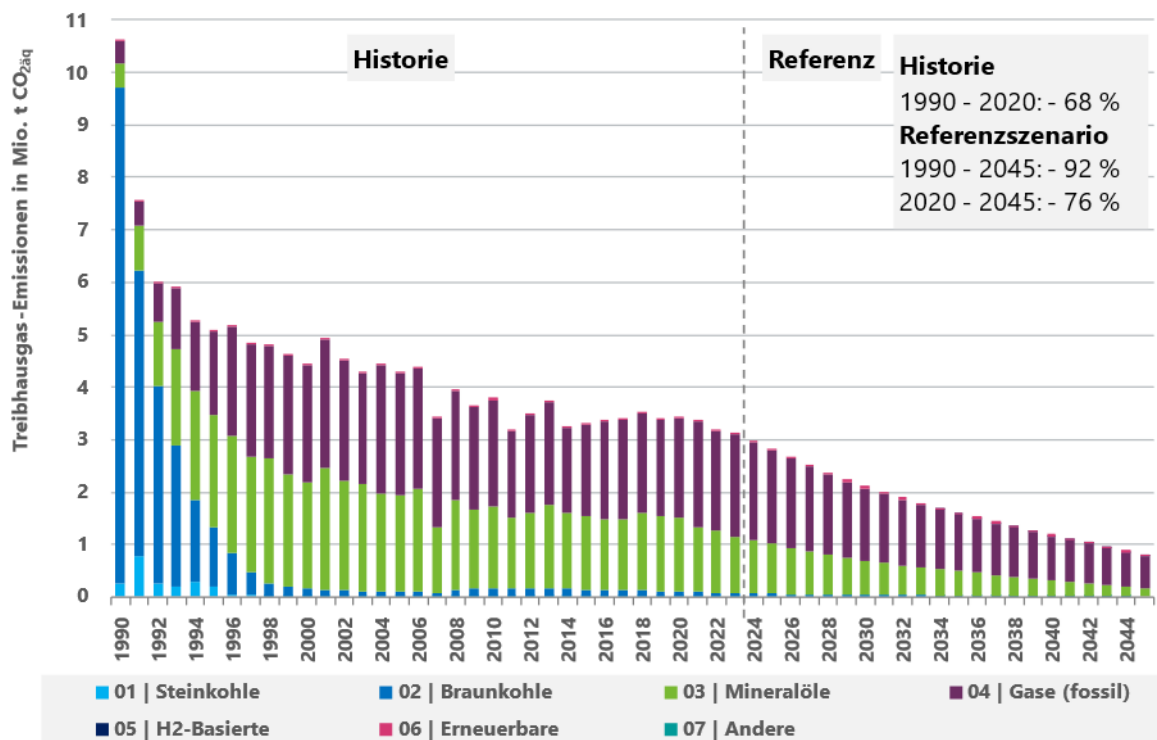


Abbildung 28 Referenzszenario: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von [UBA 2023a] und im Text dokumentierten Annahmen

3.3.2 Zielszenario 2045

Die Ergebnisse für den Energieverbrauch in Thüringen basieren auf einer Regionalisierung eines Bundeszenarios. Dabei bleiben im Zielszenario 2045 die angenommenen Entwicklungen der Rahmendaten und Mengentreiber, darunter der Bevölkerung, der Haushalte, Erwerbstätigen und Gebäudeflächen, identisch zum Referenzszenario. Allerdings werden im Zielszenario die fossilen Energieträger bis zum Jahr 2045 vollständig ersetzt. Für den vollständigen Ausstieg aus der Nutzung fossiler Energieträger wird der Ausbau der Wärmenetze (Fernwärme) verstärkt und der Hochlauf der Wärmepumpen beschleunigt.

Außerdem wird im Zielszenario die Energieeffizienz zusätzlich gesteigert und so der Energieverbrauch stärker reduziert als im Referenzszenario. Zentrale Maßnahmen dazu sind eine höhere Sanierungsaktivität und tiefergehende Sanierungen.

Energieeffizienz

Im Zielszenario 2045 steigt die Sanierungsaktivität im Vergleich zum Referenzszenario an und es werden wesentlich mehr Flächen pro Jahr saniert. Im Jahr 2030 wird im Zielszenario rund 20 % mehr Gebäudefläche energetisch saniert als im Referenzszenario. Außerdem nimmt die Sanierungstiefe zu, bei Voll- bzw. Gesamtsanierungen wird im Mittel die Energieeffizienzklasse B erreicht. Dies entspricht einem spezifischen Energieverbrauch von rund 60 kWh/m².

Der Energieverbrauch für die Bereitstellung von Warmwasser wird durch effizientere Anlagen, geringere Verteilverluste, aber auch durch wassersparende Armaturen reduziert. Dabei vermindern die wassersparenden Armaturen durch den verminderten Durchfluss die verbrauchte Wassermenge.

Neben den Bestandsgebäuden werden im Zielszenario auch höhere Effizienzstandards für Neubauten eingeführt. Vergleichbar sind diese Anforderungen mit dem Effizienzhaus 40.

Darüber hinaus werden v. a. bei der Beleuchtung immer effizientere Leuchtmittel eingesetzt. Es erfolgt eine nahezu vollständige Umstellung auf LED, wobei die LED im Zeitverlauf effizienter werden (mehr Lumen je Leistung). Durch den Einsatz intelligenter Lichtsteuerungen wird zudem die Brenndauer der Leuchtmittel reduziert. Auch Elektrogeräte werden im Zeitverlauf effizienter. Dabei ersetzen Neugeräte die weniger effizienten Altgeräte.

Wärmeerzeugung

In der Referenzentwicklung nimmt der Einsatz fossiler Wärmeerzeuger deutlich ab, nach 2025 auch derjenige von Erdgasheizungen. Im Zielszenario wird diese Entwicklung beschleunigt. Nach 2025 werden bei Neubauten nur noch in Einzelfällen Gas- oder Ölheizungen eingebaut. Auch im Bestand, beim Ersatz von Bestandsanlagen, nimmt der Anteil an Gas- und Ölheizungen deutlich ab, der Anteil an den Neuabsätzen liegt dann unter 10 %.

Um bis zum Jahr 2045 die fossil befeuerten Anlagen aus dem Bestand zu bekommen, wird die Lebensdauer der Anlagen verkürzt und Anlagen werden teilweise vor dem technischen Lebensende außer Betrieb genommen. Teilweise werden sie auch vollständig auf Biogas (Biomethan) oder Wasserstoffbasierte Energieträger umgestellt – letzteres jedoch in geringem Umfang. Die vorzeitige Stilllegung der Gasheizungen geht einher mit einer teilweisen Außerbetriebnahme der Gasverteilnetze.

Die Gas- und Ölheizungen werden hauptsächlich durch zusätzliche Wärmepumpen ersetzt. Auch der Ausbau der Wärmenetze geschieht im Zielszenario schneller und umfassender. Bis zum Jahr 2045 steigt im Zielszenario der Anteil der Wärmepumpen an der beheizten Wohnfläche auf über 55 %, der Anteil der Fernwärme liegt dann bei 35 %. Der Anteil der Holzheizungen bleibt gering. Biomasse wird in anderen Sektoren benötigt, für die Herstellung von Produkten genutzt oder im Wald stehen gelassen, um als CO₂-Senke zu dienen.

Die Erzeugung des Warmwassers ist stark an die Erzeugung der Raumwärme gekoppelt. Mit der Umstellung der Raumwärmeerzeugung, wird auch die Erzeugungsstruktur beim Warmwasser umgestellt und defossilisiert.

Im GHD-Sektor wird außerdem die Prozesswärme zunehmend elektrifiziert. Weitere THG-Emissionsminderungen können durch die Umstellung auf Bio-kraftstoffe im Baubereich und in der Landwirtschaft erzielt werden.

Gesamtbetrachtung

Abbildung 29 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Zielszenario 2045. Abweichend vom Referenzszenario werden die fossilen Energieträger bis 2045 vollständig durch Strom, Fernwärme und Erneuerbare Energieträger verdrängt. Dabei steigt der Stromverbrauch um 33 % auf 27 PJ, der Fernwärmeverbrauch erhöht sich um 27 % auf 11,6 PJ.

Infolge der zuvor beschriebenen technischen Maßnahmen verringert sich der Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2045 auf noch 68,6 PJ, das sind rund 4 PJ weniger als im Referenzszenario. Gegenüber dem Jahr 2020 entspricht es einer Reduktion um 27 %.

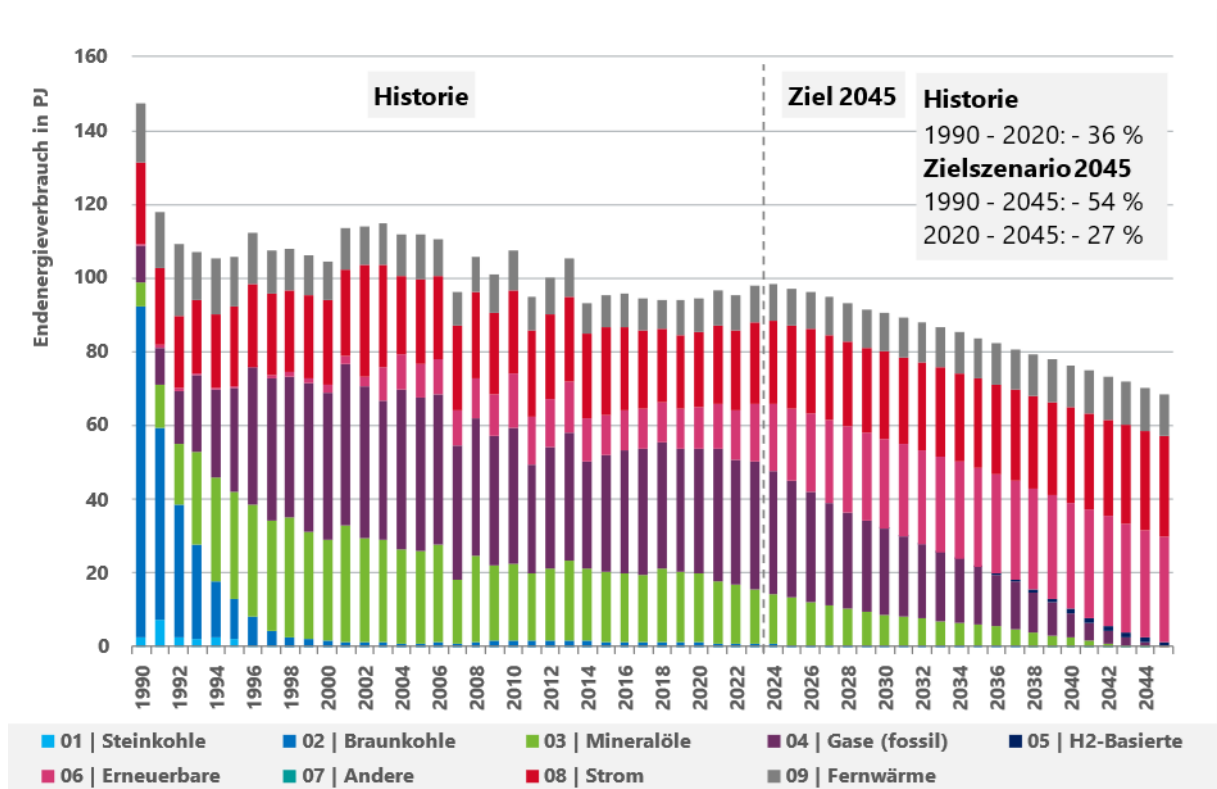


Abbildung 29 Zielszenario 2045: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Gebäude

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis der im Text dokumentierten Quellen und Annahmen

Die Entwicklung der THG-Emissionen korreliert wie auch im Referenzszenario mit der Entwicklung des Endenergieverbrauchs der fossilen Energieträger. Durch den verstärkten Energieträgerwechsel und die Defossilisierung der Wärmeerzeugung werden die THG-Emissionen bis zum Jahr 2045 auf nahezu null gesenkt (Abbildung 30).

Abbildung 30 zeigt zudem, dass im Zielszenario eine noch deutlich ambitioniertere Steigerung der Emissionsminderungen gegenüber der bisher beobachtbaren historischen Entwicklung und dem angenommenen Rückgang im Referenzszenario erforderlich ist, um die vorgesehenen Klimaziele zu erreichen.

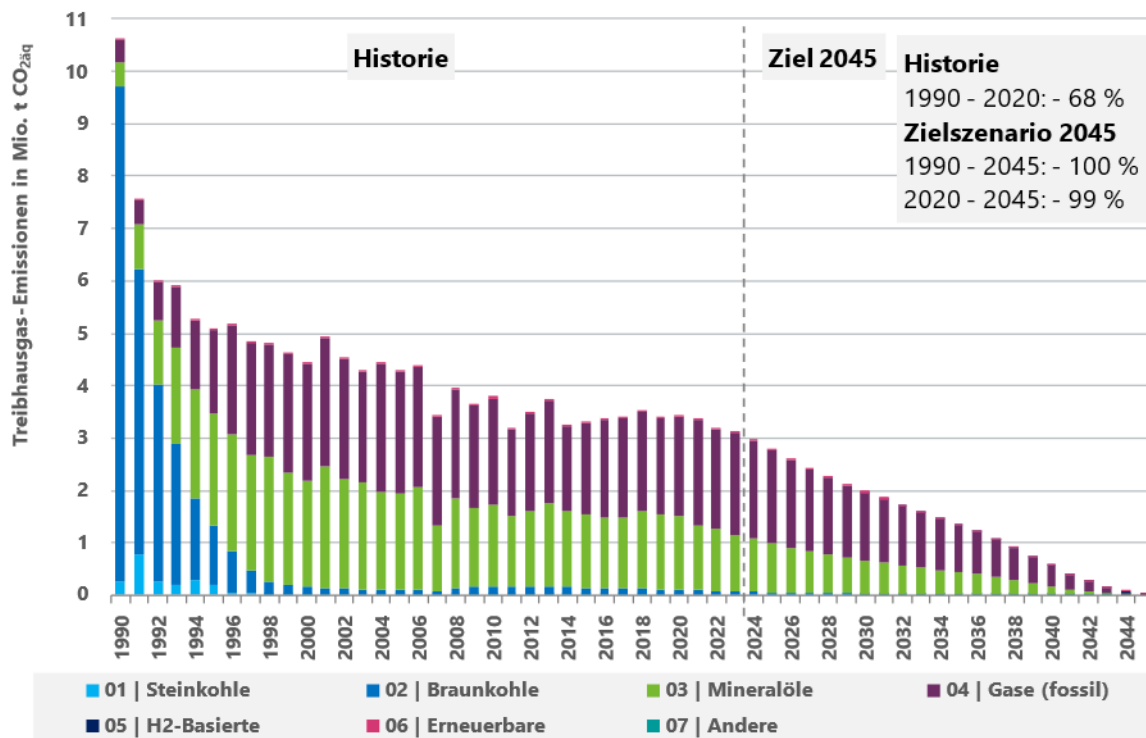


Abbildung 30 Zielszenario 2045: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Gebäude

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von der im Text dokumentierten Quellen und Annahmen

3.3.3 Zielszenario 2040

Die Annahmen des Zielszenario 2045 werden in verschärfter Form im Zielszenario 2040 übernommen. Auch hier bleiben die Rahmendaten, darunter Bevölkerungszahl, Zahl der Haushalte, Zahl der Erwerbstätigen und Gebäudeflächen, unverändert zum Referenzszenario. Die Umsetzung der technischen Maßnahmen wird

hingegen beschleunigt und die Umsetzung dieser erfolgt bis zum Jahr 2040.

Im Zielszenario 2040 werden von 2020 bis 2040 bereits 27 % des Endenergieverbrauchs in Thüringen eingespart. Insgesamt reduziert sich der Energieverbrauch

von 1990 bis 2040 um 54 % (Abbildung 31). Der vollständige Ausstieg fossiler Energieträger erfolgt in diesem Fall bereits 2040. Die Beschleunigung des Hochlaufs der Wärmepumpen führt bis 2030 bereits zu einem Stromanteil von 27 % am Gesamtenergieverbrauch des Sektors. Mit dem Hochlauf der Wärmepumpen erfolgt auch ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energien (Umweltwärme). Der Anteil erneuerbarer Energien steigt bis zum Jahr 2030 auf 28 % (2020: 12 %). Der beschleunigte Ausbau der Wärmenetze erhöht im gleichen Zeitraum den Verbrauchsanteil der

Fernwärme auf 12 %. Der Anteil der fossilen Energieträger, der überwiegend aus Erdgas und Mineralölen besteht, reduziert sich bis zum Jahr 2030 auf 33 % des Endenergieverbrauchs.

Entsprechend der verschärften Zielanforderungen im Zielszenario 2040 wird die Treibhausgasneutralität damit hier bereits im Jahr 2040 erreicht. Zwischen 2020 und 2040 ist dafür eine Einsparung der THG-Emissionen in den Gebäuden Thüringens von 99 % erforderlich (Abbildung 32).

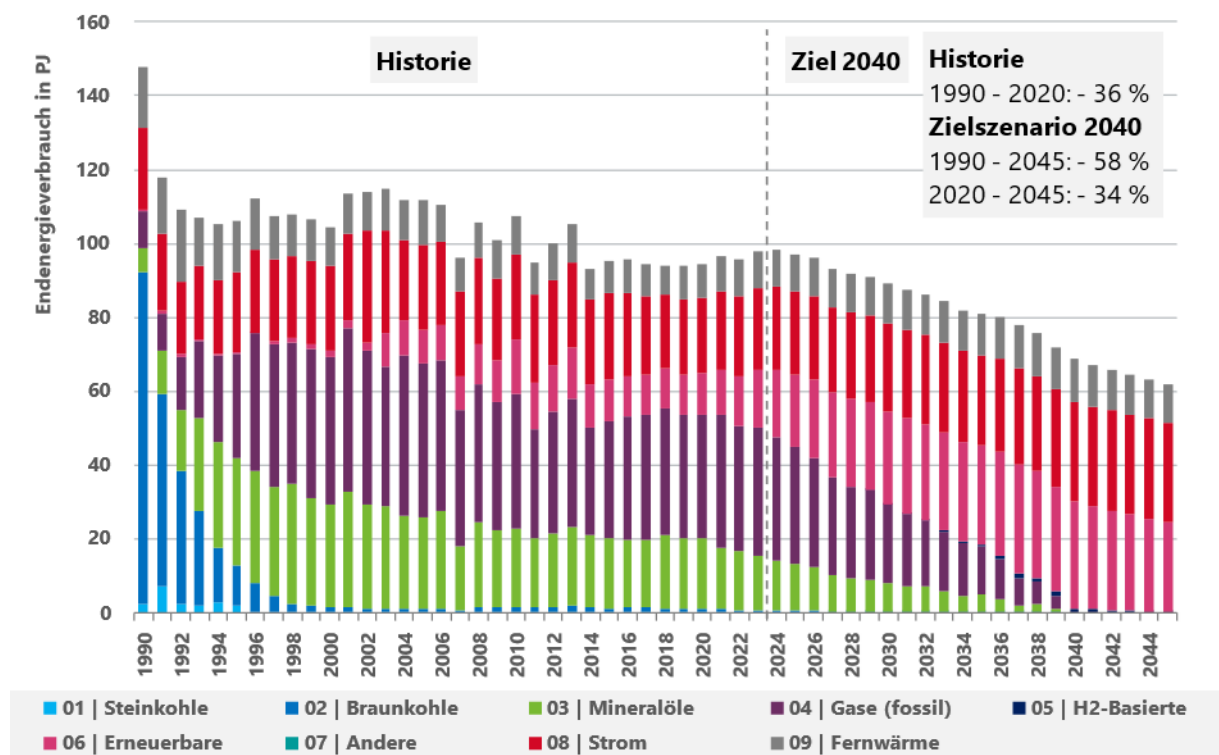


Abbildung 31 Zielszenario 2040: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Gebäude

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis im Text dokumentierten Quellen und Annahmen

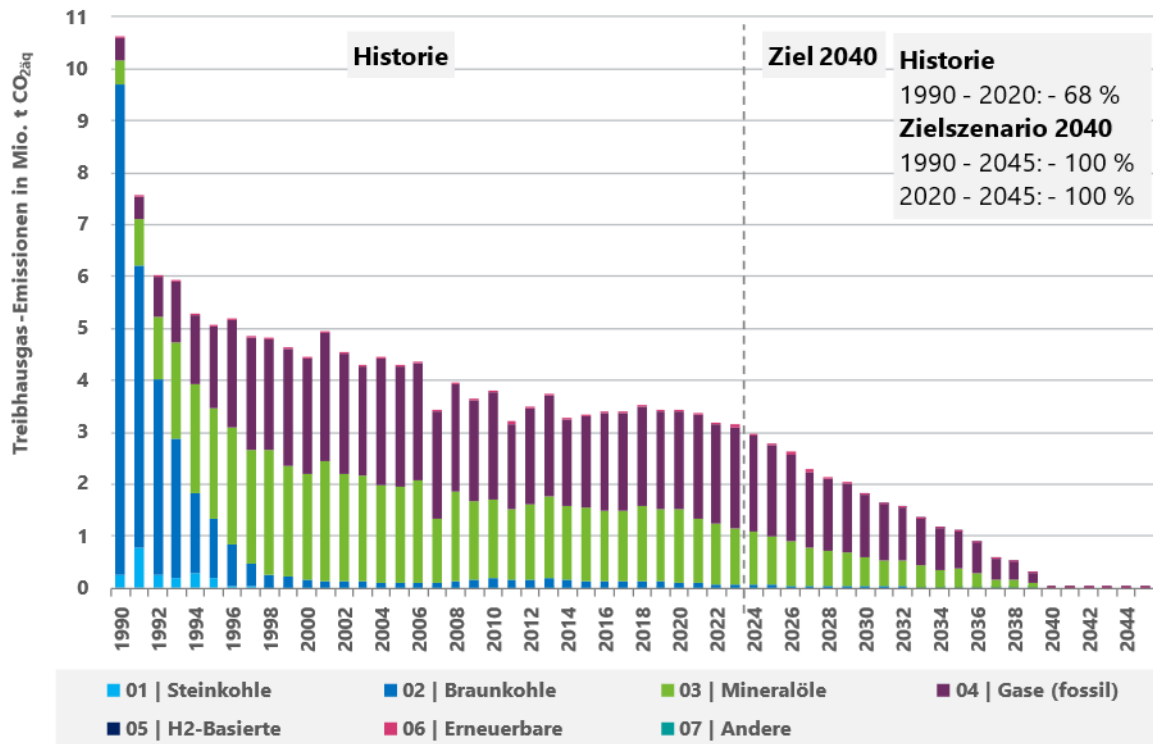


Abbildung 32 Zielszenario 2040: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude

Quelle: Berechnung und Darstellung Prognos auf Basis von im Text dokumentierten Quellen und Annahmen

3.4 Sektor Verkehr

Der Sektor Verkehr gliedert sich in die CRF-Kategorien CRF 1.A.3.a (nationaler Luftverkehr), CRF 1.A.3.b (Straßenverkehr), CRF 1.A.3.c (Schienenverkehr), CRF 1.A.3.d (Schiffsverkehr).

Da Thüringen als einziges Bundesland keine Bundeswasserstraßen aufweist, findet in Thüringen keine Güterbeförderung auf Binnenschiffen statt. Vereinzelt gibt es eine touristische Schifffahrt auf Stauseen. Der Schiffsverkehr spielt in Thüringen somit keine Rolle; auch in der Energiebilanz sind in fast allen bisherigen Jahren keine Mengen ausgewiesen, was darauf hindeutet, dass die in geringem Maße auf Stauseen betriebene Personenschifffahrt ihren Energiebedarf mit Kraftstoffen deckt, die in der Praxis meist einem anderen Sektor zugeordnet wurden. Die Schifffahrt wird daher nicht weiter betrachtet.

Für Luftverkehr, Straßenverkehr und Schienenverkehr werden dagegen differenzierte Annahmen für die drei Szenarien getroffen und nachstehend beschrieben.

Der Energieaufwand zur Herstellung der Fahrzeuge, Bahnen und Flugzeuge, der Verkehrswege und Aufwand zur Bereitstellung der Kraftstoffe ist – entsprechend dem Standard für Quellenbilanzen – nicht Teil des Verkehrssektors.

Datengrundlage

Für die Beschreibung der bisherigen Entwicklung bis zum Jahr 2020 stellt die Energiebilanz, die vom LAK Energiebilanzen veröffentlicht wurde, die zentrale Datenquelle dar, da sie in den vier Teilsektoren (Straßenverkehr, Schienenverkehr, Schiffsverkehr,

Luftverkehr) den Energieverbrauch nach den eingesetzten Energieträgern (Strom, mehrere Mineralölprodukte, Biomasse etc.) differenziert darstellt. Lediglich beim Luftverkehr wird noch eine Umrechnung nötig, um den nationalen Anteil des Luftverkehrs abzugrenzen.

Für die Jahre 2021 bis 2023 wurden weitere Datenquellen hinzugezogen, um die aktuellste Entwicklung so realitätsnah wie möglich im Modell abzubilden: Für die Kraftstoffe waren dies die amtlichen Mineralölstatistiken für die Bundesrepublik Deutschland [BAFA 2023], für den Strombedarf der Eisenbahn wurde die Entwicklung seit 2020 aus den Angaben des TLBV über die bestellten Zugkilometer nach Traktionsarten [TLBV 2024] sowie aus den Fernverkehrsfahrplänen [Fernbahn 2024] abgeleitet. Für die Luftfahrt wurde die Zahl der Flugbewegungen auf dem Flughafen Erfurt für eine Fortschreibung der Zeitreihe herangezogen [ADV 2024]. In die Berechnung einbezogen wurden dabei – in Anlehnung an die Abgrenzung des Luftverkehrs in Anlage 1 des KSG – lediglich der inländische Anteil des Luftverkehrs, dieser lag bis ca. 2010 bei 10 % – 15 %, in den Jahren 2014 bis 2023 jedoch durchweg nicht über 5 %. Der von Thüringen abgehende bzw. ankommende internationale Luftverkehr verbleibt somit außerhalb der Bilanz.

Bisherige Entwicklung

Insgesamt zeigt sich für die letzten Jahre in Bezug auf den Energieträgereinsatz das Bild in Abbildung 33 und in Bezug auf die THG-Emissionen der Verlauf in Abbildung 34.

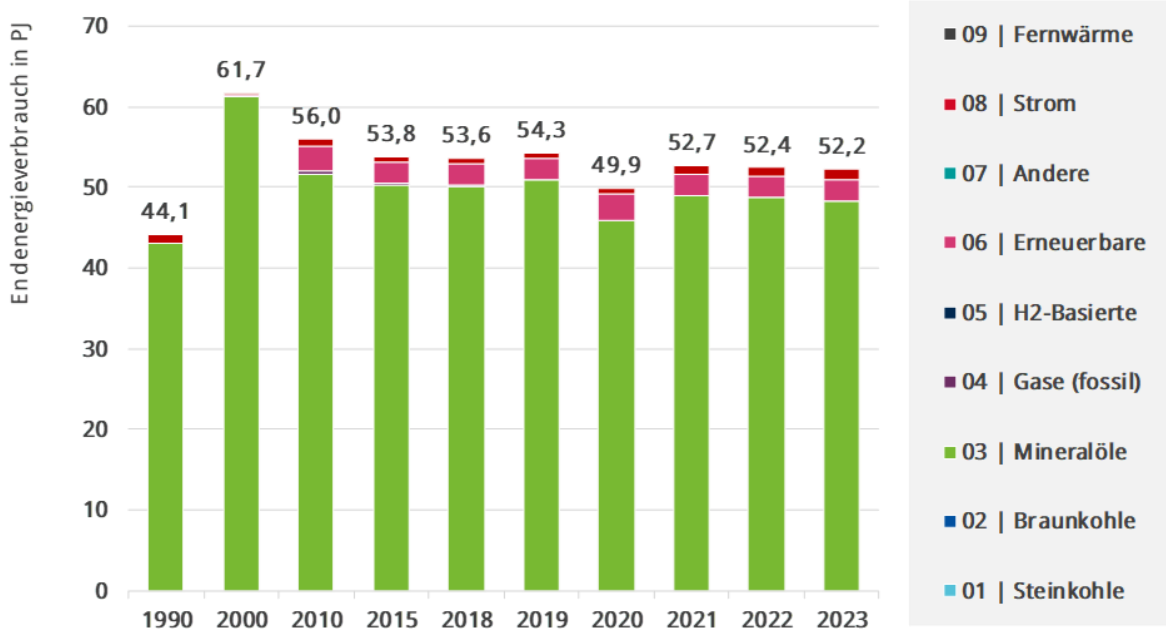


Abbildung 33 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr Thüringens

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [BAFA 2023], [TLBV 2024] und [ADV 2024]

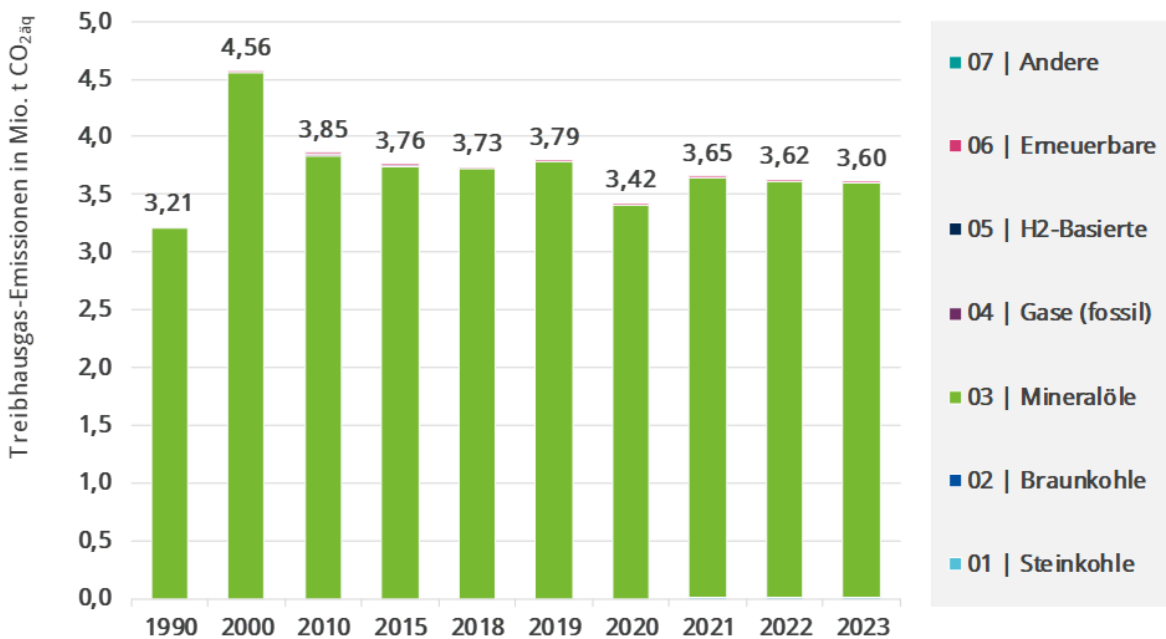


Abbildung 34 Entwicklung der THG-Emissionen aus dem Verkehr Thüringens

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [BAFA 2023], [TLBV 2024] und [ADV 2024]

Nach dem Anwachsen der Motorisierung in den 1990er Jahren und der Einführung der Beimischung von Biokraftstoffen im Jahrzehnt ab 2000 sank der Energieverbrauch von 2000 bis 2015 etwa analog zur Einwohnerzahl. Erst im Jahr 2020 war durch die Maßnahmen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie erstmals ein deutlicher Rückgang zu verzeichnen. Danach wurde das

Niveau von 2019 nicht ganz wieder erreicht, was vorwiegend auf die seither verstärkt genutzten Möglichkeiten der Heimarbeit und der virtuellen Konferenzen zurückgeführt werden kann (Verkehrseinsparung), und zu einem sehr geringen Anteil auf die Umstellung auf Elektromobilität.

3.4.1 Referenzszenario

Für das Referenzszenario wurden die zentralen Annahmen aus dem Projektionsbericht 2023 [UBA 2023a] abgeleitet.

Demnach werden insbesondere folgende Entwicklungen erwartet:

Straßenverkehr

Die Verkehrsnachfrage geht von den regionalisierten Daten zur Verkehrsleistung aus der Erhebung „Mobilität in Deutschland“ von 2017 aus [MID 2017] und orientiert sich in ihrem weiteren Verlauf bis 2045 an den bundesweiten Daten des Projektionsberichts [UBA 2023a].

- Die Verkehrsleistung im MIV steigt danach von 2017 (je Einwohner ca. 10.400 km p. a.) bis 2045 auf ca. 11.300 km p. a. an. Da die Einwohnerzahl parallel rückläufig ist, bleibt die Fahrleistung aller Pkw mit ca. 16 Mrd. Fz-km von 2024 bis 2045 fast stabil.
- Der Anteil an der Pkw-Gesamtfahrleistung, der elektrisch zurückgelegt wird, steigt bis 2045 kontinuierlich auf knapp 69 % an. Für Deutschland sieht der Projektionsbericht einen steileren Hochlauf als derzeit vor, ausgehend davon wurde für Thüringen anhand der bisherigen Entwicklung eingeschätzt, dass

sich die Elektrifizierungsquote des Bundes jeweils mit einem Jahr Verzögerung ergibt.

- Die Fahrleistungen der Lkw und Sattelzugmaschinen steigen von 2020 bis 2045 um 30 % an. Dies entspricht den Steigerungsraten bei leichten und schweren Nutzfahrzeugen, die für den Güterkraftverkehr bundesweit im Projektionsbericht errechnet wurden [UBA 2023a], wobei Anteil Thüringens an der bundesweiten Fahrleistung analog zur demographischen Entwicklung als leicht rückläufig angenommen wurde.
- Der Anteil der elektrisch zurückgelegten Fahrleistung im Güterkraftverkehr steigt von 0,5 % (2023) auf 30 % im Jahr 2045 an, bei den Bussen von 1,1 % auf 60 %.

Schieneverkehr

- Das Zugangebot im Schienenpersonenfernverkehr (SPFV) steigt von 4,6 Mio. Zug-km (2023) auf 6,1 Mio. Zug-km an und erreicht damit den Zielfahrplan des Deutschlandtakts, bis 2045 wird dieses Niveau gehalten. Der SPFV nutzt nur elektrische Züge.
- Das Zugangebot im SPNV steigt von 22,4 Mio. Zug-km (2023) auf 23,2 Mio. Zug-km (2029) und bleibt ab da stabil [TLBV 2024].

- Schrittweise werden Dieselmotoren im SPNV (2023: 31 % der Zug-km) durch elektrische Akku-Triebwagen abgelöst, ab 2037 liegt der Anteil der Dieseltraktion nur noch bei 4 % [TLBV 2024].
- Im Schienengüterverkehr nimmt die Verkehrsleistung je Einwohner und Jahr deutschlandweit gemäß Projektionsbericht von ca. 1.570 tkm/Ew (2021-2023) auf ca. 2.310 tkm/Ew. zu. Diese Werte werden für Thüringen übernommen und bedeuten eine Steigerung des Schienengüterverkehrs von ca. 3,3 Mrd. tkm (2021-2023) auf 4,4 Mrd. tkm (2045). Der Schienengüterverkehr findet derzeit überwiegend und langfristig vollständig elektrisch statt.

Luftverkehr

- Auf dem Flughafen Erfurt-Weimar wurden 2021 bis 2023 im Jahresmittel 6.099 Flugbewegungen erfasst [ADV 2024]. Diese Zahl wird für 2024 bis 2045 als konstant angenommen.
- Der Endenergieverbrauch je Flugbewegung lag im Mittel der Jahre 2017 bis 2019 bei 21,76 GJ. Da das Jahr 2020 durch die Corona-

Pandemie atypisch ausfiel und für die Jahre danach die Energiebilanz noch nicht veröffentlicht ist, wurde dieser Mittelwert bis 2045 unverändert fortgeschrieben. Als Endenergieträger dient bis 2045 durchgängig fossiles Kerosin.

- Der Anteil der inländischen Passagiere am Passagieraufkommen in Erfurt lag gemäß ADV-Statistik in den Jahren 2021 bis 2023 bei durchschnittlich 2,1 % [ADV 2024]. Da gemäß KSG nur der inländische Flugverkehr bilanziert wird, wurde dieser Anteil am Gesamtenergieverbrauch des Flugverkehrs für alle Jahre des Referenzszenarios von 2024 bis 2045 entsprechend übernommen.

Gesamtbetrachtung

Die Zusammenführung der dargestellten Annahmen mit dem Energieträgereinsatz und den spezifischen Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 2) führt im Referenzszenario zu einem Gesamtbild, das in

Abbildung 35 in Bezug auf die Energie graphisch dargestellt ist.

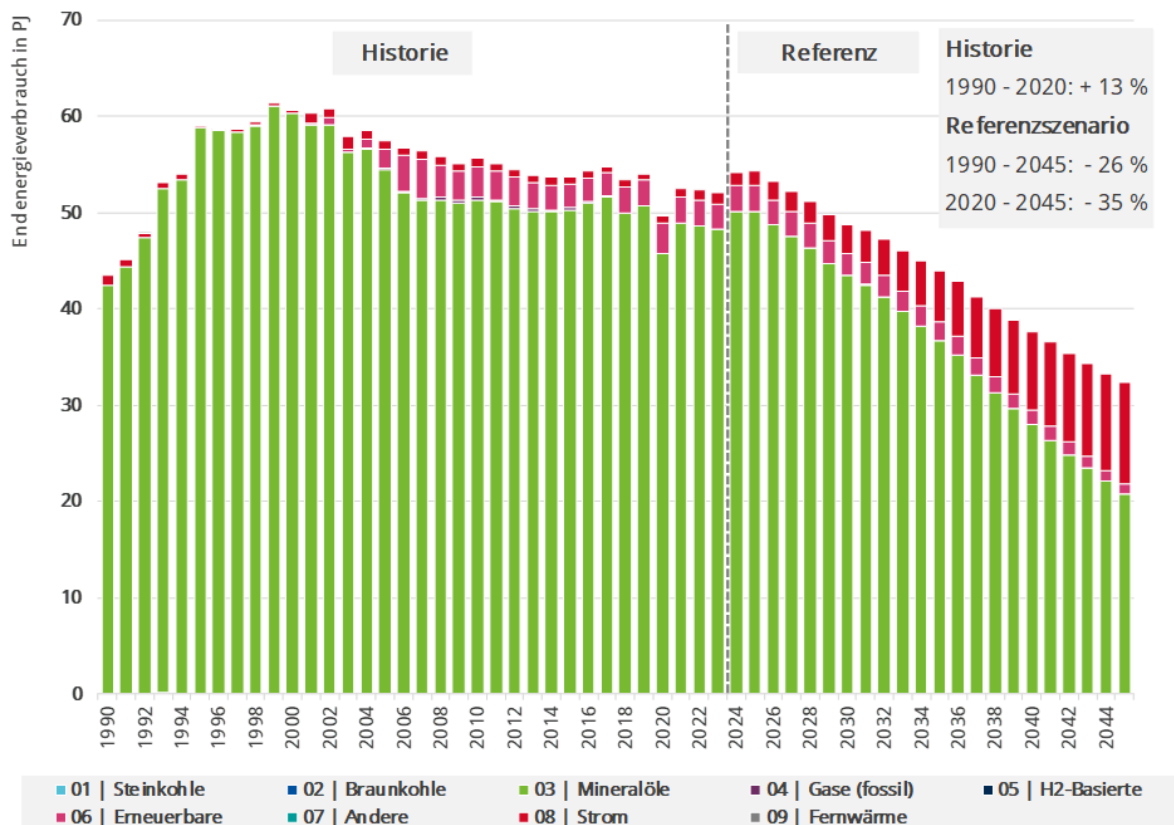


Abbildung 35 Referenzszenario: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Verkehr

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von [UBA 2023a] und im Text dokumentierten Annahmen

Es zeigt sich, dass der Endenergieverbrauch durch den Antriebswechsel bei mehr als zwei Dritteln des Pkw-Verkehrs zur Elektromobilität mit einer deutlichen Senkung des spezifischen Endenergieverbrauchs verbunden ist. Durch den Straßengüterverkehr und die verbleibenden fossilen Pkw entfällt aber selbst 2045 noch annähernd zwei Drittel des Endenergieverbrauchs im Straßenverkehr auf fossile Mineralölprodukte. Der Beitrag der erneuerbaren Energien im Verkehrssektor besteht aus flüssigen Kraftstoffen (Biodiesel, Bioethanol), die als Beimischung vertankt werden, ihr Anteil sinkt mit dem Anteil der Verbrennungsmotoren.

Regenerative Flüssigkraftstoffe auf Wasserstoffbasis werden im Referenzszenario nicht erwartet, da deren Produktion sehr aufwändig und daher preislich nicht wettbewerbsfähig zu den fossilen Kraftstoffen ist.

Bei der Betrachtung der Emissionen folgt die Entwicklung dem Verbrauch der Mineralölprodukte, wie in Abbildung 36 deutlich wird. Die Emissionen der Stromerzeugung sind wegen des Quellenprinzips dem Sektor Energiewirtschaft zugeordnet. Dadurch wird im Vergleich zu 2020 ein Rückgang der THG-Emissionen von 55 % erreicht, in Bezug auf 1990 ein Rückgang um 52 %.

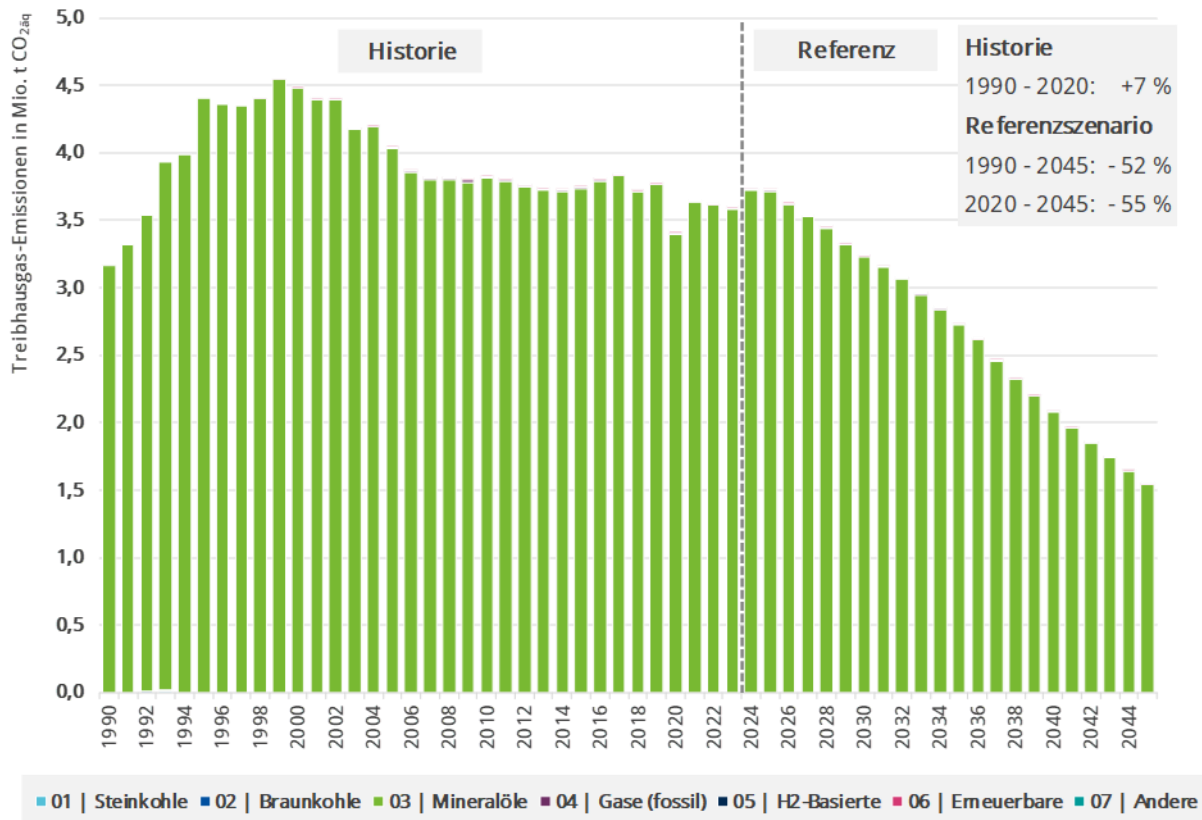


Abbildung 36 Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Verkehr

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von [UBA 2023a] und im Text dokumentierten Annahmen

3.4.2 Zielszenario 2045

Für das Zielszenario 2045 besteht das Kernziel darin, keine fossilen Kraftstoffe mehr zu nutzen, um bis 2045 die THG-Neutralität zu erreichen. Im Schienenverkehr wird dieses Ziel bereits im Referenzszenario annähernd erreicht. Die wirksamste Form, um dieses Ziel auch im Straßenverkehr zu erreichen, wäre ein Verbot des Verkaufs dieser Kraftstoffe, dies würde jedoch dazu führen, dass Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor nicht mehr betrieben werden könnten – sofern keine regenerativen und mit den Motoren verträglichen

alternativen Flüssigkraftstoffe verfügbar sind. Eine solche Maßnahme lässt sich durch ein Bundesland jedoch nicht im Alleingang umsetzen und bringt auch grundsätzlich das Problem mit sich, dass in Europa bis 2035 noch Pkw verkauft werden dürfen, in denen fossile Kraftstoffe verbrannt werden können. Diese Pkw würden dann 2040 oder 2045 faktisch vorzeitig stillgelegt, obwohl sie noch nicht am Ende ihrer Lebensdauer angekommen wären. Für Nutzfahrzeuge ist selbst 2035 noch kein Verbot von Verbrennungsmotoren absehbar,

insbesondere Lkw mit Verbrennungsmotor sind daher auch 2045 noch im Straßenverkehr zu erwarten. Das Zielszenario 2045 verfolgt daher das Ziel, bereits vor dem Verbot der Neuzulassungen von Pkw die Nachfrage nach fossilen Kraftstoffen so stark wie möglich abzusenken, indem die Strategien der Verkehrseinsparung, des Umstiegs auf effizientere Verkehrsmittel („Umweltverbund“), der Förderung des Umstiegs von fossilen auf elektrische Antriebe („Antriebswende“) sowie des Mobilitätsmanagements zusammen stärker als im Referenzszenario wirksam werden. Für den bis 2045 noch verbliebenen Restbestand an Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor werden ab 2030 in zunehmendem Umfang synthetische Kraftstoffe eingesetzt, die auf der Grundlage von erneuerbar hergestelltem Wasserstoff produziert werden. Die Absenkung des Bedarfs vor einer Umstellung des Restbestands auf synthetische Kraftstoffe ist notwendig, weil die Erzeugung von grünem Wasserstoff als Grundlage für die Produktion dieser Kraftstoffe erst schrittweise aufgebaut werden muss und dann vorrangig für Industrieprozesse benötigt wird, die keine Alternative der Elektrifizierung haben. Die Weiterverarbeitung von grünem Wasserstoff zu synthetischen Kraftstoffen soll auch vorrangig solchen Einsatzzwecken dienen, für die elektrische Alternativen nicht verfügbar sind, etwa beim Luftverkehr.

Folgende Annahmen gelten in den verschiedenen Teilbereichen des Verkehrs in Thüringen:

Straßenverkehr

Durch die weitere Ausdehnung der Möglichkeiten der Heimarbeit und des mobilen Arbeitens sowie durch Maßnahmen der Dezentralisierung mit dem Ziel der Verkürzung von täglichen Wegen (zu Schulen, Versorgungseinrichtungen usw.) sowie durch die

Verlagerung vom Pkw zum öffentlichen Verkehr wird die Fahrleistung der Pkw gesenkt. Konkret wird angenommen:

- Die Fahrleistung der Pkw liegt durch die o. g. aufgeführten Maßnahmen (Heimarbeit, Verkürzung von Wegen) 2025 um 1 % und durch die schrittweise wirksamen verkehrseinsparenden Maßnahmen jährlich um einen weiteren Prozentpunkt niedriger als im Referenzszenario, bis 2045 dann 21 % weniger Fahrzeugkilometer durch diese Effekte anfallen.
- Von der verbleibenden Fahrleistung werden durch die Verbesserung des Angebots im öffentlichen Verkehr (SPNV, Busse und Straßenbahnen) weitere Fahrzeugkilometer eingespart. Da der öffentliche Verkehr derzeit einen geringeren Anteil an der Verkehrsleistung hat, entspricht eine Senkung der MIV-Nachfrage um 1 % einer Steigerung der ÖPNV-Nachfrage um 4,47 %. Da die Ausweitung des ÖPNV-Angebots durch die begrenzten Möglichkeiten bei Beschaffung von Fahrpersonal und Fahrzeugen begrenzt sind und das Angebot im SPNV bereits bis 2036 weitgehend feststeht, ergibt sich aus diesen Verlagerungseffekten bis 2045 eine Absenkung der verbleibenden MIV-Nachfrage um 4,5 %.
- Durch aktive Unterstützung bei der Außerbetriebnahme von Pkw mit Verbrennungsmotor und durch hohe CO₂-Preise verläuft die Elektrifizierung der Pkw-Flotte schneller als im Referenzszenario. Die Ariadne-Analyse [Seibert et al. 2022] zeigt, dass selbst unter günstigsten Bedingungen die Haltedauer der verbliebenen Verbrenner nicht verkürzt wird, so dass 2045 noch mindestens 7 % der Bestands-Pkw Verbrennungsmotoren aufweisen dürfen. Im Zielszenario 2045 wird

dementsprechend angenommen, dass sich der Anteil der Fahrleistung, die mit elektrisch betriebenen Pkw zurückgelegt wird, bis dahin auf 93 % erhöht. Um diese zu erreichen, werden in der zitierten Ariadne-Analyse [Seibert et al. 2022] verschiedene Varianten von Abwrackprämien für Verbrenner-Pkw diskutiert.

- Eine gezielte Förderung von elektrischen Kleinwagen führt dazu, dass der spezifische Stromverbrauch von E-Pkw, der im Referenzszenario als konstant angenommen wird, jährlich um einen halben Prozentpunkt sinkt, bis der spezifische Verbrauch der E-Pkw 2045 bei 89,5 % des derzeitigen Verbrauchs liegt.
- Die Fahrleistungen im Güterkraftverkehr steigen nicht so stark wie im Referenzszenario an. Dies kann durch regionale Lieferketten, die Ausrichtung des Einzelhandels auf regionale und saisonale Angebote, durch die Verlagerung von Güterverkehrsleistungen auf die Schiene, durch die Kostenpflichtigkeit von Retouren im Online-Handel sowie die verstärkte Nutzung von E-Lastenrädern im innerstädtischen Lieferverkehr erreicht werden. Dazu wird ein schrittweise wachsender Unterschied zum Referenzszenario angenommen, bis 2045 die Fahrleistung im Straßengüterverkehr um 15,75 % niedriger als im Referenzszenario bzw. um 9,5 % höher als 2020 liegt.
- Der Anteil der elektrisch zurückgelegten Fahrleistung im Straßengüterverkehr steigt von 0,5 % (2023) über 20 % im Jahr 2030 bis auf 94 % im Jahr 2045 an und orientiert sich dabei an den Langfristszenarien des BMWK [ISI 2022], bei denen bis 2045 je nach Szenario zwischen 89 % und 99 % der Lkw-Bestände elektrifiziert sind (ohne Brennstoffzelle). Diese Quote ist niedriger als bei den

Pkw, kann aber durch die vergleichsweise kürzere Nutzungsdauer erklärt werden.

- Bei den Bussen steigt der Anteil elektrischer Fahrleistung bis 2045 schrittweise auf 100 %. Die Fahrleistung der Busse steigt parallel an, um Verkehr vom MIV auf den ÖPNV verlagern zu können, 2045 liegt es um rund 20 % höher als im Referenzszenario.
- Von 2030 bis 2045 werden alle fossilen Otto- und Dieselmotoren, die von den noch nicht elektrifizierten Fahrzeugen benötigt werden, schrittweise durch synthetische Kraftstoffe (PtL-Fuels) ersetzt. Wegen des schrittweisen Aufbaus der Produktionskapazitäten erreicht der Anteil der PtL-Fuels 2035 erst 15 %, steigt dann aber bis 2045 rasch auf 100 % des (parallel sinkenden) Bedarfs an Flüssigkraftstoffen an.

Schienenverkehr

- Ausgehend von dem auch im Referenzszenario erreichten Deutschlandtakt im Jahr 2035, wird das Zugangebot im SPfV nach 2035 jährlich weiter ausgeweitet, bis es 2045 um 20 % umfangreicher als im Referenzszenario ausfällt.
- Das Zugangebot im SPNV entspricht bis 2036 dem Referenzszenario, danach steigt es weiter an, bis es 2045 um 18 % umfangreicher als im Referenzszenario ausfällt.
- Der Schienengüterverkehr steigt ab 2025 schneller als im Referenzszenario an, bis seine Verkehrsleistung 2045 um 42 % höher als im Referenzszenario ausfällt.
- Die noch verbliebenen Dieselmotoren werden zwischen 2037 und 2045 schrittweise vollständig auf Akku-Triebwagen umgestellt.

- Die derzeit mit Kohle betriebenen Dampfzüge werden zwischen 2035 und 2040 auf synthetische Flüssigkraftstoffe umgestellt.
- Durch eine witterungsabhängig andere Steuerung der Klimatisierung der Züge im Personenverkehr sowie ab 2035 durch effizientere Züge sinkt der spezifische Energiebedarf der Züge bis 2045 um ca. 13 % im Personenverkehr und um 10 % im Güterverkehr.
- Ab 2032 wird Kerosin schrittweise durch synthetische Kraftstoffe ersetzt, wodurch auch die Kosten weiter steigen.
- Durch die höheren Kosten und die attraktiveren Bahnangebote ist damit zu rechnen, dass die Wirtschaftlichkeit des Flugverkehrs so ungünstig wird, dass Flugbewegungen von Thüringen aus nur noch in Ausnahmefällen durchgeführt werden (z. B. Transport von Organspenden oder vergleichbarer Güter).

Luftverkehr

- Bereits im Referenzszenario spielt der Luftverkehr in Thüringen nur eine sehr untergeordnete Rolle. Durch eine stärkere Belastung des Luftverkehrs mit Steuern und Abgaben ab 2026 wird ein Teil der Flüge unwirtschaftlich, die Zahl der Flugbewegungen liegt ab da noch um 20 % niedriger.
- Durch eine Förderung effizienterer Flugzeugtechnologie sinkt der Energieverbrauch je Flugbewegung bis 2045 schrittweise bis auf 80 % des heutigen Niveaus ab.

Gesamtbetrachtung

Die Zusammenführung der dargestellten Annahmen mit dem Energieträgereinsatz und den spezifischen Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 2) führt im Zielszenario 2045 zu einem Gesamtbild, das in Abbildung 37 in Bezug auf den Endenergieverbrauch graphisch dargestellt ist.

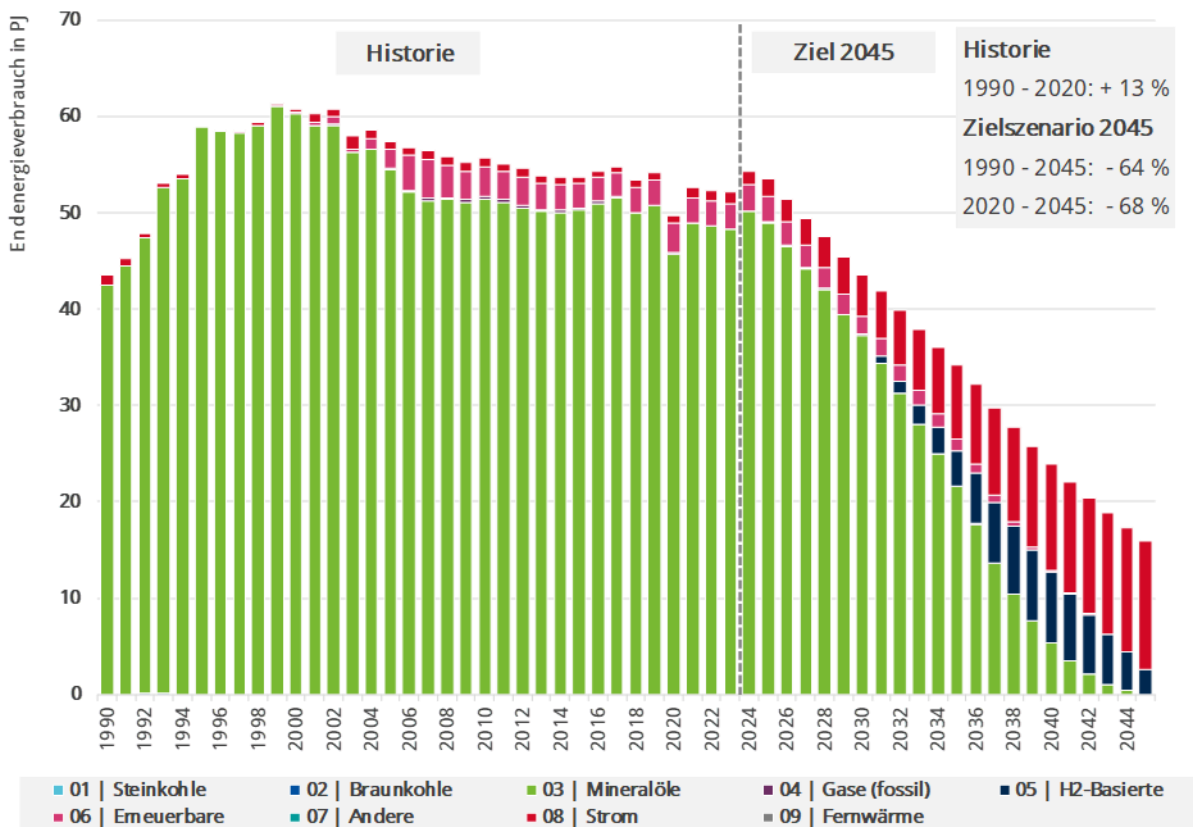


Abbildung 37 Zielszenario 2045: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Verkehr

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von im Text dokumentierten Annahmen

In der Graphik wird deutlich, wie die beschleunigte Elektrifizierung den Energiebedarf noch deutlicher als im Referenzszenario absinken lässt. Der Anteil der synthetischen Kraftstoffe (in der Grafik als H2-Basierte dargestellt) steigt von 2030 bis 2039 stark an (Maximum 2039: 7,3 PJ), sinkt dann aber durch die weiter steigende Effizienz und das Auslaufen der Verbrennungsmotoren wieder ab.

Bei der Betrachtung der Emissionen folgt die Entwicklung in gleicher Weise wie im Referenzszenario dem Verbrauch der Mineralölprodukte, allerdings mit dem Unterschied, dass diese bis 2045 nicht mehr zum Einsatz kommen und so die Treibhausgasneutralität erreicht wird (vgl. Abbildung 38).

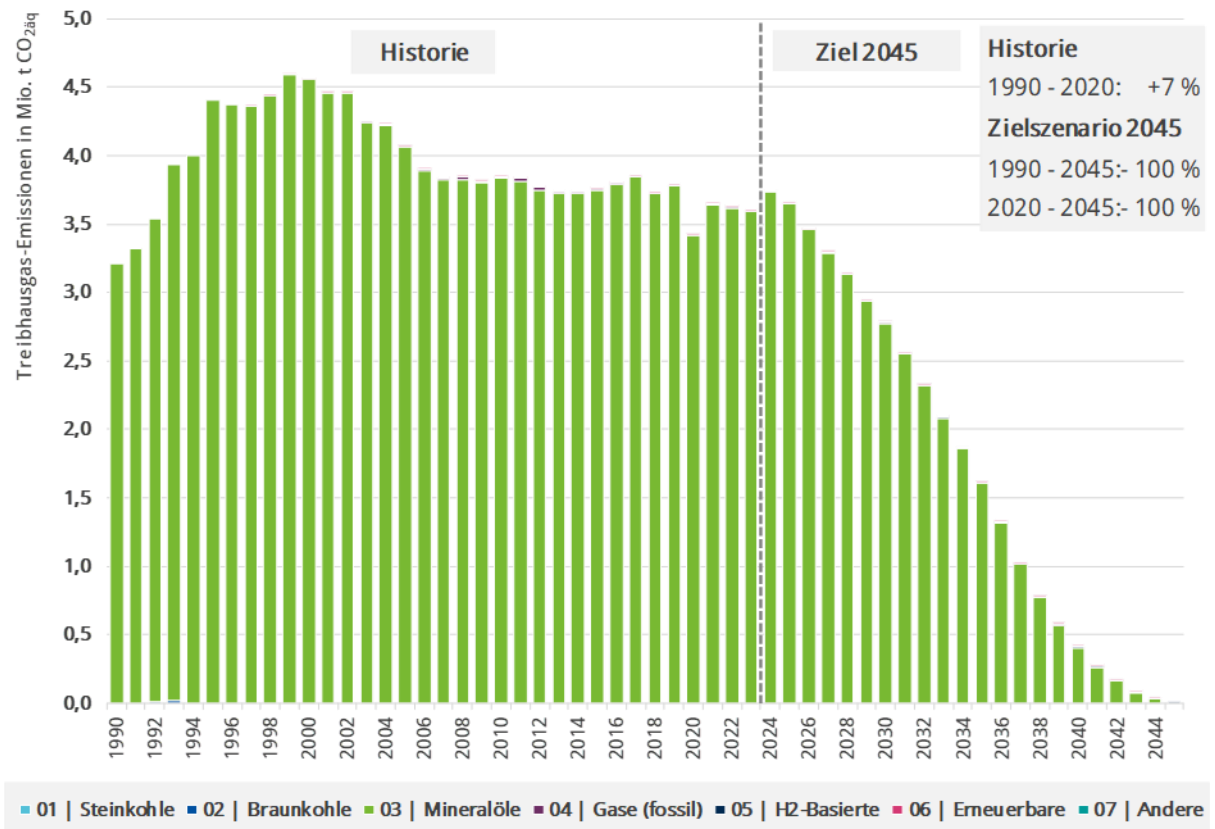


Abbildung 38 Zielszenario 2045: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Verkehr

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von im Text dokumentierten Annahmen

3.4.3 Zielszenario 2040

Für das Zielszenario 2040 gelten – soweit nicht anders beschrieben – die Annahmen des Zielszenarios 2045 weiter. Um die Treibhausgasneutralität jedoch schon im Jahr 2040 zu erreichen, wurden die nachfolgend beschriebenen Annahmen abweichend zum Zielszenario 2045 getroffen.

Straßenverkehr

- Der Anteil elektrisch angetriebener Busse erreicht bereits 2035 60 % und 2040 100 %.
- Die Umstellung der noch nicht elektrifizierten Fahrzeuge auf synthetische Kraftstoffe erfolgt deutlich schneller, ausgehend vom Jahr 2030 wird bis 2035 bereits 50 % und im Jahr 2040 100 % des fossilen Kraftstoffs durch diese regenerativen Kraftstoffe auf Basis von grünem Wasserstoff ersetzt.

Schienenverkehr

- Die Umstellung der verbliebenen Dieseltriebwagen auf Akku-Triebwagen verläuft zwischen 2036 und 2040 beschleunigt, so dass ab 2040 nur noch elektrisch angetriebene Züge in Thüringen unterwegs sind (entweder mit Oberleitung oder Akku).

Luftverkehr

- Inlandsflüge werden noch schneller unwirtschaftlich als im Zielszenario 2045.

Gesamtbetrachtung

Die Zusammenführung der dargestellten Annahmen mit dem Energieträgereinsatz und den spezifischen Emissionsfaktoren (vgl. Kapitel 2) führt im Zielszenario 2040 zu einem Gesamtbild, das in Abbildung 39 in Bezug auf den Endenergieverbrauch graphisch dargestellt ist.

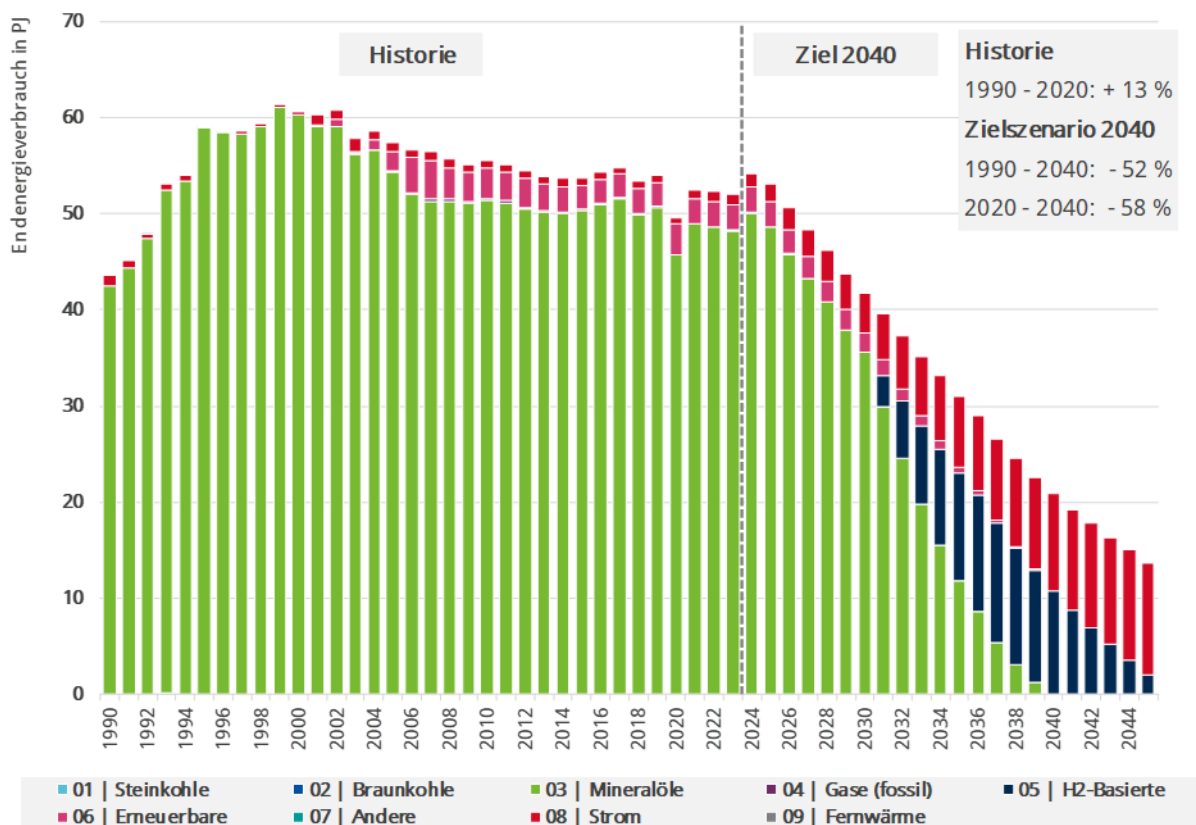


Abbildung 39 Zielszenario 2040: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Verkehr

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von im Text dokumentierten Annahmen

Die im Vergleich zum Zielszenario 2045 beschleunigte Abkehr von fossilen Kraftstoffen bringt es mit sich, dass in den 2030er Jahren der Bedarf an wasserstoffbasierten synthetischen Kraftstoffen deutlich schneller anwächst und bereits 2037 mit 12,4 PJ ihr Maximum erreicht, bevor sich die Entwicklung wieder dem Zielszenario 2045 annähert.

Die THG-Emissionen sinken ebenso wie der Verbrauch an Mineralölprodukten und erreichen ab 2040 das Ziel einer 100 %-Minderung.

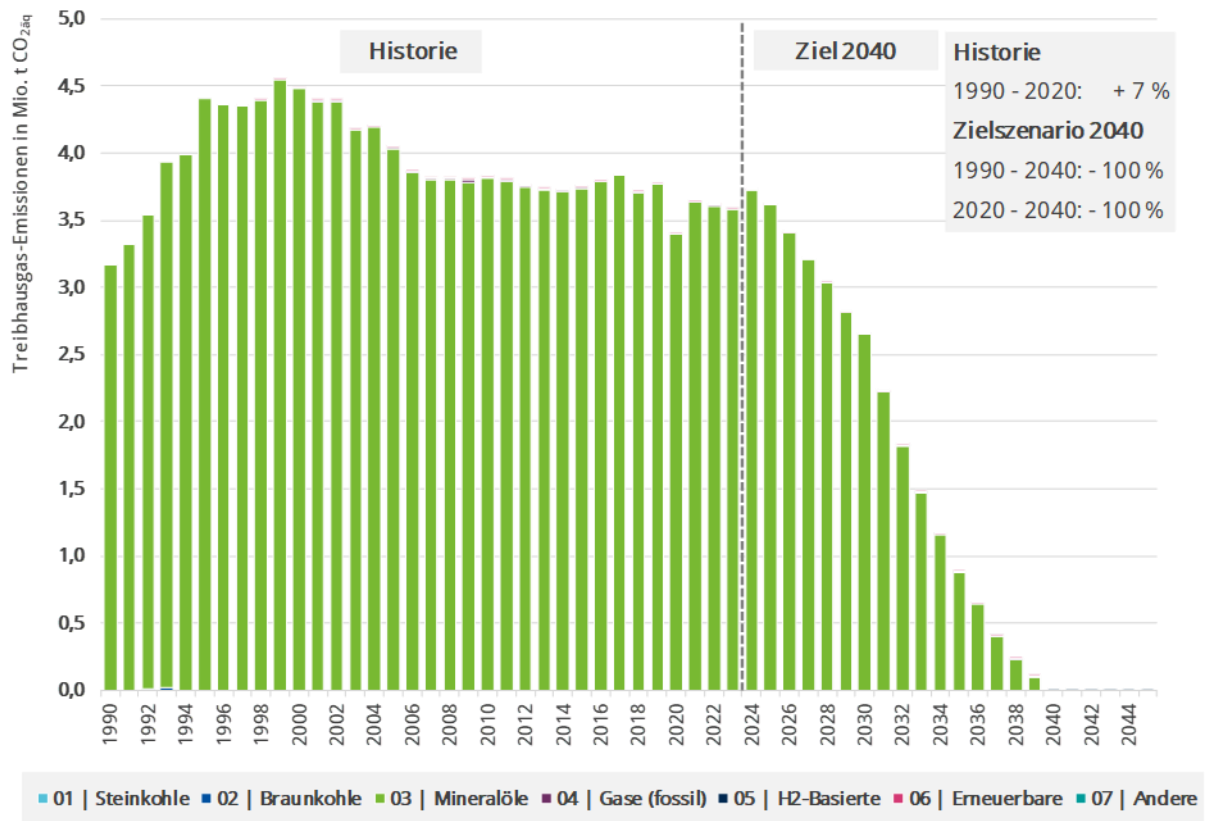


Abbildung 40 Zielszenario 2040: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Verkehr

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von im Text dokumentierten Annahmen

3.5 Sektor Landwirtschaft

Die Zuordnung der im Sektor Landwirtschaft erfassten THG-Emissionen ist in Abschnitt 2.4.1 beschrieben. Die wesentlichen Emissionen resultieren aus der Tierhaltung und der Nutzung landwirtschaftlicher Böden.

Datengrundlage

Die Berechnung des Referenzszenarios und der Zielszenarien erfolgte auf Basis der aktuellen Submission des Thünen-Instituts als Teil des Nationalen Inventarberichtes der Bundesregierung [Thünen 2023a]. Auf Ebene der Bundesländer sind neben den THG-Emissionen auch die Aktivitätsgrößen (u. a. Tierzahlen, landwirtschaftliche Fläche, Anwendung von Mineraldünger etc.) und spezifischen Emissionsfaktoren verfügbar, so dass die Berechnungen in einem Modell abgebildet werden können. Das aktuelle Berichtsjahr ist 2021.

Für die Jahre 2022 und 2023 wurden die THG-Emissionen anhand aktuell verfügbarer Datenquellen des Thüringer Landesamts für Statistik zu Tierzahlen [TLS 2023a] und landwirtschaftlicher Fläche [TLS 2023b] abgeleitet.

Für die Berechnung der Szenarien wurden Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der Aktivitätsgrößen

getroffen, wobei eine Differenzierung zwischen den Szenarien ab 2025 auftritt.

Bisherige Entwicklung

Im Jahr 2020 war die Landwirtschaft in Thüringen für die Emission von 1,59 Mio. t CO_{2äq} verantwortlich. Den Hauptanteil machen die Emissionen der Fermentation und aus der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen aus (Abbildung 41). Insbesondere der Rückgang der Tierbestände bei den Rindern (allein zwischen 1990 und 1991 Abnahme um 30 %) und Schweinen hat Anfang der 1990er Jahre zu einer deutlichen Reduktion der THG-Emissionen sowohl aus der Fermentation als auch aus dem Wirtschaftsdünger-Management und damit auch der gesamten Landwirtschaft geführt. Die Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden sind leicht rückläufig, was vornehmlich auf einen geringeren flächenspezifischen Verbrauch mineralischer und auch organischer Düngemittel zurückzuführen ist. Die Emissionen aus der Kalkung und der Anwendung von Harnstoff haben in den letzten Jahren wieder etwas zugenommen, an den Gesamtemissionen jedoch weiterhin einen vergleichsweise geringen Anteil.

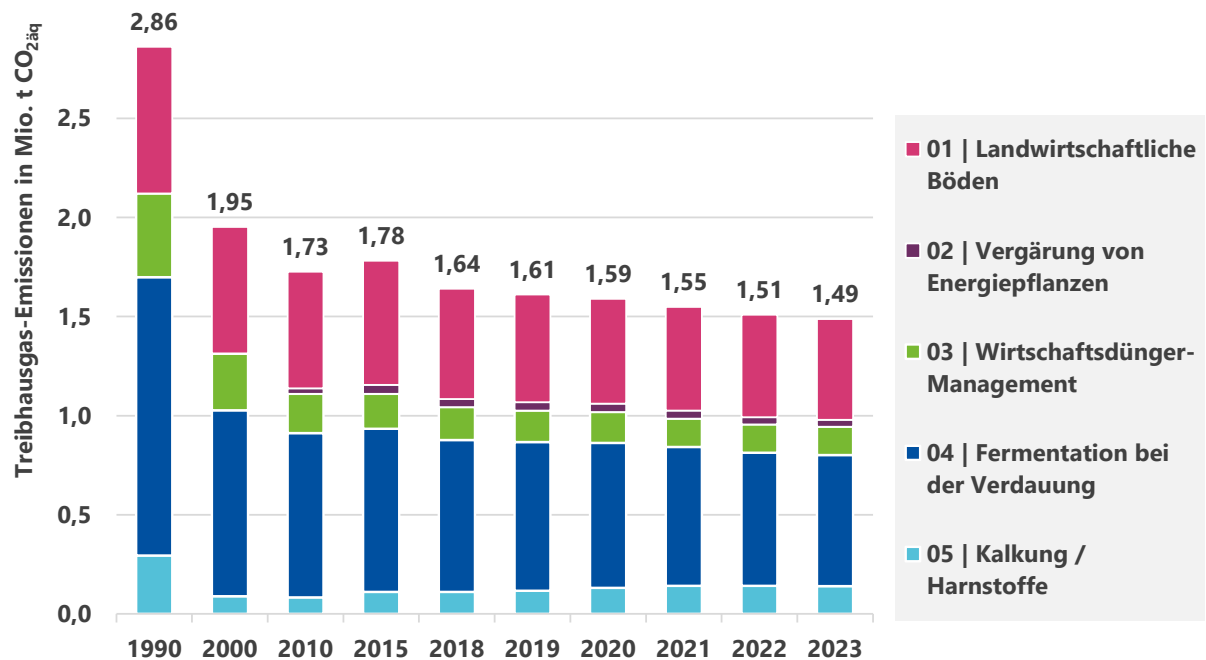


Abbildung 41 Entwicklung der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft Thüringens
Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [Thünen 2023a]

3.5.1 Referenzszenario

Im Referenzszenario werden grundsätzlich die Entwicklungen des Bundestrends entsprechend dem Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des Projektionsberichtes [UBA 2023a] angenommen, wobei strukturelle Besonderheiten des Freistaats Thüringen berücksichtigt werden.

Landwirtschaftlich genutzte Fläche

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche (LN) Thüringens beträgt derzeit ca. 770.000 ha.

- 2022 wurden 7,7 % (59.200 ha) der LN im Ökolandbau bewirtschaftet. Zum Vergleich: Im selben Jahr betrug dieser Flächenanteil in Deutschland 11,2 %. Im Referenzszenario wird die Fläche des Ökolandbaus bis 2030 auf

30 % der LN ausgeweitet. Dies entspricht der ambitionierten Zielsetzung im Koalitionsvertrag 2021 der Bundesregierung. Bis 2045 bleibt der Anteil konstant. Es wird angenommen, dass das Verhältnis von Ackerland und Grünland unter ökologischer Bewirtschaftung in etwa entsprechend der heutigen Anteile in Thüringen (ein Drittel Ackerland, zwei Drittel Grünland) beibehalten wird. Die Umstellung auf ökologischen Landbau wirkt sich auf die THG-Emissionen vor allem über die Verringerung des Stickstoff-Mineraldüngereinsatzes aus.

- Der Anteil der landwirtschaftlich genutzten, entwässerungsbasierten Böden liegt in Thüringen unter einem Prozent der LN (etwa

5.800 ha). Durch eine Wiedervernässung dieser Flächen können THG-Emissionen vermieden werden. Im Sektor Landwirtschaft werden die Änderungen durch eine veränderte Bewirtschaftung berücksichtigt, im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) die vermiedenen CO₂-Emissionen. Unabhängig von einer möglichen Umsetzung wird in den Szenarien die THG-Minderung durch Wiedervernässung aufgrund der geringen Flächen vernachlässigt.

- Durch Waldmehrung, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen etc. beträgt der jährliche Waldflächenzuwachs 10 ha. Dies entspricht den Annahmen im Gutachten zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie für Thüringen [IE Leipzig 2018]. Bis 2045 gehen damit 240 ha aus der landwirtschaftlichen Nutzung. Es ist absehbar, dass der Umfang von Grenzertragsstandorten (ertragsarme und grundwasserferne mineralische Ackerstandorte) zunehmen wird, die aus betriebswirtschaftlicher Sicht als Erstaufforstungsflächen in Frage kommen können.
- Durch den Rückgang der Tierbestände wird Futterfläche frei, für die eine pflanzenbauliche Nutzung unterstellt wird.

Düngeranwendung

- Die Anwendung von Kalk auf LN wird entsprechend dem Trend der letzten fünf Jahre fortgeschrieben.
- Chemisch-synthetische Stickstoffdünger (Ammonium, Nitrat) sind im Ökolandbau grundsätzlich verboten. Die Umsetzung der Düngeverordnung (2020) und flankierender Förderprogramme bewirkt zudem eine Reduzierung des N-Mineraldüngereinsatzes um 4 kg Stickstoff pro Hektar im Jahr 2030 [UBA 2023a].

Insgesamt reduziert sich die Anwendung chemisch-synthetischer Düngemittel zwischen 2020 und 2045 um 17 %.

- Die Ausbringung von Wirtschaftsdünger entwickelt sich entsprechend der Tierzahlen.

Tierhaltung

Wichtige Treiber bei den Szenarien ist die Entwicklung der Rinder- und Schweinebestände. Die statistischen Daten zeigen seit 2015 mit Ausnahme von Geflügel einen teils deutlichen Rückgang der Tierbestände (2015 bis 2023: Schweine -21 %, Rinder -20 %). Diese Trends werden, aus Gründen der Vorsicht mit geringerer Ausprägung, fortgeschrieben.

- Zwischen 2020 und 2045 werden entsprechend der Entwicklung auf Bundesebene [UBA 2023a] folgende Bestandsänderungen angenommen:
 - Milchkühe -15 %
 - übrige Rinder -10 %
 - Schweine -28 %
 - Geflügel +3 %
 - Schafe/Ziegen 0 %

Energiepflanzenvergärung

Entsprechend dem Bundestrend in [UBA 2023a] wird gegenüber 2020 eine Abnahme des Energiepflanzenanbaus und damit der Energiepflanzenvergärung in Biogasanlagen um etwa 60 % bis 2030 angenommen, bis 2045 bleibt der Anteil konstant. Diese Annahme führt zu einer starken Verringerung der Stickstoffdüngung aus Biogas-Gärresten, was eine Reduktion der Lachgasemissionen bewirkt.

Gesamt Betrachtung

Durch das Zusammenwirken der zuvor beschriebenen Annahmen sinken die gesamten landwirtschaftlichen THG-Emissionen im Referenzszenario im Vergleich zu 2020 um 15 % (-0,24 Mio. t CO_{2äq}) und im Vergleich zu 1990 um 53 % auf 1,35 Mio. t CO_{2äq} im Jahr 2045 (vgl. Abbildung 42). Im Projektionsbericht [UBA 2023a] werden die Veränderungen der Aktivitäten (Anzahl der Tiere etc.) größtenteils bereits im Jahr

2030 erreicht, so dass bis 2045 kaum weitere THG-Minderungen erzielt werden. Den größten Einfluss auf den Rückgang der THG-Emissionen zwischen 2020 und 2045 hat der Rückgang der Tierbestände (Fermmentation -0,10 Mio. t CO_{2äq}, Wirtschaftsdünger-Management -0,03 Mio. t CO_{2äq}). Darüber hinaus bewirkt bei den landwirtschaftlichen Böden die konsequente Umsetzung der Düngeverordnung eine THG-Reduzierung um -0,06 Mio. t CO_{2äq}.

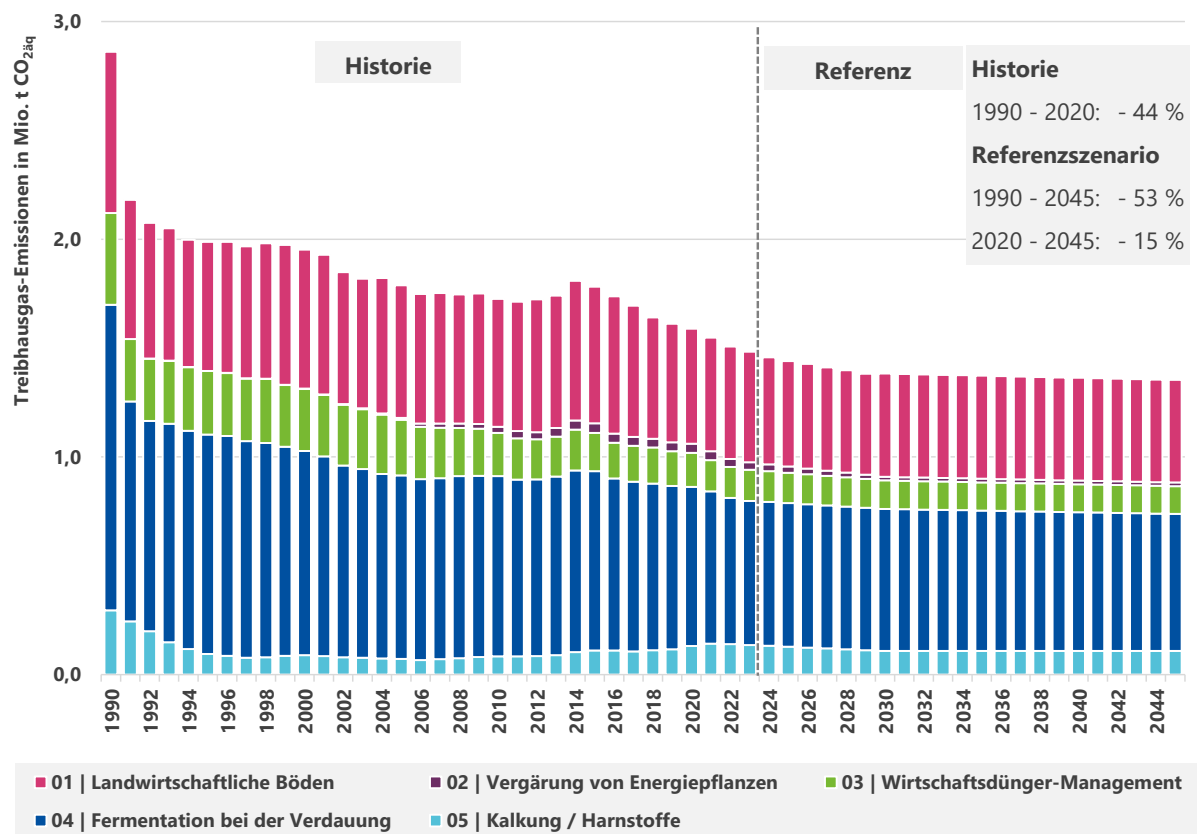


Abbildung 42 Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von [UBA 2023a] und im Text dokumentierten Annahmen

3.5.2 Zielszenario 2045

Die Entwicklungen bis 2024 folgen dem Referenzszenario, ab 2025 werden im Zielszenario 2045 für einige Annahmen ambitioniertere Maßnahmen zur Reduzierung der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft Thüringens in Ansatz gebracht.

Landwirtschaftlich genutzte Fläche

Die Entwicklung der LN unterscheidet sich im Zielszenario 2045 nicht vom Referenzszenario. Die Annahmen zur Flächenausweitung des Ökolandbaus, zur Wiedervernässung landwirtschaftlich genutzter entwässerungsbasierter Böden und zu Erstaufforstungsflächen werden uneingeschränkt übernommen.

Düngeranwendung

- Die Anwendung von Kalk auf LN wird entsprechend dem Referenzszenario fortgeschrieben.
- Durch die geplante Umsetzung der Novelle der Stoffstrombilanz und eine über das Referenzszenario hinausgehende weitere Steigerung der Stickstoffeffizienz reduziert sich die Anwendung chemisch-synthetischer Düngemittel zwischen 2020 und 2045 um insgesamt 50 %. Die Verbesserung der Stickstoffeffizienz entspricht den in der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ [Prognos et al. 2021a] angenommenen bundesweiten Entwicklungen mit einem Zielwert von 72 kg Stickstoff pro Hektar ab dem Jahr 2030.
- Die Ausbringung von Wirtschaftsdünger entwickelt sich entsprechend der Tierzahlen.

Tierhaltung

Im Zielszenario 2045 wird von einer weiteren Reduktion des Konsums tierischer Lebensmittel und deren

Ersatz durch pflanzliche Fleisch- und Milchalternativen ausgegangen. Auch die Zukunftskommission Landwirtschaft hebt die Notwendigkeit der Reduktion des Konsums und der Produktion tierischer Produkte hervor und geht in ihrem Zielbild bis 2045 von einer 50 %-Reduktion des Pro-Kopf-Konsums von Rindfleisch sowie je 25 % von Schweinefleisch und Milchprodukten aus [ZKL 2021]. Auf der anderen Seite ist die Tierhaltung Grundlage für die Schließung von Stoffkreisläufen. Für eine nachhaltige Landnutzung ist ein Mindestviehbesatz, insbesondere vor dem Hintergrund der Erhöhung des Flächenanteils für ökologischen Landbau, notwendig. Dazu kommt die Forderung nach mehr Tierwohl und Tierschutz z. B. mit mehr Weidehaltung und kleineren Tierhaltungen. Die Zusammenhänge sind sehr komplex und können im Szenarienmodell nur näherungsweise abgebildet werden.

- Es wird von der Stärkung einer gesundheitsförderlichen, pflanzenbasierten regionalen Versorgung ausgegangen, die zu einer Anpassung der Tierbestände führt.
- Bis 2030 entspricht die Abnahme des Viehbestandes dem Referenzszenario. Anschließend wird die Entwicklung nicht als konstant fortgeschrieben, sondern entsprechend [Prognos et al 2021] wird eine weitere Abnahme der Tierbestände bei den Rindern und beim Geflügel angenommen. Bis 2045 ergeben sich damit gegenüber 2020 folgende Bestandsänderungen:
 - Milchkühe -25 %
 - übrige Rinder -25 %
 - Schweine -28 %
 - Geflügel -3 %
 - Schafe/Ziegen 0 %

Energiepflanzenvergärung

Wie im Referenzszenario wird eine Abnahme des Energiepflanzenanbaus und damit der Energiepflanzenvergärung in Biogasanlagen um etwa 60 % bis 2030 angenommen, bis 2045 bleibt der Anteil konstant. Gleichzeitig nimmt die Vergärung von Reststoffen z. B. aus Zwischenfrüchten und mehrjährigen Kulturen zu.

Gesamtbetrachtung

Im Vergleich zum Referenzszenario sinken die THG-Emissionen im Zielszenario 2045 stärker ab, auf 1,17 Mio. t CO_{2äq} im Jahr 2045 (vgl. Abbildung 43).

Damit wird gegenüber 2020 eine Reduktion um 26 % (- 0,42 Mio. t CO_{2äq}) und gegenüber 1990 eine Minderung um 59 % erreicht.

Im Unterschied zum Referenzszenario sinken die THG-Emissionen auch nach 2030 ab. Insbesondere der weitere Rückgang der Rinderbestände führt zu einer Minderung der THG-Emissionen aus der Tierhaltung um insgesamt -0,22 Mio. t CO_{2äq} zwischen 2020 und 2045 (Fermentation -0,18 Mio. t CO_{2äq}, Wirtschaftsdünger-Management -0,04 Mio. t CO_{2äq}). Darüber hinaus bewirkt bei den landwirtschaftlichen Böden die weitere Steigerung der Stickstoffeffizienz eine THG-Reduzierung um -0,15 Mio. t CO_{2äq}.

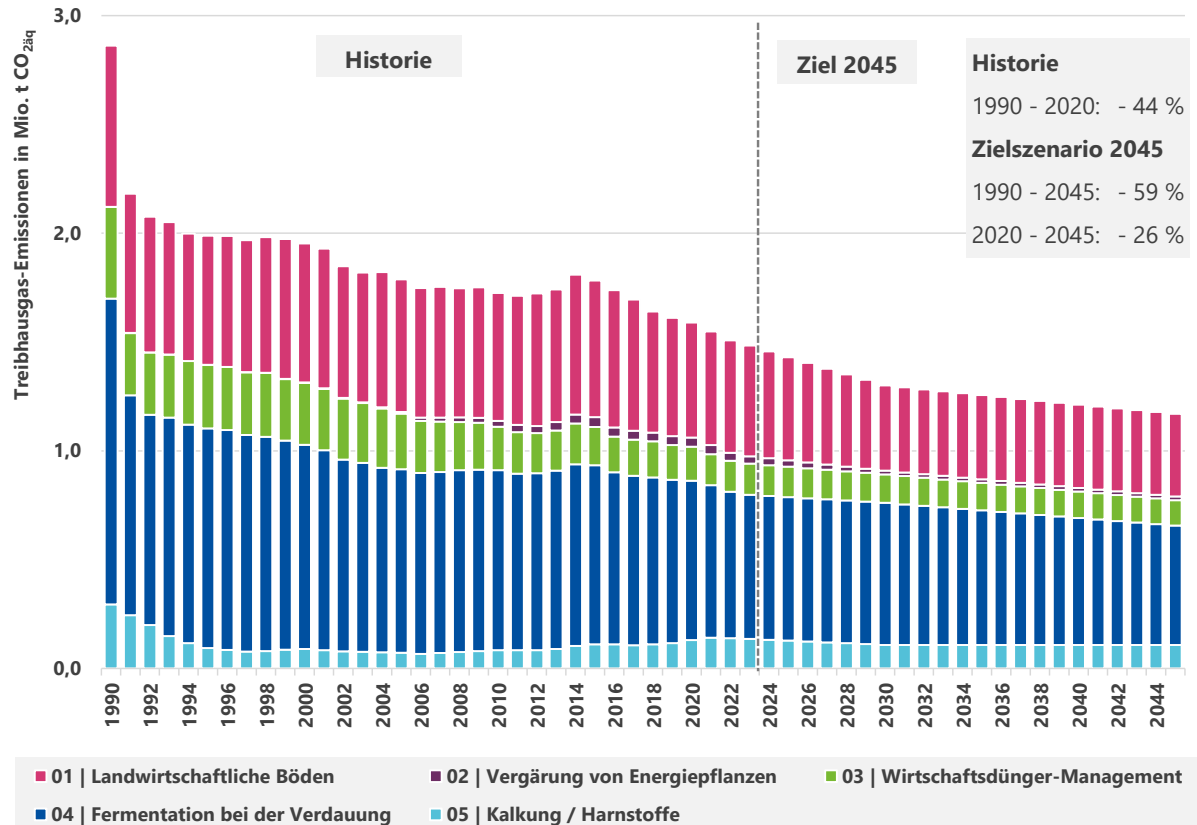


Abbildung 43 Zielszenario 2045: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von im Text dokumentierten Annahmen

3.5.3 Zielszenario 2040

Für das Zielszenario 2040 werden die Annahmen des Zielszenarios 2045 auf 2040 vorgezogen. Damit soll das Ziel Treibhausgasneutralität über alle Sektoren bereits fünf Jahre eher erreicht werden.

Landwirtschaftlich genutzte Fläche

Die Entwicklung der LN unterscheidet sich im Zielszenario 2040 nicht vom Referenz- und Zielszenario 2045.

Düngeranwendung

- Die Anwendung von Kalk auf LN wird entsprechend dem Referenz- und Zielszenario 2045 fortgeschrieben.
- Beim Einsatz chemisch-synthetischer Düngemittel wird der Zielwert von 72 kg Stickstoff pro Hektar entsprechend der Studie „Klimaneutrales Deutschland 2045“ [Prognos et al. 2021a] bereits im Jahr 2030 erreicht und dann statisch fortgeschrieben. Der Mineraldüngereinsatz ist daher in beiden Zielszenarien gleich.
- Die Ausbringung von Wirtschaftsdünger entwickelt sich entsprechend der Tierzahlen.

Tierhaltung

- Gegenüber 2020 werden für 2040 folgende Änderungen der Tierbestände angenommen:
 - Milchkühe -25 %
 - übrige Rinder -25 %
 - Schweine -28 %
 - Geflügel -3 %
 - Schafe/Ziegen 0 %

Energiepflanzenvergärung

Die Abnahme des Energiepflanzenanbaus und damit der Energiepflanzenvergärung in Biogasanlagen um etwa 60 % wird bereits bis 2030 angenommen, danach wird von einer gleichbleibenden Einsatzmenge ausgegangen. Die drei Szenarien unterscheiden sich daher in diesem Punkt nicht.

Gesamtbetrachtung

Im Vergleich zum Zielszenario 2045 sinken die THG-Emissionen im Zielszenario 2040 schneller ab und erreichen bereits 2040 eine Reduktion um 26 % (-0,42 Mio. t CO_{2äq}) gegenüber 2020 (Abbildung 44). Die Gesamtemissionen von 1,17 Mio. t CO_{2äq} verbleiben danach auf einem konstanten Niveau und sind im Jahr 2045 genauso hoch wie im Zielszenario 2045.

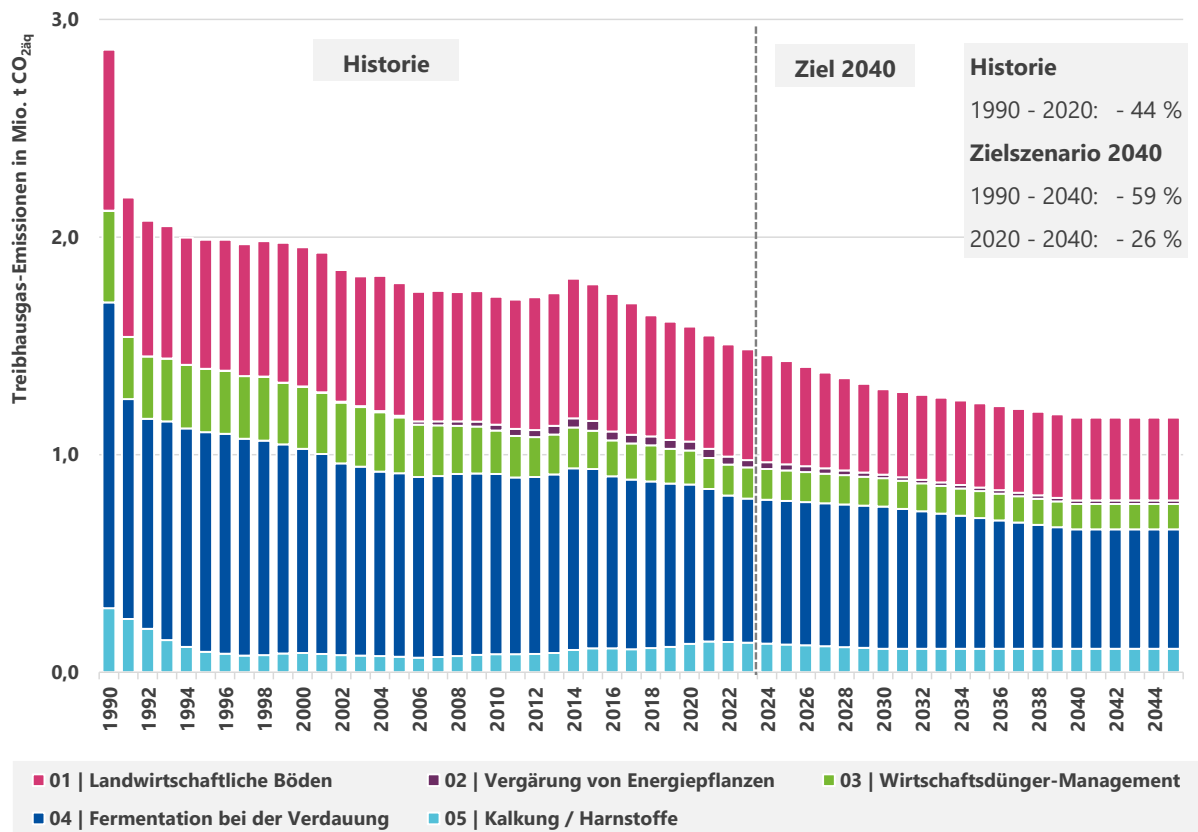


Abbildung 44 Zielszenario 2040: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von im Text dokumentierten Annahmen

3.6 Sektor Sonstige

Die Statistiken der Abfallwirtschaft und der Abfallwirtschaftsplan des Landes liefern umfangreiche Angaben zum Thema der Abfälle in Thüringen, weisen jedoch keine Emissionen (Methan, Lachgas) aus. Im Sektor Sonstige werden die Emissionen aus den Bereichen Abfalldeponie CRF 5.A, biologische Abfallbehandlung CRF 5.B (inkl. 5.E Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung) und Abwasserbehandlung CRF 5.D betrachtet.

Datengrundlage

Bei den Emissionen aus Abfalldeponien handelt es sich hauptsächlich um Methanemissionen, die bei der Ausgasung vorhandener Deponien in die Atmosphäre gelangen können. In [UGRdL 2023] sind die Methanemissionen für Abfalldeponien und biologische Abfallverwertung zusammengefasst dargestellt. Durch eine angeforderte Sonderauswertung der UGRdL-Daten für den Sektor beim Statistischen Landesamt Baden-Württemberg Referat 33 [UGRdL 2024] wurde eine Auswertung des Sektors 5.A Abfalldeponien übermittelt und für die Auswertungen der Methanemissionen verwendet.

Daten zur biologischen Abfallbehandlung liegen mit der Abfallbilanz 2021 [TLUBN 2022] sehr detailliert vor. Mit diesen Daten konnten die Emissionen der organischen Abfälle aus der Biotonne, Garten- und Parkabfällen im Bottom-up-Ansatz berechnet werden. Auch die Methan- und Lachgasemissionen für Thüringen sind in [UGRdL 2023] enthalten, allerdings nur gemeinsam mit Deponien bzw. mit Kläranlagen als Summenwerte. Durch die angeforderte Sonderauswertung der UGRdL-Daten [UGRdL 2024] lag eine Auswertung des Sektors für Kompostierungsanlagen 5.B.1 und

Vergärung von Bioabfällen in Biogasanlagen 5.B.2 vor, die auch direkt für die Zusammenstellung der Emissionen verwendet wurde.

Im Bereich 5.D Abwasserbehandlung, unterteilt in 5.D.1 Kommunale Abwasserbehandlung (Kläranlagen und Sickergruben) und 5.D.2 Industrielle Abwasserbehandlung, fallen v. a. Methanemissionen aus Kläranlagen und Sickergruben an [UGRdL 2023]. Darüber hinaus entstehen bei der Abwasserbehandlung Lachgasemissionen. Diese sind als Summenwert mit dem Anteil aus der biologischen Abfallbehandlung ebenfalls in [UGRdL 2023] aufgeführt. Mit Hilfe der Sonderauswertung [UGRdL 2024] liegen für Thüringen Daten je Teilbereich vor, die zur Bewertung der Ist-Entwicklung herangezogen wurden.

Bisherige Entwicklung

Der Sektor Sonstige ist in Thüringen im Jahr 2020 für Emissionen in Höhe von 0,26 Mio. t CO₂-Äquivalenten verantwortlich. Den größten Anteil daran haben die Emissionen der Abfalldeponien (Abbildung 45). Zunächst stiegen die Emissionen aus Deponien bis zum Jahr 2000 gegenüber 1990 an. Seit Juni 2005 ist die Deponierung unbehandelter biologisch abbaubarer Siedlungsabfälle in Deutschland verboten. Dies hat in Thüringen zu einem Rückgang der Methanemissionen aus Deponien geführt, da organische Abfälle nun verstärkt behandelt oder anderweitig verwertet werden müssen und somit weniger Methan freigesetzt wird. Abbildung 45 zeigt die Reduktion der THG-Emissionen im Zeitraum 2000 bis 2010 sehr deutlich: Die Methanemissionen aus Deponien gingen um 70 % zurück. Im Betrachtungszeitraum von 1990 bis 2023 stiegen die Emissionen aus der biologischen Abfallbehandlung

kontinuierlich an, bis 2023 um 253 %, während die Emissionen aus der Deponierung und der Abwasserbehandlung gegenüber 1990 deutlich zurückgingen (um 87 % bzw. 94 %). Seit dem Deponierungsverbot für organische und biologisch abbaubare Abfälle müssen Siedlungsabfälle vor der Deponierung vorbehandelt

werden. Dies hat zu einem verstärkten Einsatz von mechanisch-biologischen Verfahren geführt, da eine thermische Behandlung nicht immer möglich ist. Der Ausbau dieser Verfahren hat zu Kapazitätserweiterungen und damit zu einem Anstieg der Emissionen aus biologischen Abfallbehandlungsanlagen geführt.

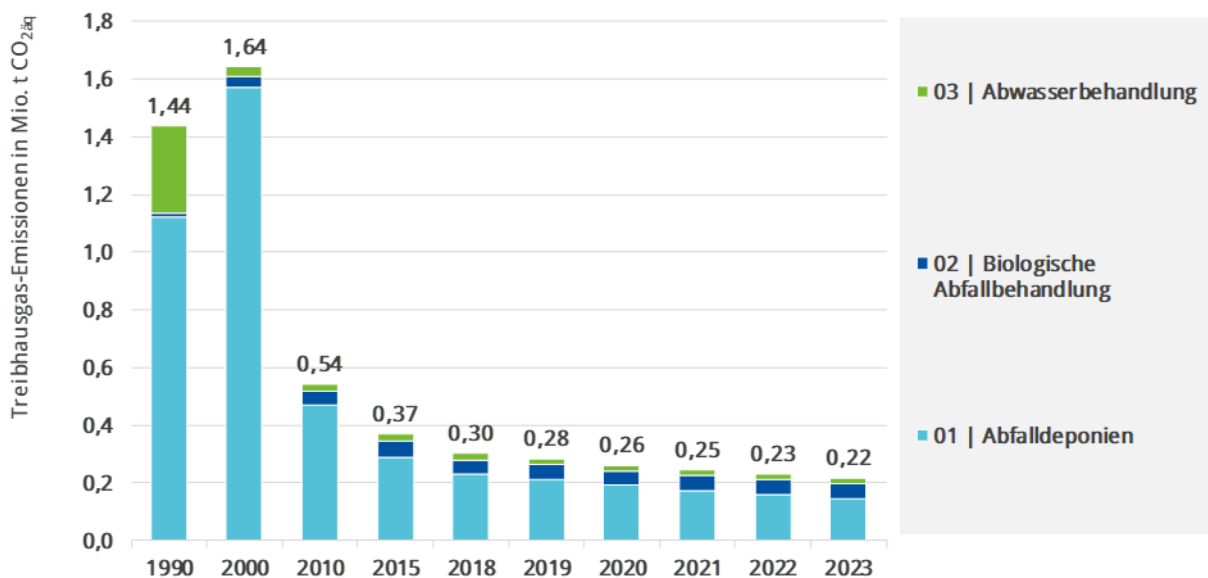


Abbildung 45 Entwicklung der THG-Emissionen aus dem Sektor Sonstige

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [UGRdL 2023], [UGRdL 2024]

3.6.1 Referenzszenario

Im Referenzszenario werden im Wesentlichen die Entwicklungen des Bundestrends aus dem Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS) des Projektionsberichts 2023 [UBA 2023a] angenommen.

Für die Treibhausgasemissionen (THG) aus Abfalldeponien in Thüringen wurde der Absenkpfad für Methanemissionen gemäß den Projektionen der Bundesregierung übernommen. Für die Emissionen aus Abwasserbehandlungsanlagen bis 2045 wurde die Bevölkerungsentwicklung zugrunde gelegt.

Die zukünftige Entwicklung der Lachgas- und Methanemissionen aus Kompostierungsanlagen wurde aus dem Projektionsbericht 2023 auf Thüringen übertragen.

In Abbildung 46 ergibt sich aus den Annahmen zur zukünftigen Entwicklung eine Reduktion des Gesamtsektors bis 2045 von 65 % gegenüber 2020. Die Reduktion ist im Wesentlichen auf die Deponierung von Abfällen und die Reduktion der CH₄-Emissionen zurückzuführen.

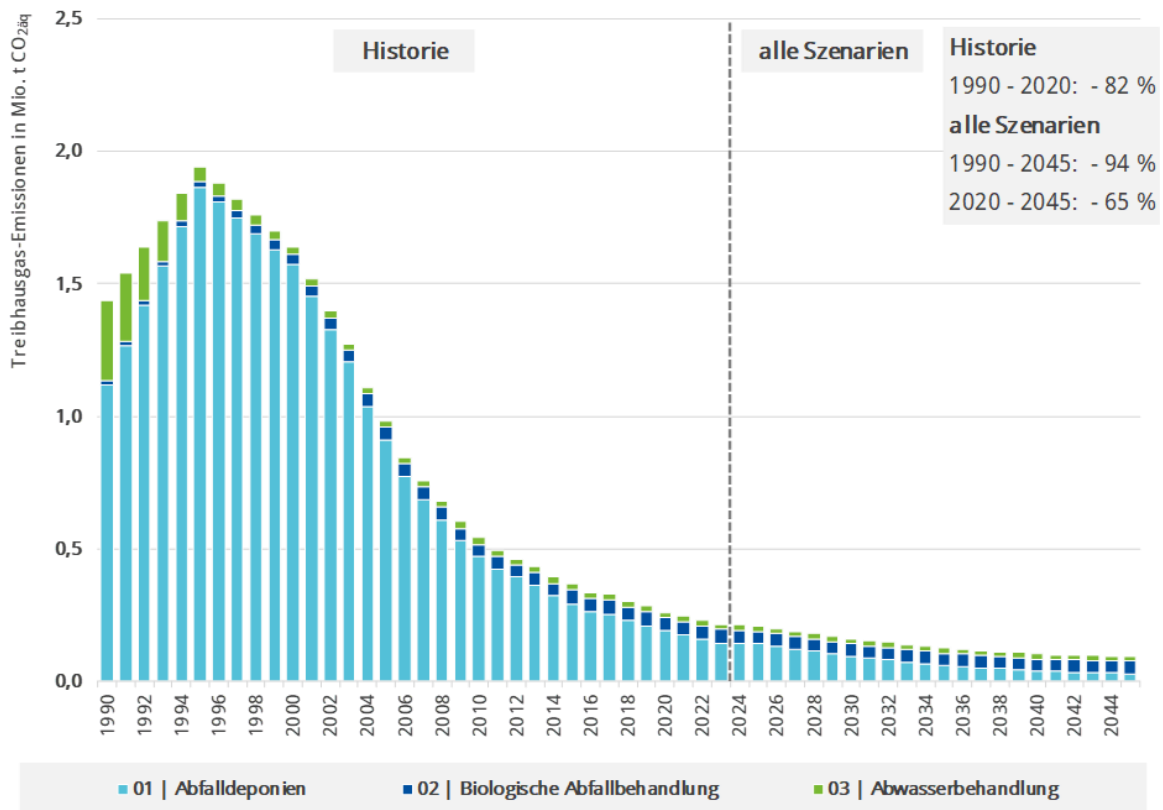


Abbildung 46 Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Sonstige

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von [UBA 2023a] und im Text dokumentierten Annahmen

3.6.2 Zielszenario 2045

Im Zielszenario 2045 ergeben sich gegenüber dem Referenzszenario keine Änderungen der Emissionsmengen. Dies liegt daran, dass die Potenziale zur Emissionsminderung gemäß den Minderungspfaden des

3.6.3 Zielszenario 2040

Im Zielszenario für das Jahr 2040 ergibt sich ebenfalls kein abweichender Absenkungspfad, da keine Maßnahmen bekannt sind, die über das im Projektionsbericht 2023 dargestellte Maß hinaus zur

Projektionsberichts der Bundesregierung bereits vollständig genutzt werden. Das Zielszenario 2045 gleicht somit dem Referenzszenario.

Emissionsminderung wirksam werden könnten. Somit verlaufen alle drei Szenarien des Sektors „Sonstige“ bis 2045 gleich.

3.7 Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF)

Die im Sektor LULUCF erfassten THG-Emissionen sind in Abschnitt 2.4.1 beschrieben.

Fast die gesamten Emissionen des Sektors LULUCF entstehen aus dem Auf- und Abbau von Kohlenstoffspeichern. Die Veränderungen erfolgen sowohl unter gleichbleibender Landnutzung (z. B. Ackerland bleibt Ackerland) als auch durch Landnutzungsänderung (z. B. Umwandlung von Grünland in Ackerland). Die Kohlenstoffspeicher nehmen durch Einbindung von Kohlenstoffdioxid (CO₂) in Form von Kohlenstoffverbindungen (C) in der Biomasse zu. Demgegenüber steht die Freisetzung von CO₂ aus dem Abbau von C-Verbindungen aus Biomasse.

Datengrundlage

Wald

Die Daten zur Kohlenstoffbilanz aus Wäldern werden auf Basis der Bundeswaldinventur (BWI) ermittelt. Auf Grundlage der BWI 3 wurden bereits im Gutachten zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie für Thüringen [IE Leipzig 2018] Szenarien entwickelt. Die für den nachfolgenden Zeitraum 2012–2022 notwendigen Daten der BWI 4 lagen für den Freistaat Thüringen noch nicht vor und konnten daher nicht für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte der Wälder genutzt werden. Der Zeitstrahl tatsächlicher Messdaten zur Einbindung von Kohlenstoffverbindungen im Wald bleibt vorerst auf das letztverfügbare Messjahr 2012 begrenzt. Aufgrund der fehlenden aktuellen Daten und der sehr dynamischen Waldentwicklung in Thüringen wurde in Abstimmung mit dem Forstlichen Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha (FFK) und dem Auftraggeber davon abgesehen, neue Szenarien zu entwickeln.

Die Datengrundlage für den Ist-Zustand in [IE Leipzig 2018] wurde durch das Forstliche Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha (FFK) bereitgestellt [Thüringen-Forst 2015]. Durch einen Vergleich der Kohlenstoffvorräte zwischen den Jahren 2002 (BWI 2) und 2012 (BWI 3, u. a. Berücksichtigung von Baumartenwechsel, Flächenveränderungen, Veränderungen des Totholzpools) wurde retrospektiv eine tatsächlich beobachtete, mittlere jährliche Kohlenstoffeinbindung ermittelt. Für die Emissionen aus organischen und vernässten Böden liegen hingegen keine Daten vor und bleiben unberücksichtigt, da diese Flächen in Thüringen sehr klein sind. Die CO₂-Emissionen aus der Kalkung der Wälder sind im Bereich Landwirtschaft berücksichtigt. CO₂-Freisetzungen durch Waldbrände sind in Thüringen vernachlässigbar gering (ca. 60 t CO_{2aq}) [IE, AV 2015].

Wesentliche Grundlagen für die Szenarien in [IE Leipzig 2018] sind die in Abstimmung mit dem Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (TMIL) vom FFK zur Verfügung gestellten Rohdaten zur jährlichen Senkenleistung [FFK, TMIL 2017]. Zusätzlich wurden die Projektionen des Klimaschuttszenarios 2050 [ÖKO, ISI 2015] berücksichtigt. Die bereits entwickelten Annahmen [FFK, TMIL 2017] werden weiterhin als Zielmarke belassen.

In [IE Leipzig 2018] werden ein Referenz- und ein Zielszenario betrachtet. Das Zielszenario wird gleichermaßen für die Zielszenarien 2045 und 2040 übernommen.

Landnutzung und Landnutzungsänderung

Die Emissionen aus den Landnutzungskategorien Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen werden im NIR berichtet [UBA 2023b]. Durch das Thünen-Institut wurden Daten für Thüringen zur Verfügung gestellt [Thünen 2023b]. Das aktuelle Berichtsjahr ist 2021. In allen Landnutzungskategorien treten zwischen den Jahren mehr oder weniger starke Schwankungen der THG-Emissionen auf. Zum einen ist der Verlauf der Kohlenstoffbindung in der 20jährigen Übergangszeit nicht linear, zum anderen ist entscheidend, welche Subkategorien an den Flächenänderungen beteiligt sind. Da keine Prognose zur zukünftigen Entwicklung gegeben werden kann, werden die Emissionen sowohl für die Jahre 2022 und 2023 als auch in allen drei Szenarien konstant entsprechend des Mittelwerts der letzten 20 Jahre fortgeschrieben.

Holzprodukte

Die Abschätzung des Beitrags von Holzprodukten zu den Emissionen nach Quellen und Einbindungen wird im NIR auf Basis der Daten zur Produktion von Holzprodukten vorgenommen [UBA 2023b]. Holzprodukte können derzeit nur auf Bundesebene berechnet werden und sind deshalb nicht Bestandteil der Länderinventare. Die CO₂-Emissionen und Einbindungen in Holzprodukten für Thüringen wurden bis 2022 entsprechend dem Anteil am deutschlandweiten Holzeinschlag berechnet, [TLS 2020], [Destatis 2023a] und für 2023 geschätzt. Da der Holzproduktespeicher in enger Beziehung zur Entwicklung der Wälder steht, wurde in den Szenarien die Entwicklung wie in [IE Leipzig 2018] angenommen. Es erfolgt keine Differenzierung nach Zielszenario 2045 und 2040. Eine Anpassung ist

nur im Zusammenhang mit einer Aktualisierung der Szenarien für die Wälder sinnvoll.

Bisherige Entwicklung

Die Bilanz der THG-Emissionen aus LULUCF in Thüringen ergab für das Jahr 2020 eine CO₂-Senke von etwa -81.000 t CO₂-Äquivalente (vgl. Abbildung 47). Die Kohlenstoffeinbindungen in den Kategorien Siedlungen¹⁷ und Holzprodukte überwogen geringfügig die Kohlenstofffreisetzungen. Der Verlauf seit 1990 zeigt, dass der Sektor über diese Jahre ausschließlich als Senke fungierte.

Bei nahezu unveränderter Waldfläche sind die jährlichen Kohlenstoffeinbindungen im Wald jedoch stetig zurückgegangen. Der Zustand des Waldes in Thüringen wird seit dem Jahr 2018 stark durch extreme Witterungsbedingungen beeinflusst [TMIL 2023c]. Wiederkehrende Hitze- und Trockenperioden setzen die Waldbäume unter enormen Stress. Geprägt werden die dramatischen Entwicklungen vor allem durch die in Thüringen am häufigsten vorkommende Baumart: die Fichte. Durch ihren Ausfall – der klimawandelbedingt in erster Linie durch einen massiven Befall durch Borkenkäfer verursacht wird – sind in den vergangenen sechs Jahren großflächig Schadflächen innerhalb der bestehenden Waldflächen entstanden. Betroffen sind aber nahezu alle Baumarten. Insgesamt sind Schadholzaufkommen, Schadflächen sowie Vitalitäts- und Zuwachsverluste erheblich und vermutlich auch andauernd. In diesem Kontext haben der Gesetzgeber, die Landesregierung und die Landesforstverwaltung in den letzten Jahren wichtige Weichenstellungen vorgenommen: Bereits 2019 hat die Landesregierung den

¹⁷ Siedlungen sind v. a. aufgrund der Stadtböden eine Kohlenstoffsenke.

Aktionsplan Wald 2030 ff. beschlossen. Der Aktionsplan ist ein umfassendes und langfristiges Maßnahmenbündel zur Bewältigung der aktuellen Schadsituation sowie zur Anpassung unserer Wälder an die Herausforderungen des Klimawandels.

In enger Beziehung zur Entwicklung des Waldes steht der Holzproduktespeicher. Die steigenden Zahlen des Holzeinschlags der vergangenen Jahre spiegeln sich im Holzproduktespeicher wider.

Die Emissionen aus der Landnutzung (v. a. Ackerflächen) sind vergleichsweise gering. Damit unterscheidet sich Thüringen von Deutschland. Hier werden die THG-Emissionen im LULUCF-Sektor hauptsächlich durch landwirtschaftliche Flächen auf organischen Böden verursacht [ÖKO, ISI 2015]. In Thüringen ist der Anteil dieser Fläche mit 0,7 % an der gesamten Landwirtschaftsfläche jedoch sehr gering. Die Emissionen aus Feuchtgebieten sind in Thüringen ebenfalls unbedeutend.

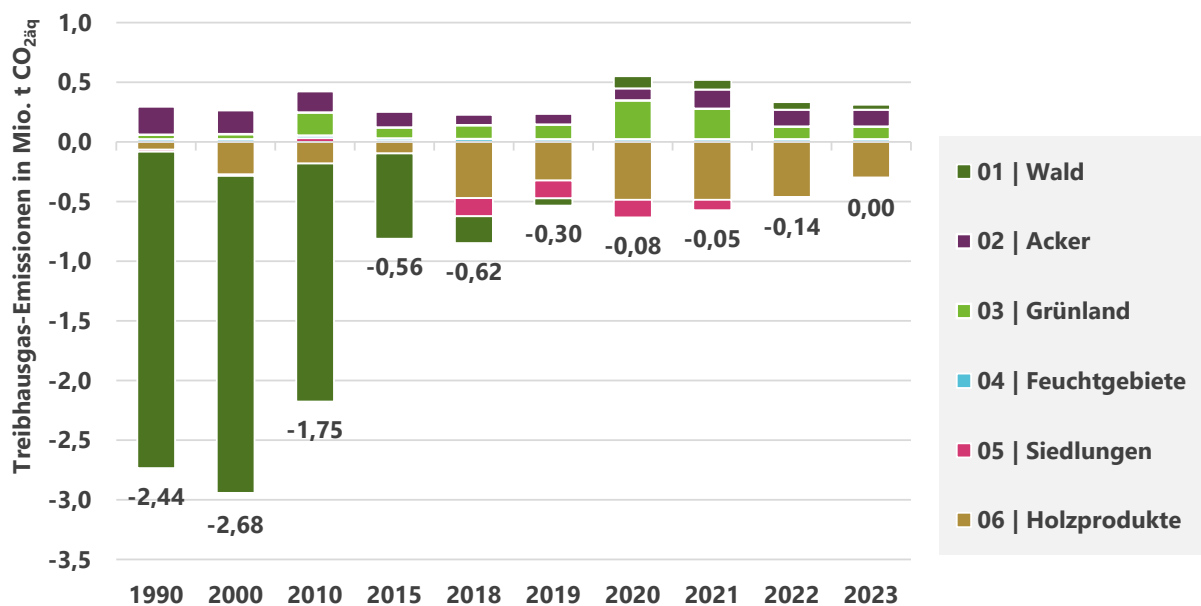


Abbildung 47 Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF in Thüringen

Quelle: Darstellung und Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [IE, AV 2015], [Thüringen-Forst 2015], [Thünen 2023b]

3.7.1 Referenzszenario

Im Referenzszenario werden alle Maßnahmen berücksichtigt, die bisher in Thüringen ergriffen worden sind und bis 2045 fortgeschrieben.

Wald

Dem Waldentwicklungsszenario liegen folgende Festlegungen zu Grunde [FFK, TMIL 2017]:

- Durch Waldmehrung, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen etc. beträgt der jährliche Waldflächenzuwachs 10 ha.
- Blößen im Wald, die z. B. aus Kalamitäten hervorgegangen sein können, werden zum Teil wiederbewaldet und Lücken im Wald, z. B. Wildäcker und Holzlagerflächen, werden, wo dies sinnvoll ist, aufgeforstet bzw. wiederbestockt.
- Der Totholz-Vorrat wird zwischen 2012 und 2052 auf 125 % gesteigert, dies entspricht ca. 25 m³ je ha.
- Der Waldumbau durch Baumartenwechsel auf Basis der Thüringer Klimawandel-orientierten Baumartenempfehlungen wird weitergeführt.
- Der Holzvorrat bleibt für Thüringen stabil auf hohem Niveau und steigert sich entsprechend des Waldflächenzuwachses.
- Der C-Speicher im Mineralboden und in der Streu bleibt konstant (keine Senke und keine Quelle), da dessen Entwicklung wissenschaftlich umstritten ist.

Landnutzung und Landnutzungsänderung

Die Flächenänderungen der Flächenkategorien Ackerland, Grünland, Feuchtgebiete und Siedlungen werden konstant (als Mittelwert der letzten 20 Jahre) fortgeschrieben.

Holzprodukte

- Die Nachfrage nach Holz bleibt in den nächsten Jahren in ähnlicher Größenordnung und wird durch eine nachhaltige Holznutzung gedeckt.
- Durch eine langfristige Verwendung von Holz in einer langen Wertstoffkaskade wird CO₂ in Holzprodukten gebunden.
- Energieholz wird nicht extra bereitgestellt, sondern kennzeichnet das Ende der Nutzungskaskade.

Gesamtbetrachtung

Der Sektor LULUCF entwickelt sich von einer CO₂-Senke zu einer CO₂-Quelle (Abbildung 48).). Während 1990 ca. 2,44 Mio. t CO_{2äq} eingebunden wurden, wird für 2045 mit einer Freisetzung in Höhe von ca. 140.000 t CO_{2äq} gerechnet. Dies entspricht einer prozentualen Abnahme der CO_{2äq}-Einbindung um -106 % (-100 % würde bedeuten, dass keine Einbindung mehr stattfindet, aber auch keine Emissionen freigesetzt werden). Bezieht man die Entwicklung auf 2020 beträgt die prozentuale Abnahme der CO_{2äq}-Einbindung bis 2045 sogar -270 %. Der Grund dafür ist die geringere Senkenleistung 2020 (-80.000 t CO_{2äq}), wodurch die CO₂-Freisetzung 2045 mehr ins Gewicht fällt.

Die Senkenfunktion des Waldes hat nach 2012 sehr wahrscheinlich erheblich abgenommen. Ab 2020 ist im Referenzszenario von keiner weiteren jährlichen CO₂-Einbindung auszugehen. Der C-Wald-Speicher ist zu diesem Zeitpunkt auf sehr hohem Niveau gesättigt.

Die Einbindung bzw. Freisetzung von CO₂ durch die Landnutzungskategorien Ackerland, Grünland,

Feuchtgebiete und Siedlungsflächen ist bis 2045 unverändert auf einem geringen Niveau.

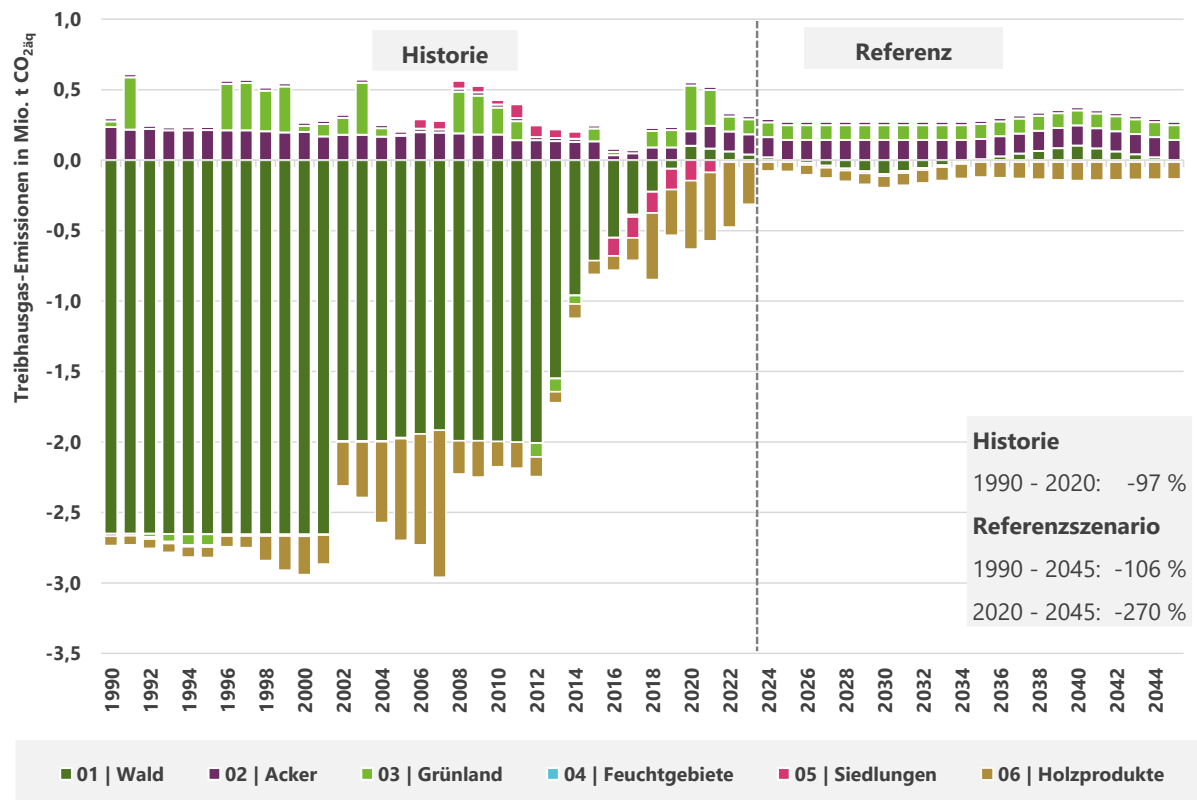


Abbildung 48 Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von [IE Leipzig 2018] und im Text dokumentierten Annahmen

3.7.2 Zielszenario 2045 und Zielszenario 2040

Wie im Abschnitt Datengrundlage beschrieben, erfolgt für Wald und Holzprodukte keine Differenzierung nach Zielszenario 2045 und 2040. Darüber hinaus werden für die Landnutzung und Landnutzungsänderung konstante Emissionen unterstellt. Damit sind die Annahmen für beide Zielszenarien gleich und es erfolgt im Sektor LULUCF keine Differenzierung nach Zielszenario 2045 und Zielszenario 2040.

In den Zielszenarien werden über das Referenzszenario hinaus weitere Maßnahmen zur Reduzierung der THG-Emissionen aus LULUCF in Ansatz gebracht. Diese sind u. a. mit einer nachhaltigen Veränderung der Strukturen der Land- und Forstwirtschaft Thüringens verbunden.

Wald

Wesentliche ergänzende Maßnahmen des Zielszenarios für Wald sind:

- Mindestens 5 % des Waldes werden dauerhaft der forstwirtschaftlichen Nutzung entzogen [KV 2014].
- Der Staatswald Thüringens im Eigentum der Landesforstanstalt soll schrittweise nach den Kriterien des Forest Stewardship Council (FSC) zertifiziert werden [KV 2014].

Landnutzung und Landnutzungsänderung

Die Umwandlung von Dauergrünland und Gehölzen auf organischen und mineralischen Böden zu Ackerflächen wird unterbunden [ÖKO, ISI 2015].

Holzprodukte

Holz wird zur Substitution von energieintensiven Baumaterialien, wie Aluminium, Stahl, Kunststoffen, Beton etc., verwendet (allerdings ist dies nicht unmittelbar in LULUCF bilanzwirksam).

Gesamtbetrachtung

In den Zielszenarien betragen die THG-Emissionen aus LULUCF 2040 ca. 44.000 t CO_{2äq} (Sektor fungiert als Quelle) und 2045 ca. -59.000 t CO_{2äq} (Sektor fungiert als Senke) (vgl. Abbildung 49). Die CO_{2äq}-Einbindung ist kaum noch gegeben und würde bis 2045 gegenüber 1990 um ca. -98 % und gegenüber 2020 um ca. -27 % abnehmen.

Die Senkenfunktion des Waldes wird, wie im Referenzszenario, nach 2012 sehr wahrscheinlich weiterhin erheblich abnehmen, so dass in den Zielszenarien ab dem Jahr 2020 nur von einer sehr geringeren bzw. keiner weiteren jährlichen CO₂-Einbindung auszugehen ist. Die geringfügig höhere Senkenfunktion gegenüber dem Referenzszenario ergibt sich u. a. durch die Annahme des Zielszenarios, dass 5 % der Waldfläche der dauerhaften forstwirtschaftlichen Nutzung entzogen wird.

Einen weiteren Einfluss haben die langfristige Bindung von CO₂ in Holzprodukten und die (gleichzeitige) Substitution von energieintensiven Materialien durch Holz. Im Vergleich zur direkten Speicherung spart die Substitution ein Vielfaches an CO₂ ein. Die direkte Speicherung in Holzprodukten ist nach oben hin begrenzt und wird zu einem bestimmten Zeitpunkt einen Sättigungspunkt erreichen, an dem sich der Eintrag (C wird in neuen Holzprodukten sequestriert) und der Austrag (die Verwendung einzelner Holzprodukte endet nach langjähriger Nutzungsdauer, z. B. mit einer thermischen Verwertung) die Waage halten. Holzproduktspeicher lassen sich nicht grenzenlos ausweiten. Im Gegensatz dazu bauen sich Substitutionseffekte ständig auf [LWF 2012], [Mundt et al. 2015]. Sofern es gelingt, den Holzeinschlag vermehrt stofflich zu nutzen, ergeben sich im Zielszenario gegenüber dem Referenzszenario verbesserte C-Einbindungen bei Holzprodukten.

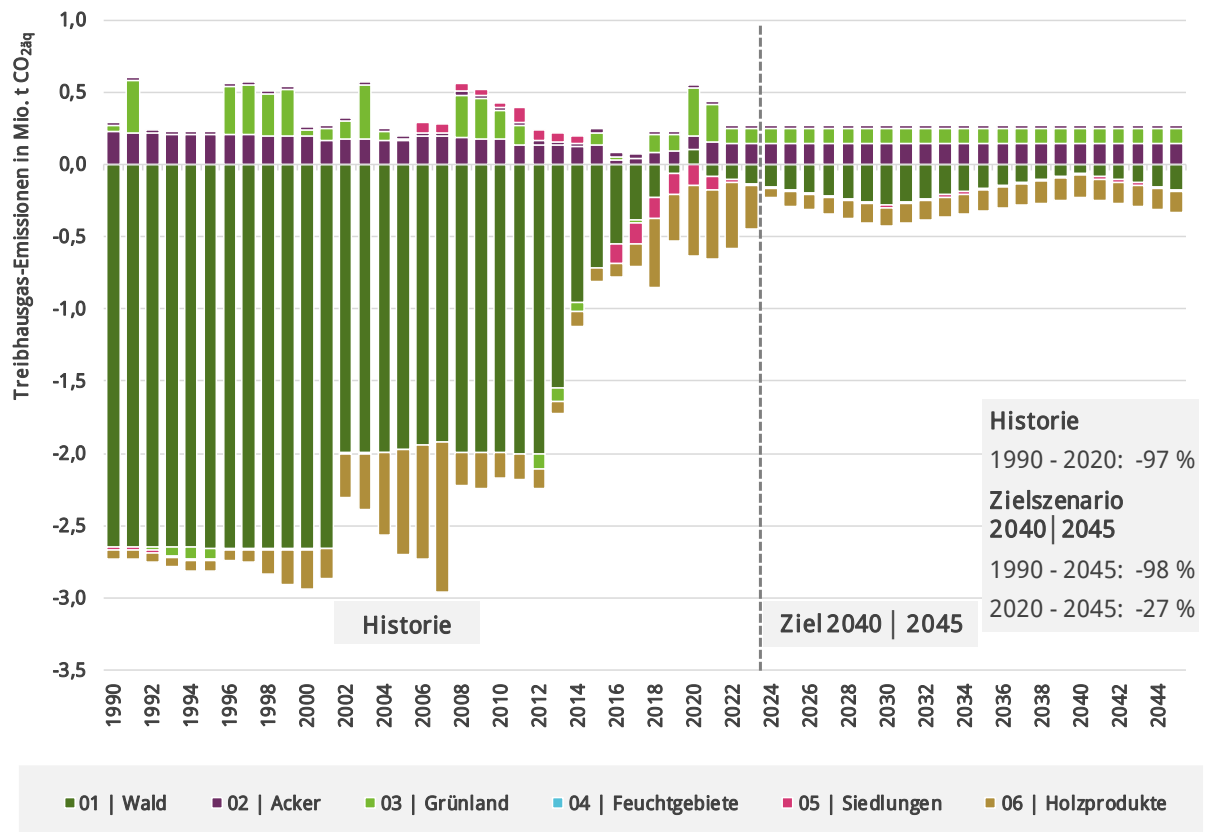


Abbildung 49 Zielszenario 2045 und Zielszenario 2040: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig auf Basis von [IE Leipzig 2018] und im Text dokumentierten Annahmen

3.8 Zusammenfassung der Sektorpfade nach Szenarien

Durch die Zusammenfassung der sektorbezogenen Ergebnisse in allen Szenarien wird nachfolgend deutlich, wie die Szenarien im Vergleich zum Thüringer Klimagesetz und zur Integrierten Klimaschutzstrategie

verlaufen und an welchen Stellen die Ziele des Gesetzes und der IEKS nicht mehr den aktuellen Erfordernissen entsprechen.

3.8.1 Zusammenfassung aller Sektoren

Das Referenzszenario bildet die Entwicklung ab, die erwartet wird, wenn alle heute auf EU-Ebene und Bundesebene beschlossenen Maßnahmen des Klimaschutzes greifen. Es orientiert sich hinsichtlich der übergeordneten Trends am Mit-Maßnahmen-Szenario des Projektionsberichts 2023 der Bundesregierung [UBA 2023a]. Da die längerfristige Verwirklichung aller

Maßnahmen noch nicht durchweg gesichert ist (z. B. rascher Hochlauf der Elektromobilität bei Pkw), kann bereits das Referenzszenario in Bezug auf die zukünftige Entwicklung der THG-Emissionen als eher optimistisch eingestuft werden. Die Zusammenführung der Emissionsentwicklungen in den sieben Sektoren ergibt das in Abbildung 50 dargestellte Gesamtbild.

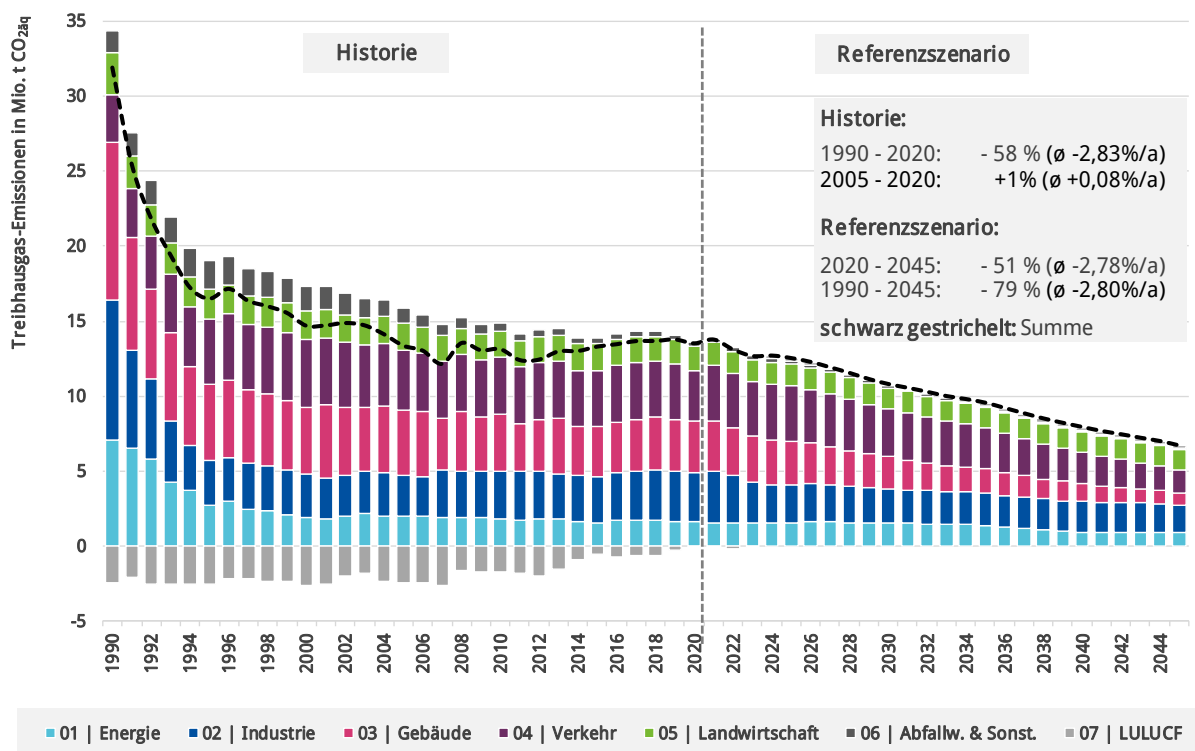


Abbildung 50 Entwicklung der THG-Emissionen aller Sektoren im Referenzszenario

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig und Prognos AG auf Basis von Kapitel 3.1 bis 3.7

Das Thüringer Klimagesetz von 2018 [ThürKlimaG 2018] definiert in § 3 die Klimaschutzziele ausgehend vom Basisjahr 1990 wie folgt: Reduktion bis 2030 um 60 bis 70 %, bis 2040 um 70 bis 80 % und bis 2050 um 80 bis 95 %. Die jeweils maximale Emissionsreduzierung wird vom Gesetz dabei als handlungsleitend festgelegt. Das Referenzszenario bewegt sich mit einer THG-Entwicklung im Vergleich zu 1990 in den Zieljahren 2030 von -66 % und 2040 mit -75 % innerhalb dieses Korridors, für 2050 wurden keine Szenarien berechnet.

Die letzte Energiebilanz liegt für 2020 vor, daher wurde in Abbildung 50 zwischen 2020 und 2021 die Trennlinie zwischen Historie und Szenario gezogen, in fast allen Sektoren konnten jedoch auch für die Jahre bis 2022 oder 2023 bereits so viele Datengrundlagen berücksichtigt werden, dass die Darstellung bis 2023 bereits als recht gut gesichert angesehen werden kann. In der Grafik fällt auf, dass der Sektor LULUCF, der noch bis 2018 erkennbar als Senke wirkte, seitdem und auch perspektivisch keinen Beitrag zur Kompensation von Emissionen mehr leistet. Daher verläuft die gestrichelte Summenlinie nur bis 2018 auf niedrigerem Niveau als die Summe der emittierenden Sektoren. Das von der Corona-Pandemie geprägte Jahr 2020 brachte nur im Verkehrssektor eine vorübergehende erkennbare Minderung von THG-Emissionen mit sich.

Die Betrachtung der Reduktion nach Gasen zeigt, dass im Zeitraum 1990 bis 2020 der Rückgang der Kohlenstoffdioxid-Emissionen maßgeblich für die CO_{2äq}-Gesamtreaktion Thüringens war (Reduktionsanteil ca. 84 %). Dies ist auf die Reduktion des Endenergieeinsatzes sowie der Energieträgersubstitution zurückzuführen. Neben den Kohlenstoffdioxid-Emissionen reduzierten sich auch die Methan-Emissionen (Reduktionsanteil ca. 12 %) infolge der zunehmenden

Deponiegasnutzung, dem Verbot der Deponierung unbehandelter organischer Abfälle sowie des Rückgangs des Bestandes an Milchkühen und Rindern in Thüringen erheblich. Die Emissionen von Distickstoffmonoxid hingegen sanken nur in geringem Maße (Reduktionsanteil ca. 2 %); im Wesentlichen hervorgerufen durch die geringere Düngenanwendung (Mineral- und Wirtschaftsdünger) und der Substitution von Kohle durch andere Energieträger in den Endenergiesektoren. Der Ersatz von ozonschichtschädigenden Substanzen durch halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (insbesondere HFKW) führt hingegen zu einem steigenden Anteil an der THG-Emissionen durch F-Gase (1990: ca. 1,3 %). Der Anteil der F-Gase an den gesamten CO_{2äq}-Emissionen ist mit etwa 2,8 % in Thüringen im Jahr 2020 höher als auf gesamtdeutscher Ebene (etwa 1,5 %). Ursächlich dafür ist der im Vergleich zu Deutschland geringe Anteil des Sektors Energieumwandlung an den CO_{2äq}-Emissionen, der im Jahr 2020 nur etwa 74 % des gesamten Strombedarfs Thüringens (Bruttostromverbrauch) bereitstellt. Die Veränderung der THG-Emissionen nach Gasen für den Zeitraum 1990 bis 2020 ist folgendermaßen:

- Kohlenstoffdioxid (CO₂): - 15,5 Mio. t CO_{2äq}
- Methan (CH₄): - 2,3 Mio. t CO_{2äq}
- Distickstoffmonoxid (N₂O): - 0,6 Mio. t CO_{2äq}
- F-Gase (HFKW, FKW, SF₆): - 0,03 Mio. t CO_{2äq}

Im Zeitraum 2020 bis 2040 werden die Kohlenstoffdioxid-Emissionen im Referenzszenario maßgeblich die CO_{2äq}-Minderung in Thüringen beeinflussen (Reduktionsanteil ca. 92 %). Im Wesentlichen ist dies auf die zukünftig weiterhin fortschreitende Verringerung des Energieeinsatzes sowie der Energieträgersubstitution in den Endenergiesektoren und im Umwandlungsbereich zurückzuführen. Die Methan-Emissionen werden im Referenzszenario insbesondere infolge des

Deponieverbots für unbehandelte organische Abfälle sowie des Bestandsrückgangs bei Milchkühen und Rindern in Thüringen sinken (Reduktionsanteil ca. 6 %). Der geringere Einsatz von synthetischem Stickstoff-Dünger (Mineraldünger) bis zum Jahr 2050 wird überwiegend zur Reduktion der Distickstoffmonoxid-Emissionen beitragen (Reduktionsanteil ca. 2 %). Die Emissionen aus halogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (F-Gase) werden bis zum Jahr 2045 im Referenzszenario nur leicht absinken. Die Minderung nach Gasen fällt folgendermaßen aus:

- Kohlenstoffdioxid (CO₂): - 6,3 Mio. t CO_{2äq}

- Methan (CH₄): - 0,4 Mio. t CO_{2äq}
- Distickstoffmonoxid (N₂O): - 0,1 Mio. t CO_{2äq}
- F-Gase (HFKW, FKW, SF₆): - 0,06 Mio. t CO_{2äq}

Der nochmals deutliche Rückgang der Kohlenstoffdioxid-Emissionen (CO₂) bis zum Jahr 2045 gegenüber dem Jahr 2020 wird zu einer Veränderung der Anteile der Gase an den CO_{2äq}-Emissionen Thüringens führen (siehe Abbildung 51); so dass die Bedeutung der anderen Gase zunehmen wird.

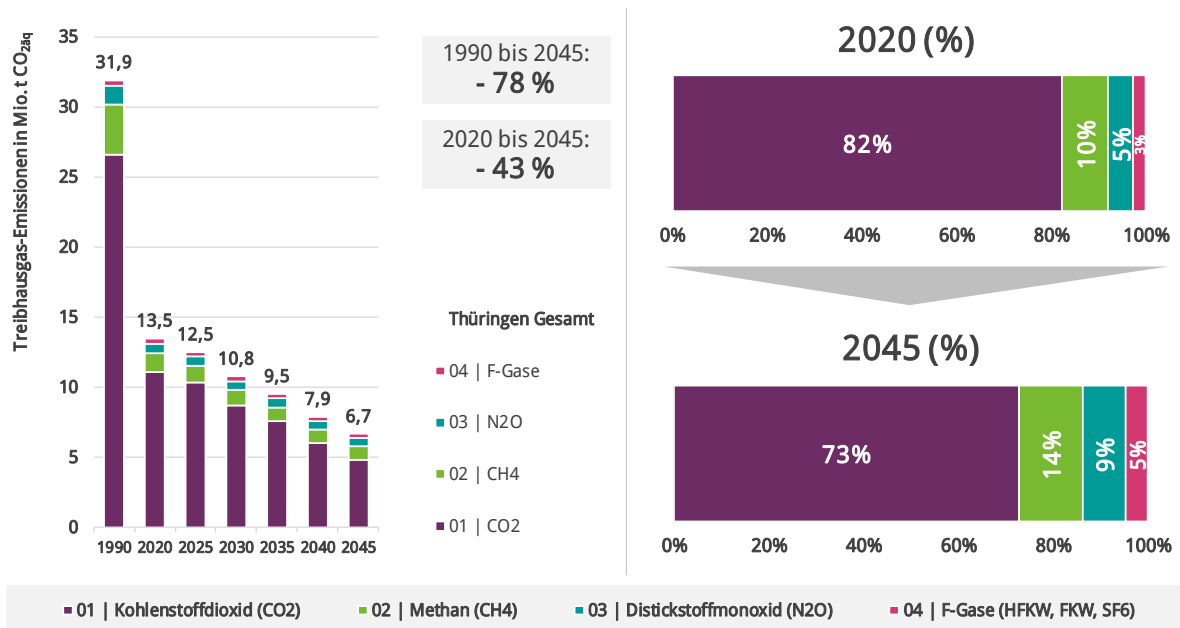


Abbildung 51 Entwicklung der THG-Emissionen nach Gasen im Referenzszenario

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig und Prognos AG auf Basis von Kapitel 3.1 bis 3.7

Um bis 2045 die Treibhausgasneutralität zu erreichen, wie es das Klimaschutzgesetz des Bundes vorsieht, wurde das Zielszenario 2045 entwickelt. Dessen Verlauf ist in Abbildung 52 dargestellt.

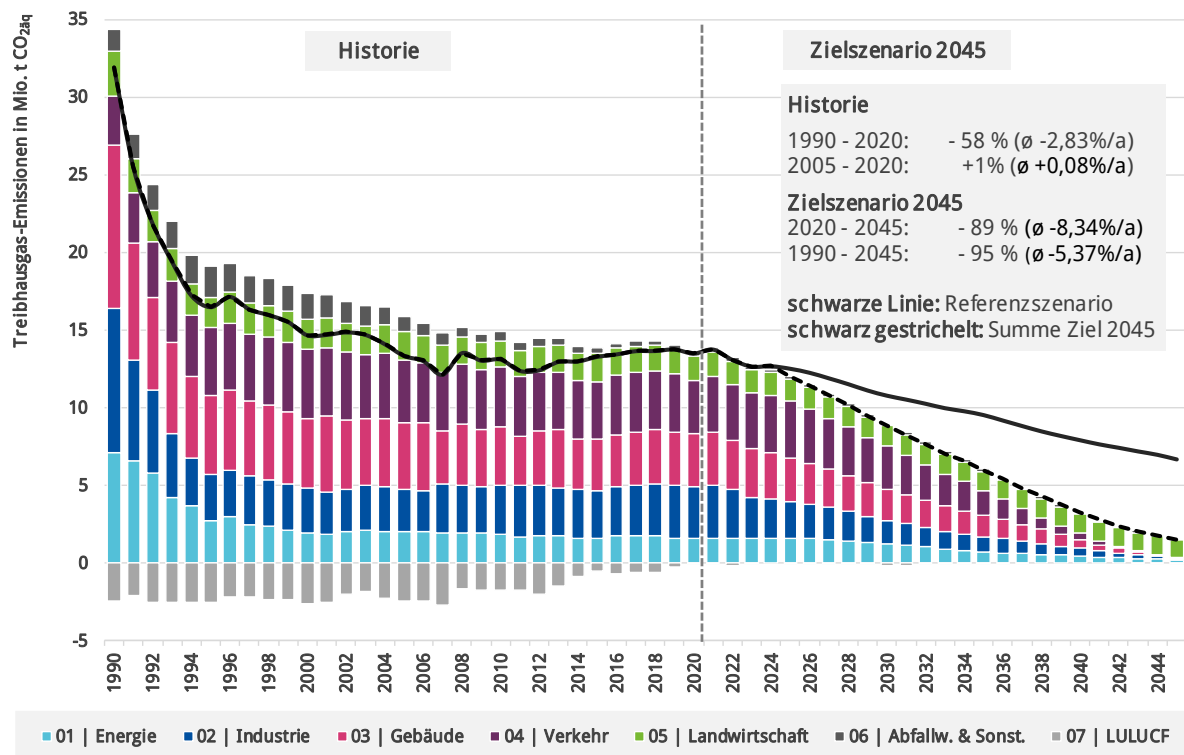


Abbildung 52 Entwicklung der THG-Emissionen aller Sektoren im Zielszenario 2045

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig und Prognos AG auf Basis von Kapitel 3.1 bis 3.7

Es zeigt sich, dass alle Emissionen, die mit dem Verbrauch fossiler Energien verbunden sind, bis 2045 beendet werden können, prozessbedingte Emissionen der Industrie werden dabei innerhalb des Industriesektors durch CCS kompensiert. Allerdings verbleiben noch Restemissionen in den Sektoren Landwirtschaft und Abfallwirtschaft/Sonstige, die durch natürliche Senken des LULUCF-Sektors in Thüringen nicht kompensiert werden können. Auf deren Ausgleich wird weiter unten eingegangen.

Im Zeitraum 2020 bis 2045 werden im Zielszenario 2045 die Kohlenstoffdioxid-Emissionen maßgeblich die gesamte CO₂aq-Minderung in Thüringen beeinflussen (Reduktionsanteil: ca. 93 %). Im Wesentlichen ist dies auf die Energieträgersubstitution durch

erneuerbare Energien in den Endenergiesektoren und im Umwandlungsbereich sowie den Einsatz von CCS-Technologie zur Vermeidung prozessbedingter Emissionen aus Industrieprozessen zurückzuführen. Daneben spielt auch die zukünftig weiterhin fortschreitende Verringerung des Energieeinsatzes eine Rolle. Die Methan-Emissionen werden im Zielszenario insbesondere infolge des Bestandsrückganges bei Milchkühen und Rindern (verdauungsbedingte Emissionen) sowie des Deponieverbots für unbehandelte organische Abfälle sinken (Reduktionsanteil: ca. 4 %). Der geringere Einsatz von synthetischem Stickstoff-Dünger (Mineraldünger) bis zum Jahr 2045 wird überwiegend zur Reduktion der Distickstoffmonoxid-Emissionen beitragen (Reduktionsanteil ca. 2 %). Die Emissionen aus

halogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (F-Gase) werden durch Verschärfung des Ordnungsrechts sowie durch die Erstfüll-, Nachfüll-, Verwendungs- und Inverkehrbringungsverbote für F-Gase bis zum Jahr 2045 im Zielszenario zurückgehen (F-Gase-Reduktionsanteil ca. 1 %). Die Minderung nach Gasen gestaltet sich folgendermaßen:

- Kohlenstoffdioxid (CO₂): - 11,11 Mio. t CO_{2äq}
- Methan (CH₄): - 0,51 Mio. t CO_{2äq}
- Distickstoffmonoxid (N₂O): - 0,22 Mio. t CO_{2äq}
- F-Gase (HFKW, FKW, SF₆): - 0,13 Mio. t CO_{2äq}

Der über das Referenzszenario hinausgehende Rückgang der Kohlenstoffdioxid-Emissionen (CO₂) bin hin zu deren vollständigem Wegfall bis zum Jahr 2045 wird zu einer deutlichen Veränderung der Anteile der Gase an den verbleibenden THG-Emissionen Thüringens gegenüber dem Jahr 2020 führen (siehe Abbildung 53), Methan (CH₄) wird dann den größten Teil der verbleibenden Anteil dieser Emissionen ausmachen, daneben spielen noch Lachgas (N₂O) und F-Gase eine Rolle. Dennoch liegen die absoluten Werte auch hier deutlich niedriger als 2020.

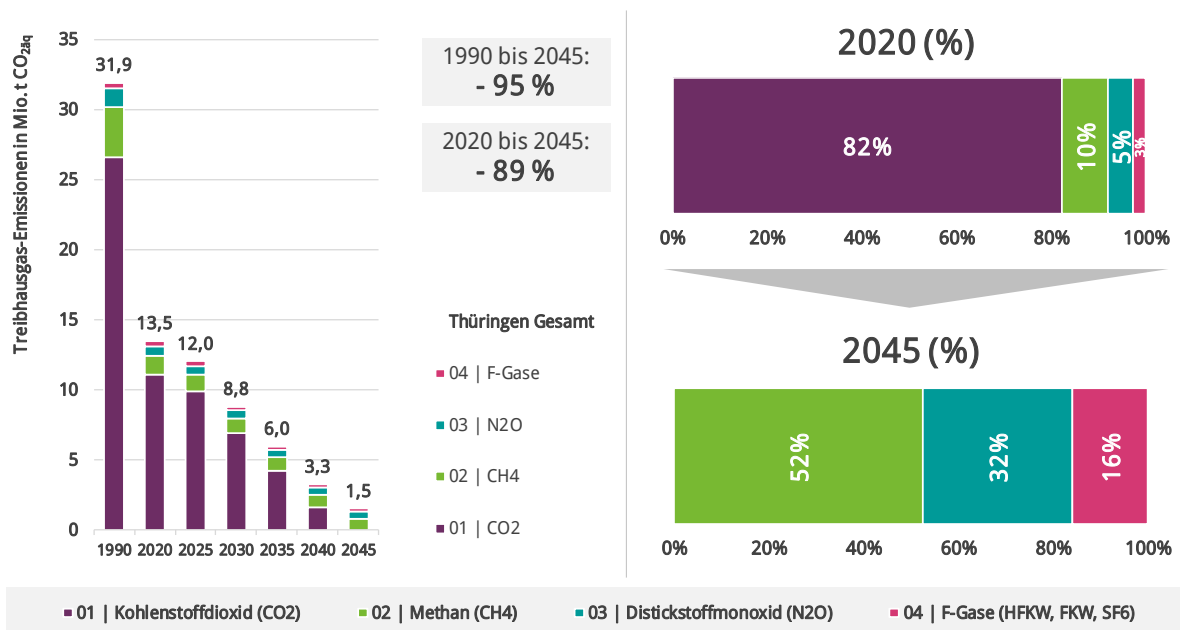


Abbildung 53 Entwicklung der THG-Emissionen nach Gasen im Zielszenario 2045

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig und Prognos AG auf Basis von Kapitel 3.1 bis 3.7

Um die Möglichkeit und die Wirkungen der THG-Neutralität 2040 zu beurteilen, wurde das Zielszenario 2040 entwickelt. Die zu Grunde liegenden Annahmen, die für das Erreichen dieses Szenarios erforderlich

sind, sind in den Kapiteln 3.1 bis 3.7 dargestellt. Das Gesamtergebnis wird in Abbildung 54 graphisch für den Zeitraum bis 2040 dargestellt.

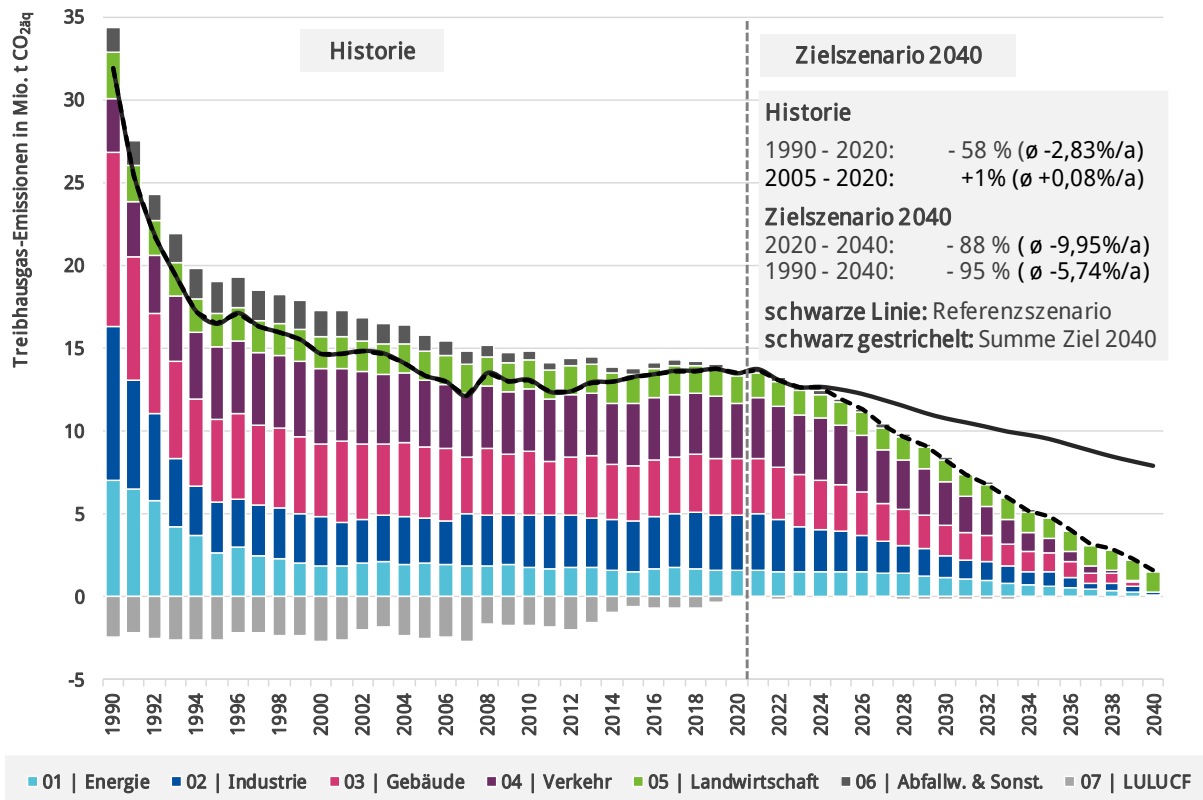


Abbildung 54 Entwicklung der THG-Emissionen aller Sektoren im Zielszenario 2040

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig und Prognos AG auf Basis von Kapitel 3.1 bis 3.7

In den Zielszenarien 2040 und 2045 verbleiben somit noch Restemissionen, die durch den LULUCF-Sektor nicht ausgeglichen werden können. Hierfür müssen negative Emissionen zum Ausgleich erreicht werden [Leopoldina 2022].

Da die in den industriellen Prozessen anfallenden nicht-energiebedingten Emissionen bereits im Industriesektor in der Weise berücksichtigt wurden, dass diese an der Quelle durch CCS abgeschieden werden, handelt es sich bei den auszugleichenden Emissionen überwiegend um disperse Emissionen aus der Landwirtschaft. Um diese durch Entnahmen von CO₂ auszugleichen, bleiben als Verfahren die Abscheidung von

CO₂ bei der Verbrennung von Biomasse (BECCS) sowie die direkte Entnahme von CO₂ aus der Umgebungsluft (DACCS), wie es in [Viebahn et al. 2019] beschrieben wird. Der dafür erforderliche Energieaufwand liegt im Bereich von ungefähr 1 TWh für 1 Mio. t CO_{2äq} [Prognos 2021]. Es wird nachfolgend davon ausgegangen, dass ab dem Jahr 2035 die erforderlichen Kapazitäten aufgebaut werden können, um die Emissionen, die nach Auslaufen aller fossilen Energieträger noch im Energiesystem verbleiben, durch DACCS-Verfahren aus der Umgebungsluft zu entnehmen.

Im Zielszenario 2045 erfolgt der Aufbau dieser Kapazitäten von 2035 bis 2045 und erfordert im Jahr 2045 einen Bruttostromverbrauch von 1,53 TWh, um die dann verbleibenden – und von der möglichen Senkewirkung durch LULUCF noch nicht abgedeckten – Restemissionen von ca. 1,53 Mio. t CO_{2äq} aus der Atmosphäre zu entnehmen (vgl. Tabelle 10 in Kapitel 3.1.2).

Im Zielszenario 2040 verbleiben in Thüringen im Jahr 2040 noch Restemissionen in Höhe von 1,66 Mio. t CO_{2äq} nach dem Quellenprinzip. Der Wert liegt etwas höher als der Zielwert des Zielszenarios

2045, weil in einigen Sektoren nicht alle Entwicklungen gleichermaßen beschleunigt werden können, die zur THG-Minderung beitragen. Somit müssen in den Jahren 2035 bis 2040 die entsprechenden DACCS-Kapazitäten schneller aufgebaut werden, die 2040 einen Bruttostromverbrauch von rund 1,66 TWh aufweisen werden. Der Bedarf liegt folglich etwas höher als im Zielszenario 2045, führt aber nicht dazu, dass Thüringen 2040 Strom importieren muss, da der Zuwachs bei der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auch in diesem Szenario die wachsende Stromnachfrage überkompensiert (vgl. Tabelle 12 in Kapitel 3.1.3).

3.8.2 Bewertung wesentlicher Ziele des Thüringer Klimaschutzgesetzes

Wesentliche quantitative Ziele formuliert das Thüringer Klimagesetz (ThürKlimaG) in den Paragraphen 3 und 4. Dabei sind die Minderungsziele für die THG-Emissionen in § 3 Abs. 1 ThürKlimaG das übergeordnete und handlungsleitende Ziel, während die weiteren Ziele dem Erreichen dieser übergeordneten Minderungsziele dienen.

THG-Minderungsziele

Die THG-Minderungsziele werden in Tabelle 14 den zuvor erarbeiteten Szenarien gegenübergestellt.

THG-Minderung von 1990 bis Zieljahr...	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Ziel im Klimagesetz	k. A.	k. A.	60 – 70 %	k. A.	70 – 80 %	k. A.	80 – 95 %
Referenzszenario	58 % ¹⁸	61 %	66 %	70 %	75 %	79 %	k. A.
Zielszenario 2045	58 %	62 %	72 %	80 %	89 %	95 %	k. A.
Ziel 2045 mit DACCS	58 %	62 %	72 %	80 %	93 %	100 %	k. A.
Zielszenario 2040	58 %	62 %	73 %	83 %	95 %	k. A.	k. A.
Ziel 2040 mit DACCS	58 %	62 %	73 %	83 %	100 %	k. A.	k. A.

Tabelle 14 THG-Minderung nach Szenarien im Vergleich zum ThürKlimaG
Quelle: [ThürKlimaG 2018], Darstellung und Berechnungen IE Leipzig

Die CO₂-Entnahmen mittels DACCS-Verfahren beginnen in den beiden Zielszenarien im Jahr 2035, verändern das Ergebnis der THG-Minderung 2035 jedoch noch um weniger als 1 %, so dass der Unterschied in Tabelle 14 noch nicht sichtbar wird. Werden CO₂-Entnahmen mitberücksichtigt, werden im Zielszenario 2040 schon im Zieljahr 2040 100 % THG-Minderung erreicht, im Zielszenario 2045 werden ebenfalls 100 % erreicht, allerdings erst im Zieljahr 2045.

Die Minderungsziele des ThürKlimaG stehen somit nicht mehr im Einklang mit dem geltenden bundesweiten KSG, in dem das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2045 vorgegeben wird. Im Zielszenario 2045 wird dieser Einklang wieder hergestellt. Auch das Zielszenario 2040 steht im Einklang mit dem KSG.

Kohlenstoffspeicherung

In § 3 Abs. 2 ThürKlimaG verfolgt das Land das Ziel, die Treibhausgasneutralität in der zweiten Hälfte des

21. Jahrhunderts u. a. mit Hilfe des Ausbaus natürlicher Kohlenstoffspeicher zu erreichen. Da sich in den Szenarien gezeigt hat, dass die natürlichen Kohlenstoffspeicher (in Thüringen vorwiegend der Wald) absehbar nicht in der Lage sein werden, die verbleibenden Emissionen zu kompensieren, wird empfohlen, neben dem Erhalt und Ausbau natürlicher Kohlenstoffspeicher auch den Aufbau technischer Senken als Ziel zu verankern, um die Treibhausgasneutralität zu erreichen. Für deren Erreichen sollte der Zeitpunkt von der zweiten Hälfte des Jahrhunderts auf 2045 vorgezogen werden.

Bilanzielle Deckung des Energiebedarfs

In § 4 Abs. 1 ThürKlimaG wird das Ziel formuliert, den Energiebedarf Thüringens ab 2040 bilanziell aus eigenen erneuerbaren Energiequellen zu decken. Zur bilanziellen Deckung des Energiebedarfs aus 100 % erneuerbaren Energien – im Sinne des ThürKlimaG – ist für

¹⁸ Der Wert unterscheidet sich von den Berechnungen des entsprechenden Nachhaltigkeitsindikators (61,7 % nach [SAGNE 2023]) aus methodischen Gründen, so sind in der vorliegenden Studie z. B. auch die prozessbedingten Industrieemissionen enthalten.

die im Energiesystem Thüringens verbleibende fossile Energie im Jahr 2040 (Zielszenario 2045: 24,8 PJ, Zielszenario 2040: 2,7 PJ) eine korrespondierende zusätzliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erforderlich (siehe Tabelle 15). Das bedeutet, dass jede verbleibende Einheit fossiler Energie durch eine zusätzliche Einheit Strom aus erneuerbaren Energien, die über den Strombedarf Thüringens hinausgeht, bilanziell ausgeglichen wird. Dafür wäre im Jahr 2040 eine zusätzliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von etwa 6,9 TWh im Zielszenario 2045 und von 0,8 TWh im Zielszenario 2040 erforderlich. Im

Zielszenario 2040 kann das in § 4 Abs. 1 ThürKlimaG verankerte bilanzielle Ziel erreicht werden, da gemäß diesem Szenario ein Stromüberschuss von 3,4 TWh aus erneuerbaren Energien existiert. Im Zielszenario 2045 wird das Ziel hingegen erst im Jahr 2042 erreicht, da im Jahr 2040 noch eine Deckungslücke von 2,1 TWh besteht. Im Jahr 2020 wäre zur Erreichung des bilanziellen Ziels der vollständigen Deckung des Energiebedarfs aus 100 % erneuerbaren Energien – im Sinne des ThürKlimaG – eine zusätzliche Stromerzeugung (Stromüberschuss) von 43,2 TWh erforderlich gewesen.

	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Primärenergieverbrauch in PJ						
Zielszenario 2045	228,4	230,9	212,4	195,2	176,3	151,1
Zielszenario 2040	228,4	231,2	208,9	191,8	159,8	k.A.
Fossiler Primärenergieverbrauch in PJ (Bilanzieller Ausgleichsbedarf)						
Zielszenario 2045	155,4	142,5	102,2	62,8	24,8	2,7
Zielszenario 2040	155,4	141,9	96,1	48,1	2,7	k.A.
Bilanzieller Ausgleichsbedarf durch Überschuss an EE-Strom in TWh (§ 4 Abs. 1 ThürKlimaG)						
Zielszenario 2045	43,2	39,6	38,4	17,4	6,9	0,8
Zielszenario 2040	43,2	39,4	26,7	13,4	0,8	k.A.
Stromausgleichsbedarf in TWh (negativ: verfügbarer Stromüberschuss aus EE)						
Zielszenario 2045	3,9	3,7	2,1	-1,5	-4,8	-4,9
Zielszenario 2040	3,9	4,0	2,9	-0,7	-3,4	k.A.

Tabelle 15 Bilanzielle Deckung des Energiebedarfs durch EE-Stromüberschuss gemäß ThürKlimaG
Quelle: [ThürKlimaG 2018], Darstellung und Berechnungen IE Leipzig

Flächen zur Windenergienutzung

Um den Ausbau der erneuerbaren Energien zu unterstützen, wird in § 4 Abs. 2 ThürKlimaG das Ziel vorgegeben, ein Prozent der gesamten Landesfläche für die Nutzung durch die Windenergie bereitzustellen. Durch das Windenergieflächenbedarfsgesetz

(WindBG) des Bundes wird für den Freistaat Thüringen ein Flächenbeitragswert von 2,2 % der Landesfläche festgelegt, der bis zum 31.12.2032 zu erreichen ist. Bis 31.12.2027 müssen bereits 1,8 % erreicht werden. Die Formulierung im ThürKlimaG ist damit durch Bundesrecht überholt worden. Sie kann somit entfallen oder dem Bundesrecht angeglichen werden.

3.8.3 Bewertung der energiepolitischen Ziele der IEKS

Die Thüringer Energie- und Klimaschutzstrategie [TMUEN 2019] nimmt einerseits auf das ThürKlimaG mit dessen Zielen Bezug und zugleich auf das Gutachten des IE Leipzig zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie [IE Leipzig 2018]. Darin wurden zwei Zielszenarien entwickelt (aktiv und proaktiv), bei denen 2040 im Vergleich zu 1990 eine THG-Minderung von 83 % bzw. 90 % ohne Berücksichtigung von LULUCF erreicht wird. Vergleicht man im aktuellen Zielszenario 2045 ohne Einbeziehung des LULUCF-Sektors die Jahre 1990 und 2040, so ergibt sich eine Minderung von 89 %. Im aktuellen Zielszenario 2040 ergibt sich für denselben Zeitraum eine Minderung von 93 %. Damit liegen die beiden hier berechneten Szenarien in der Größenordnung des Proaktiv-Szenarios, d. h. des ambitionierteren der beiden damaligen Szenarien.

Festlegungen zu sektorspezifischen Zielen waren im Rahmen der IEKS [TMUEN 2019] nicht enthalten, im

vorbereitenden Gutachten [IE Leipzig 2018] waren lediglich entsprechende Pfade für die Sektoren berechnet worden.

In den Teilkapiteln 1.5.2 und 1.5.3 der Thüringer Energie- und Klimaschutzstrategie werden die quantitativen Ziele des ThürKlimaG konkretisiert. Insbesondere geht es dabei um die Themen der Energiebedarfsdeckung und der Energieeffizienz.

Energiebedarfsdeckung

Die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs und der Beitrag, den die erneuerbaren Energien dazu leisten, wird in Tabelle 16 verdeutlicht. In den Zahlen sind auch die für die DACCS-Verfahren zur CO₂-Abscheidung ab 2035 erforderlichen Strommengen mit berücksichtigt.

	2010	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Primärenergieverbrauch in PJ							
Referenzszenario	249,7	228,4	234,6	223,8	211,5	194,0	176,9
Zielszenario 2045	249,7	228,4	230,9	212,4	195,2	176,3	151,1
Zielszenario 2040	249,7	228,4	231,2	208,9	191,8	159,8	k.A.
Primärenergieverbrauch als Indexwert (2020=100)							
Ziel in der IEKS	109	100	93	86	80	74	k. A.
Referenzszenario	109	100	103	98	93	85	78
Zielszenario 2045	109	100	101	93	86	77	66
Zielszenario 2040	109	100	101	92	84	70	k. A.
Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch							
Ziel in der IEKS	k. A.	33 %	k. A.	55 %	k. A.	100 %	k. A.
Referenzszenario	20,4 %	25,7 %	31,9 %	45,3 %	50,4 %	58,5 %	63,9 %
Zielszenario 2045	20,4 %	25,7 %	32,3 %	51,9 %	67,8 %	85,8 %	98,2 %
Zielszenario 2040	20,4 %	25,7 %	32,1 %	54,0 %	74,9 %	98,2 %	k. A.
Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch							
Ziel in der IEKS	k. A.	45 %	k. A.	80 %	k. A.	(170 %) ¹⁹	k. A.
Referenzszenario	19,5 %	45,6 %	50,6 %	67,4 %	100,6 %	126,4 %	127,7 %
Zielszenario 2045	19,5 %	45,6 %	51,1 %	67,2 %	93,7 %	110,8 %	107,3 %
Zielszenario 2040	19,5 %	45,6 %	50,9 %	65,5 %	89,8 %	103,1 %	k. A.

Tabelle 16 Deckungsbeiträge der erneuerbaren Energien nach Szenarien im Vergleich zur IEKS

Quelle: [TMUEN 2019], [SAGNE 2023], Darstellung und Berechnungen IE Leipzig

Die Veränderung des Primärenergieverbrauchs wird in den Szenarien stark durch die Sektorenkopplung beeinflusst, da im Wärme- und Verkehrssektor eine Elektrifizierung von zuvor fossil betriebenen Prozessen mit grundlegend anderen Umwandlungswirkungsgraden verbunden ist.

Der Primärenergieverbrauch sank im Zeitraum von 2010 bis 2020 durchschnittlich um etwa 0,9 % pro Jahr. Damit wurde das im IEKS vorgesehene Ziel von minus 1,5 % pro Jahr nicht erreicht. Um das Zielszenario 2045 zu erfüllen, wäre eine jährliche Reduktion des Primärenergieverbrauchs um 1,6 % erforderlich, und

¹⁹ Dieser Wert wird in der IEKS [TMUEN 2019] nicht als Ziel formuliert, sondern nur aus [IE Leipzig 2018] zitiert.

für das Zielszenario 2040 eine Reduktion um 1,8 % pro Jahr. Aufgrund des verzögerten Ausbaus der Windenergie kann der im IEKS vorgesehene Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch von 80 % bis 2030 voraussichtlich nicht erreicht werden. Unter den aktuellen Bedingungen erscheint ein realistisches Ziel bei 65 bis 67 % im Jahr 2030 zu liegen. Diese Zielgröße ist mit dem Ziel einer THG-Neutralität 2045 gut vereinbar, wie sich an der in Tabelle 16 dargestellten Entwicklung zeigt.

Energieeffizienz

Das Teilkapitel 1.5.3 der IEKS steht unter dem Titel „Energie einsparen und Energieeffizienz steigern“. Darin ist das Ziel formuliert, den Primärenergieverbrauch bis 2040 um jährlich 1,5 % zu senken. Parallel dazu soll die Endenergieproduktivität bis 2030 um jährlich 2,1 % steigen. Somit ist auch ein Wachstum des BIP bei gleichzeitig rückläufigem Endenergieverbrauch möglich. Die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs sowie dessen Indexwertes ist in Tabelle 16 dargestellt. Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs und der Endenergieproduktivität in den drei Szenarien ist in Tabelle 17 den IEKS-Zielen

gegenübergestellt. Zwischen 2010 und 2020 sank der Endenergieverbrauch jährlich durchschnittlich um 0,9 %, während sich die Endenergieproduktivität um 1,9 % pro Jahr erhöhte. Bei der Endenergieproduktivität zeigt sich, dass das Ziel einer jährlichen Steigerung um 2,1 % nicht zu erreichen war. Ab 2020 wird der Endenergieverbrauch in den Szenarien durchschnittlich pro Jahr wie folgt abnehmen:

- Referenzszenario: Ø - 1,1 % pro Jahr
- Zielszenario 2045: Ø - 1,9 % pro Jahr
- Zielszenario 2040: Ø - 2,1 % pro Jahr

Die Endenergieproduktivität wird sich damit korrespondierend jährlich ab 2020 in den Szenarien entwickeln:

- Referenzszenario: Ø + 1,9 % pro Jahr
- Zielszenario 2045: Ø + 2,6 % pro Jahr
- Zielszenario 2040: Ø + 2,9 % pro Jahr

In den beiden Zielszenarien wird eine dynamischere Entwicklung bei der Energieeffizienz (Endenergieproduktivität) zu Grunde gelegt, um das Ziel der Treibhausgasneutralität erreichen zu können.

	2010	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Endenergieverbrauch in PJ							
Referenzszenario	219,2	201,1	208,1	195,0	182,5	166,9	150,8
Zielszenario 2045	219,2	201,1	204,8	185,7	168,1	147,0	125,6
Zielszenario 2040	219,2	201,1	204,5	181,7	161,5	130,6	k. A.
Endenergieverbrauch als Indexwert (2020=100)							
Referenzszenario	109	100	103	97	91	83	75
Zielszenario 2045	109	100	102	92	84	73	62
Zielszenario 2040	109	100	102	90	80	65	k. A.
Endenergieproduktivität als Indexwert (2020=100)							
Ziel in der IEKS	76,2	100	110,9	123,1	k. A.	k. A.	k. A.
Referenzszenario	83,2	100,0	102,5	112,6	123,9	139,3	158,4
Zielszenario 2045	83,2	100,0	104,0	118,3	134,5	158,2	190,2
Zielszenario 2040	83,2	100,0	104,2	120,9	140,0	178,1	

Tabelle 17 Endenergieverbrauch und Energieproduktivität nach Szenarien im Vergleich zu den Zielen der IEKS
 Quelle: [TMUEN 2019], [SAGNE 2023], Darstellung und Berechnungen IE Leipzig

3.8.4 Monitoring der Entwicklung

Im Indikatorenbericht zur nachhaltigen Entwicklung in Thüringen [SAGNE 2023] werden folgende der hier benannten Variablen als Indikatoren geführt:

- Endenergieproduktivität (bei Indikator 14)
- Primärenergieverbrauch (bei Indikator 14)
- Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch (bei Indikator 15)
- Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch (bei Indikator 15)
- THG-Emissionen in Mio. t und als Indexwert (bei Indikator 28)

Darüber hinaus enthält der Bericht weitere Variablen, die im Kontext der Entwicklung einzelner Sektoren

und den dort absehbaren Entwicklungen und den vorgesehenen Maßnahmen relevant sind:

- Anteil Flächen ökologischer Landbau in % (bei Indikator 3)
- Betriebsleistung im SPNV (bei Indikator 25)
- Betriebsleistung im StPNV (bei Indikator 25)
- Betriebsleistung im ÖPNV (Summe bei Indikator 25)
- Beförderte Personen im ÖPNV in 1.000 und relativ zur Einwohnerzahl (bei Indikator 26)
- Pkw-Bestand je 1.000 Einwohner (bei Indikator 27)

Alle genannten Indikatoren bleiben weiterhin relevant, daher wird empfohlen, sie auch in den zukünftigen Indikatorenberichten zur nachhaltigen Entwicklung in Thüringen weiter zu verfolgen. Darüber hinaus gibt es weitere öffentlich zugängliche Daten, die als Indikator verfolgt werden können, z. B.

- Anteil der batterieelektrischen Pkw an allen Pkw
- Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch (anstelle oder ergänzend zum Primärenergieverbrauch), hier würde anders als

beim Primärenergieverbrauch ein Stromexport positiv zu Buche schlagen.

Für die zukünftige Entwicklung wären auch neue Quellen zu erschließen, um die folgenden Entwicklungen abzubilden:

- Produktion von Wasserstoff in Thüringen
- Kapazität von CCS-Anlagen (verschiedener Art, z. B. Abscheidung bei der Zementindustrie oder DACCS).

4 Entwicklungsnotwendigkeiten der Energieversorgung und der öffentlichen Infrastrukturen

Im folgenden Kapitel wird beschrieben, welche Entwicklungsnotwendigkeiten im Bereich der Energieversorgung und der öffentlichen Infrastrukturen in Thüringen bei Umsetzung des skizzierten Transformationspfades hin zur Klimaneutralität bestehen.

Es werden die für das Energiesystem und Klimaneutralität relevanten Bereiche Stromerzeugung und -Netze, H₂-Netz, CO₂-Netz, Fernwärmeerzeugung und -Netze sowie weitere öffentliche Infrastrukturen untersucht. Je Bereich werden zunächst kurz die Ausgangslage dargestellt, anschließend die Handlungsnotwendigkeiten skizziert und die dafür notwendigen Investitionen analysiert.

4.1 Vorgehen und Methodik

Die Darstellung des Status quo sowie der Entwicklungsnotwendigkeiten in relevanten Bereichen der Energieversorgung und der öffentlichen Infrastrukturen hin zu Klimaneutralität erfolgt spezifisch auf die betrachteten Bereiche bezogen. Den Status quo bilden statistische Daten ab, die jeweils in den folgenden Abschnitten genannt und präsentiert werden und größtenteils bereits für die Analyse der Ausgangslage (Abschnitt 2.5) sowie die THG-Minderungspfade (Kapitel 3) verwendet wurden. Für die zukünftige Entwicklung wird, wo möglich, direkt auf Ergebnisse aus Kapitel 3 zurückgegriffen. Dies gewährleistet die Konsistenz der Arbeiten in dieser Studie. Um die Entwicklungsnotwendigkeiten hinsichtlich Klimaneutralität abzubilden, wird auf das Zielszenario 2045 abgestellt. Dies betrifft vor allem die Bereiche Stromerzeugung, Wärmeerzeugung sowie die betrachteten weiteren öffentlichen Infrastrukturen (Ladeinfrastruktur, Schienenverkehr). Für die Stromnetze werden Daten, Strategien und Planungen der jeweiligen wesentlichen Netzbetreiber (50 Hertz, Thüringer Energienetze) herangezogen. Im Bereich der Fernwärme wird ebenso auf bestehende lokale Strategien (zur Dekarbonisierung der Fernwärme)

zurückgegriffen. Dieser Zugang stellt eine Integration von Thüringen-spezifischen Gegebenheiten und Interessen sicher. Für die H₂- sowie CO₂-Netze wird auf eine Kombination aus nationalen Planungsprozessen und den Ergebnissen aus Kapitel 3 gesetzt. Der überregionale Transport wird gemäß H₂-Kernnetz und bundesweiten CO₂-Netzplanungen angenommen, die lokale Integration über Standorte der entsprechenden Anlagen, die Teil des EU-Emissionshandels sind, sowie die modellierte Branchenentwicklung im Zielszenario 2045. Außerdem wurden die vorliegenden Erkenntnisse aus dem Prozess der Integrierten Netzplanung Thüringen gesichtet und berücksichtigt. Gemäß der Struktur der Ergebnisse konnten daraus keine quantitativen Informationen eingebunden werden, sondern vor allem qualitative Botschaften, wie Forderungen nach Maßnahmen, Instrumenten, Analysen etc.

Die so gewonnenen Erkenntnisse werden anschließend mit spezifischen Investitionsdaten verknüpft, die über die jeweiligen Modelle aus früheren Analysen und Projekten vorliegen. Zentrale Annahmen werden in den jeweiligen Abschnitten aufgeführt.

4.2 Stromerzeugung

4.2.1 Notwendiger Ausbau

Der Status Quo und die Entwicklungsnotwendigkeiten im Sektor Energiewirtschaft und in der dazugehörigen Stromerzeugung werden in Kapitel 3.1 präsentiert. Zur Erreichung der klimapolitischen Ziele in der Stromerzeugung ist v. a. eine erhebliche Steigerung des Zubaus an erneuerbaren Erzeugungsanlagen notwendig. Der überwiegende Anteil des Ausbaus im Zielszenario 2045 entfällt auf Wind- und Photovoltaikanlagen. Beim Ausbau von Windanlagen in Thüringen ist eine Steigerung des durchschnittlichen jährlichen Zubaus von rund 60 MW auf rund 500 MW im Szenario unterstellt. Der Großteil des Zubaus erfolgt in den 2030er-

Jahren. Nach 2040 kommt es zu keinem weiteren Nettoausbau der Windkraftkapazitäten. Bei Photovoltaikanlagen wird eine Steigerung von rund 180 MW auf einen durchschnittlichen jährlichen Zubau von mehr als 450 MW angenommen. Nach 2040 erfolgt auch hier kein weiterer Nettozubau mehr. Im Szenario enthalten ist ebenfalls ein Zubau an Wasserstoffturbinen sowie großen Batteriespeichern. Der durchschnittliche jährliche Zubau dieser Technologien ist im Vergleich zu Wind und Photovoltaik jedoch deutlich geringer. Bei Wasserstoffturbinen werden durchschnittlich pro Jahr zwischen 10 und 30 MW zugebaut. Damit liegt der Zubau in der Größenordnung von wenigen Anlagen pro Jahr. Bei großen Batteriespeichern erfolgt ein Zubau zwischen 40 und 70 MW pro Jahr.

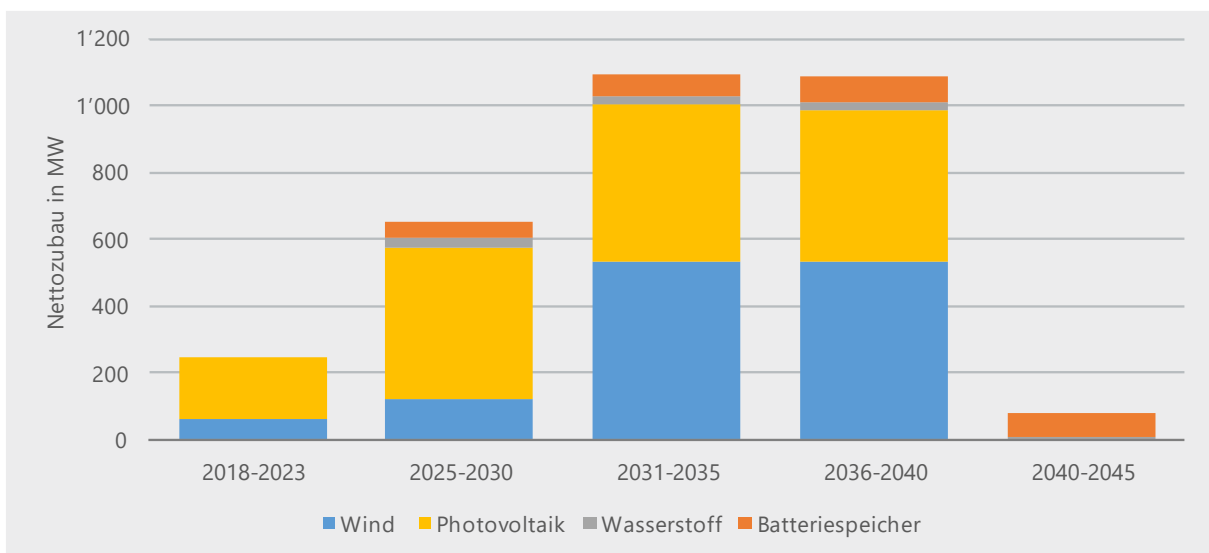


Abbildung 55 Durchschnittlicher Nettozubau an Stromerzeugungskapazitäten im Szenario 2045

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig und Prognos AG auf Basis von Kapitel 3.1 bis 3.7

4.2.2 Notwendige Investitionen

Durch den Zubau an notwendigen Stromerzeugungstechnologien werden erhebliche Investitionen ausgelöst. Der überwiegende Anteil entfällt dabei auf die

Windenergie. Bis 2030 sind von den gesamt ausgelösten Investitionen für die Stromproduktion von knapp 600 Mio. Euro pro Jahr jeweils knapp 240 Mio. Euro

auf Windenergie- und Photovoltaikanlagen zurückzuführen. In den 2030er-Jahren kommt es zu Investitionen von um die 800 Mio. Euro pro Jahr in die Windenergie. Auf Photovoltaikanlagen entfallen bis 2040 jährliche Investitionen von über 250 Mio. Euro pro Jahr. Aufgrund des angenommenen Rückgangs des jährlichen Zubaus gehen auch die notwendigen Investitionen insbesondere bei Windenergie deutlich zurück. Ab 2040 erfolgen bei Photovoltaik- und Windenergieanlagen nur noch angenommene Ersatzinvestitionen für Altanlagen. Die angenommene Lebensdauer für Anlagen liegt dabei bei 25 Jahren.

Ebenfalls dem Bereich der Stromerzeugung zugerechnet wird der Zubau an Batteriespeichern. Hierbei handelt es sich sowohl um Heimspeicher als auch um Batterien, die zur kurzfristigen Netzstabilität eingesetzt werden. Bis 2040 wird außerdem eine geringe Leistung an Wasserstoffturbinen zugbaut, die als Backupkraftwerke im Stromsystem fungieren.

Tabelle 18 stellt die Annahmen hinsichtlich der spezifischen Investitionen, die der Berechnung zu Grunde liegen, dar.

€/2022/kW	2020	2030	2035	2040
Windenergie	1.445	1.355	1.322	1.290
Photovoltaik	736	464	450	436
Batteriespeicher	500	300	275	250
Wasserstoffturbinen	nicht verfügbar	1.200	1.200	1.200

Tabelle 18 Annahmen zu spezifischen Kosten für Stromerzeugungsanlagen

Quelle: Darstellung und Berechnungen Prognos AG

Abbildung 56 zeigt die jährlichen Investitionen in die abgegrenzten Infrastrukturbereiche für die betrachteten Zeiträume.

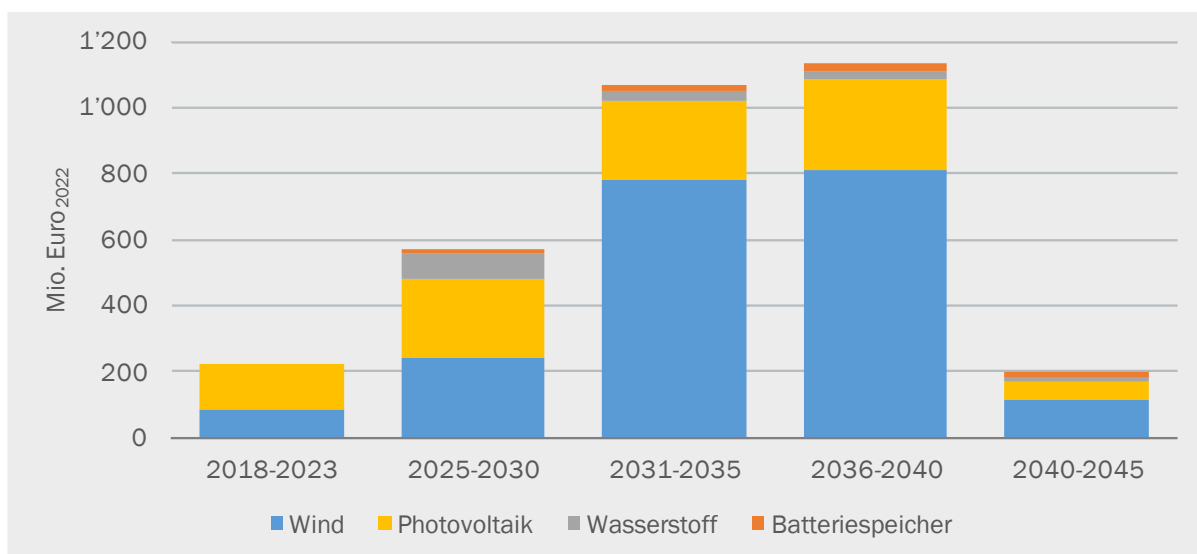


Abbildung 56 Kosten für den durchschnittlichen Nettozubau an Stromerzeugungskapazitäten im Szenario 2045

Quelle: Berechnung und Darstellung IE Leipzig und Prognos AG auf Basis von Kapitel 3.1 bis 3.7

4.3 Stromnetze

Im Bereich der Stromnetze wird zwischen der Übertragungsnetzebene und der Ebene der Verteilnetze unterschieden.

4.3.1 Übertragungsnetz

Durch das Übertragungsnetz erfolgt der nationale und großflächige Stromaustausch. Das Übertragungsnetz umfasst die Höchstspannungsebene der Stromnetze mit den Ebenen 380 und 220 kV.

Im Übertragungsnetz sind in den aktuellen gesetzlich verankerten Plänen zum Ausbau der Stromleitungsnetze (Bundesbedarfsplan und Energieleitungsgesetz) rund 380 Netzkilometer in Thüringen vorgesehen. Diese sollen bis 2030 errichtet werden. Im aktuellen

Netzentwicklungsplan 2023 der Übertragungsnetzbetreiber sind bis 2040 ca. 81 (weitere) neu zu errichtende Netzkilometer enthalten.

Durch diese Planungen im Übertragungsnetz ist insgesamt mit Investitionen von rund 2 Mrd. Euro zu rechnen. Hiervon entfallen mehr als 1,5 Mrd. Euro auf die Zeit bis 2030. Diese Investitionen fallen vollständig beim Übertragungsnetzbetreiber 50 Hertz an.

4.3.2 Verteilnetze

Auf Ebene der Verteilnetze erfolgt der regionale Austausch und die Versorgung der (meisten) Stromverbraucher. Auch bei den Verteilnetzen muss zwischen einzelnen Netzebenen unterschieden werden, da hier sowohl Hochspannungs-, Mittelspannungs- als auch Niederspannungsnetze bestehen.

In Thüringen entfallen auf die unterschiedlichen Netzebenen aktuell folgende Leitungskilometer:

Leitungsebene	Netzkilometer
Niederspannungsnetz	34.065 km
Mittelspannungsnetz	19.909 km
Hochspannungsnetz	3.500 km

Tabelle 19 Aktuelle Leitungskilometer im Verteilnetz in Thüringen
Quelle: [BDEW 2022]

Am 30. April 2024 haben Verteilnetzbetreiber Pläne zum notwendigen Ausbaubedarf der Stromverteilnetze bis 2045 veröffentlicht. Aus Thüringen sind Pläne der Thüringer Energienetze (TEN) sowie der Stadtwerke Erfurt und Jena verfügbar. Der Ausbaubedarf der Thüringer Energienetze ist für die Netzebenen (inkl. Ortsnetzstationen) in Tabelle 20 dargestellt.

Leitungsebene	2023 bis 2028	2029 bis 2033	2034 bis 2045
Niederspannungsnetz inkl. Ortsnetzstationen (ONS)	587 km und 576 ONS	639 km und 719 ONS	1.298 km und 1.461 ONS
Mittelspannungsnetz	670 km	711 km	1.390 km
Hochspannungsnetz	881 km	533 km	345 km

Tabelle 20 Laufender Ausbau und Ausbaubedarf im Thüringer Verteilnetz (nur Thüringer Energienetze)
Quelle: [TEN 2024]

Auf Grundlage der Prognosedaten des Netzausbauplans müssen im Hochspannungsnetz bis 2045 ca. 380 km an Trassen neu errichtet sowie 1.380 km verstärkt oder erneuert werden. Hinzu kommen auf dieser Netzebene noch die Erhöhung der Übertragungskapazitäten auf die oberen und unteren Netzebenen. Die Kosten hierfür sind in der Kostenübersicht ebenfalls enthalten. Der im Netzausbauplan enthaltene Bedarf an

Ortsnetzstationen (ONS) wurde dem Niederspannungsnetz zugeordnet.

In Erfurt ist bis 2045 der Neubau von rund 70 Kilometern und in Jena von 134 Kilometern Netzlänge vorgesehen.

Leitungsebene	2023 bis 2028	2029 bis 2033	2034 bis 2045
Niederspannungsnetz inkl. Ortsnetzstationen	166 Mio. Euro	200 Mio. Euro	493 Mio. Euro
Mittelspannungsnetz	222 Mio. Euro	200 Mio. Euro	826 Mio. Euro
Hochspannungsnetz	753 Mio. Euro	771 Mio. Euro	925 Mio. Euro
Summe	1.140 Mio. Euro	1.171 Mio. Euro	2.244 Mio. Euro
Durchschnittliche Investitionen pro Jahr	190 Mio. Euro	234 Mio. Euro	187 Mio. Euro.

Tabelle 21 Laufende Investitionen und geschätzter Investitionsbedarf im Thüringer Verteilnetz
Quelle: [TEN 2024]

Für die noch in der Zukunft liegenden Jahre von 2025 bis 2045 ergibt sich damit ein mittlerer jährlicher Investitionsbedarf von 198 Mio. Euro. Grundlage für die Ermittlung der Zahlen sind die Netzpläne der TEN (ca. 33.500 km), der Stadtwerke Erfurt (3.153 km) sowie der Stadtwerke Jena (2.355 km). Die restlichen Netzkilometer in Thüringen, (ca. 18.570 km), liegen größtenteils in der Verantwortung kleinerer und mittelgroßer

Stadtwerke. Von Stadtwerken liegen uns mit Ausnahme von Erfurt und Jena keine detaillierten Pläne zum Netzausbau bis 2045 (auf Basis eines Klimaneutralitätsszenarios) vor. Zur Abschätzung realistischer Größenordnungen werden die Kostenanteile von Erfurt und Jena verwendet, um die Kosten im Nieder- und Mittelspannungsnetz abzuschätzen. Für die fehlenden

Netzkilometer im Hochspannungsnetz werden die Zahlen der TEN entsprechend skaliert.

4.4 Wasserstoffnetz

Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie liegen bereits detaillierte Planungen der Fernleitungsnetzbetreiber zum Aufbau eines Kernnetzes für Wasserstoff vor. Dieses Netz soll (zukünftig) den überregionalen Transport von Wasserstoff in industriellem Maßstab sicherstellen. In Thüringen sind innerhalb des Netzes rund 310 Leitungskilometer vorgesehen (Abbildung 57). Diese stellen eine Ost-West-Verbindung quer durch das Bundesland dar und sollen sukzessive in den nächsten Jahren aufgebaut und bis spätestens 2037 in Betrieb gehen. In Thüringen bestehen die Leitungen weitestgehend aus umgestellten Erdgasleitungen, die nachgenutzt werden. Die spezifischen Kosten für eine Umstellung von Erdgas- auf H₂-Leitungen liegen im Mittel bei 0,6 Mio. Euro pro Kilometer. Dementsprechend liegen die Investitionen für den Anteil des H₂-Kernnetzes in Thüringen in einer Größenordnung von rund 200 Mio. Euro. Darüber hinaus bedarf es Verdichterstationen mit einer Leistung von rund 0,03 MW

pro km Netzlänge mit einem mittleren Investitionsbedarf von 6 Mio. Euro pro MW an Verdichterleistung. Infolge ist für Verdichterstationen mit weiteren 90 Mio. Euro an Investitionsbedarf für das H₂-Kernnetz in Thüringen zu rechnen.

Neben diesem überregionalen Transportnetz wird auf Basis der Ergebnisse aus Kapitel 3.2 angenommen, dass ein Anschluss der industriellen Zentren in Thüringen an dieses Netz erfolgt. Es wird auf aktuelle Standorte (im EU-ETS) in der Glas-, Keramik- und Stahlindustrie abgestellt, da diese auch gemäß H₂-Strategie Thüringens die relevantesten Abnehmer darstellen. Hierdurch kommen weitere 190 km an Netzananschlussleitungen zustande. Sofern hierfür ebenfalls umgestellte Erdgasleitungen genutzt werden können, fallen Investitionen in Höhe von 116 Mio. Euro an, bei einem Neubau dieser Leitungen läge der Investitionsbedarf mit 620 Mio. Euro jedoch signifikant höher.

Eine Gesamtübersicht über das skizzierte H₂-Netz in Thüringen bietet Abbildung 57.



Abbildung 57 Wasserstoffleitungen in Thüringen (Kernnetz und mögliche Anschlussleitungen an Industriestandorte)
Quelle: eigene Darstellung Prognos

4.5 CO₂-Transport

Den regulatorischen Rahmen für den (möglichen) zukünftigen CO₂-Transport in Thüringen liefern folgende Dokumente, die auf deutscher und europäischer Ebene gelten bzw. wirken:

- | | |
|---|---|
| <p>in regulatorischen Rahmen für den (möglichen) zukünftigen CO₂-Transport in Thüringen liefern folgende Dokumente, die auf deutscher und europäischer Ebene existieren bzw. wirken:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eckpunktepapier Carbon Management-Strategie, 02/2024 (CMS) - Eckpunktepapier Langfriststrategie Negative-emissionen, 02/2024 (LNe) | <ul style="list-style-type: none"> - Änderung Kohlendioxid-Speicherungs-gesetz (KSpG) zum Kohlendioxid-Speicherungs- und -Transportgesetz, 02/2024 (KSpTG) - Industrial Carbon Management Strategy (ICMS) der EU, 02/2024 - Folgenabschätzung (Impact Assessment) in Vorbereitung der Festlegung für das EU-Ziel 2040 der Europäischen Kommission, 02/2024 |
|---|---|

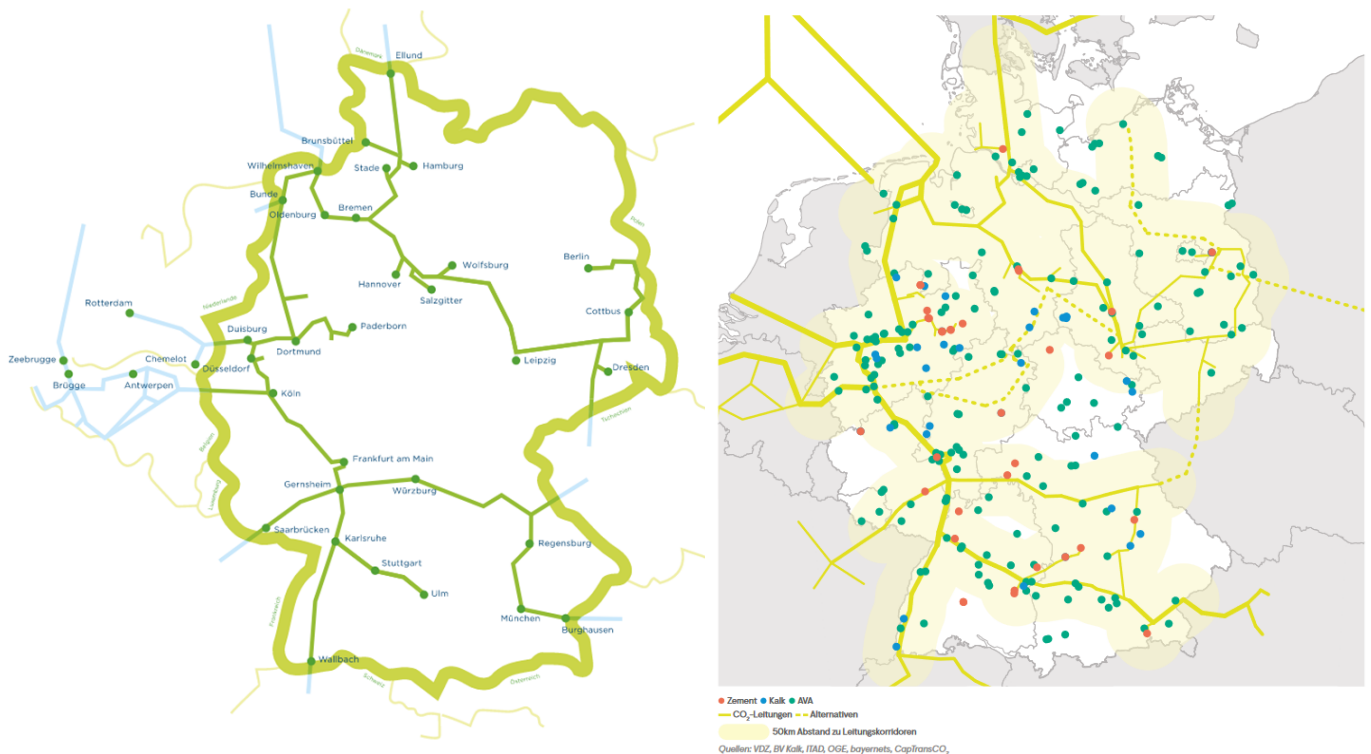


Abbildung 58 Aktuelle Vorschläge für ein CO₂-Netz in Deutschland
links CO₂-Netz OGE / rechts CO₂-Netz vdz
Quelle: [OGE 2024]; [vdz 2024]

Zusätzlich hat OGE (Open Grid Europe) als Fernleitungsnetzbetreiber, der u. a. im Bereich des CO₂-Transports aktiv ist, ein indikatives Fernleitungsnetz für Deutschland (Abbildung 58, links) mit folgenden Eckpunkten vorgestellt:

- Bis Anfang der 2030er Jahre sollen große Industriestandorte an ein bundesweites CO₂-Netz angeschlossen werden.
- Überwiegend werden Neubauleitungen für einen flüssigen CO₂-Transport geplant.

- Potenzielle Im- und Exporte von CO₂ werden über Grenzübergangspunkte mitberücksichtigt.
- Das indikative Netz weist eine Netzlänge von rund 1.500 km auf, es sind keine Angaben über Zuleitungen vorhanden.

Daneben hat der Verband der deutschen Zementindustrie (vdz) parallel zur Erarbeitung der CMS eine Studie zum CO₂-Transport vorgelegt (Abbildung 49, rechts). Diese kommuniziert folgende Eckpunkte:

- Es wird eine CO₂-Netzlänge von rund 4.800 km im Jahr 2045 ausgewiesen, mit Investitionsausgaben von 14 Mrd. Euro.
- Es ist kein CO₂-Netz direkt für Thüringen vorgesehen, aber das Zementwerk und die

Kalkwerke im Osten von Thüringen liegen im 50-km-Radius von einer CO₂-Leitung.

- Thüringen ist das einzige Bundesland (abgesehen von Mecklenburg-Vorpommern), für das keine CO₂-Leitung vorgesehen ist.

Die Zementklinker- und Branntkalköfen sowie die Anlagen zur thermischen Abfallbehandlung (TAB) sind gemäß heutigem Wissensstand Bereiche mit schwer vermeidbaren Emissionen, in denen die CO₂-Abscheidung als zentrale THG-Minderungsoption gilt. Tabelle 22 zeigt einen Überblick zu den entsprechenden Standorten in Thüringen, ergänzt durch die jeweils abgeschiedenen CO₂-Mengen im Jahr 2045 im Ziel-2045-Szenario. Zusätzlich wird DACCS/BECCS als Option zur Generierung von Negativemissionen angeführt.

Branche	(Anzahl) Standorte in Thüringen	Abgeschiedenes CO ₂ im Jahr 2045, in MtCO ₂ /a
Zementklinker/Kalk	1. Deuna 2. Wünschendorf 3. Caaschwitz	0,87
TAB-Anlage	4. Erfurt 5. Schwarza 6. Zella-Mehlis	0*
DACCS/BECCS	unbestimmt	1,53
Gesamt	mehr als sechs Standorte mit CO ₂ -Abscheidung	2,4

Tabelle 22 Standorte mit schwer vermeidbaren Emissionen in Thüringen

Quelle: Eigene Darstellung Prognos (2024)

* Im Szenario wird keine CO₂-Abscheidung an den (relativ kleinen) TAB-Anlagen in Thüringen angenommen. Bei einer Abscheidungsquote von 90 % würden insgesamt weitere 0,26 MtCO₂/a dazukommen.

4.5.1 Skizzierung CO₂-Netz in Thüringen

Durch die überregionalen Pläne und die Standorte, die in Thüringen in den Zielszenarien CO₂ abscheiden, ergibt sich eine modellierte Skizze eines CO₂-Transportnetzes (Abbildung 59). Die modellierte CO₂-Netzlänge (gestrichelte Linien) umfasst eine Gesamtlänge von 86 km, wobei dies ausschließlich CO₂-Sammelleitungen sind. Zement- und Kalkstandorte werden über CO₂-Sammelleitungen an ein CO₂-Fernnetz angeschlossen, welches außerhalb von Thüringen aufgebaut

wird (siehe Vorschläge OGE und vdz). TAB-Anlagen werden in dieser Option nicht an ein CO₂-Netz angeschlossen. Dies entspricht beispielsweise der Annahme, dass das hier abgeschiedene CO₂ per Zug abtransportiert wird. Der Verlauf der Zuleitungen ist noch sehr oberflächlich. Es wurde keine regionale/geografische Analyse (Verlauf von Flüssen, Gebirgen, Straßen etc.) der einzelnen Standorte vorgenommen.

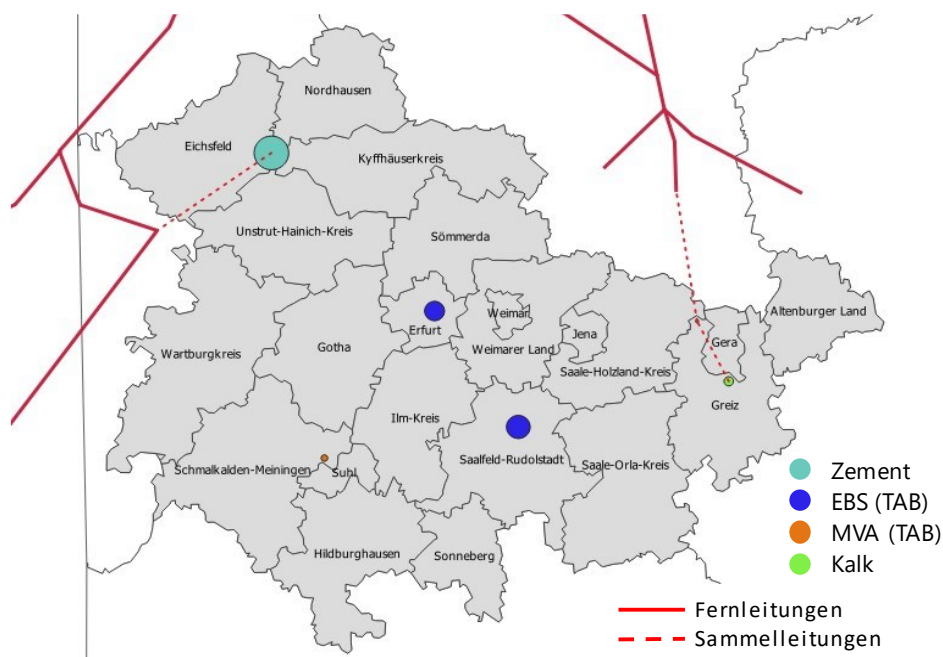


Abbildung 59 CO₂-Netz für Thüringen (Option 1)

EBS/MVA = Ersatzbrennstoff-/Müllverbrennungsanlagen, zählen zu den TAB-Anlagen

Quelle: Eigene Darstellung Prognos (2024)

Zusätzlich wurde eine Option inklusive CO₂-Fernleitungen modelliert (Abbildung 60), die auch dem Transit von CO₂ aus den Nachbarbundesländern dienen können. Hier beläuft sich die modellierte CO₂-Netzlänge auf insgesamt 362 km, aufgeteilt in CO₂-

Fernleitungen mit 255 km und CO₂-Sammelleitungen mit 107 km. So können auch die TAB-Anlagen und möglicherweise weitere Industriestandorte an eine CO₂-Transportinfrastruktur angeschlossen werden.

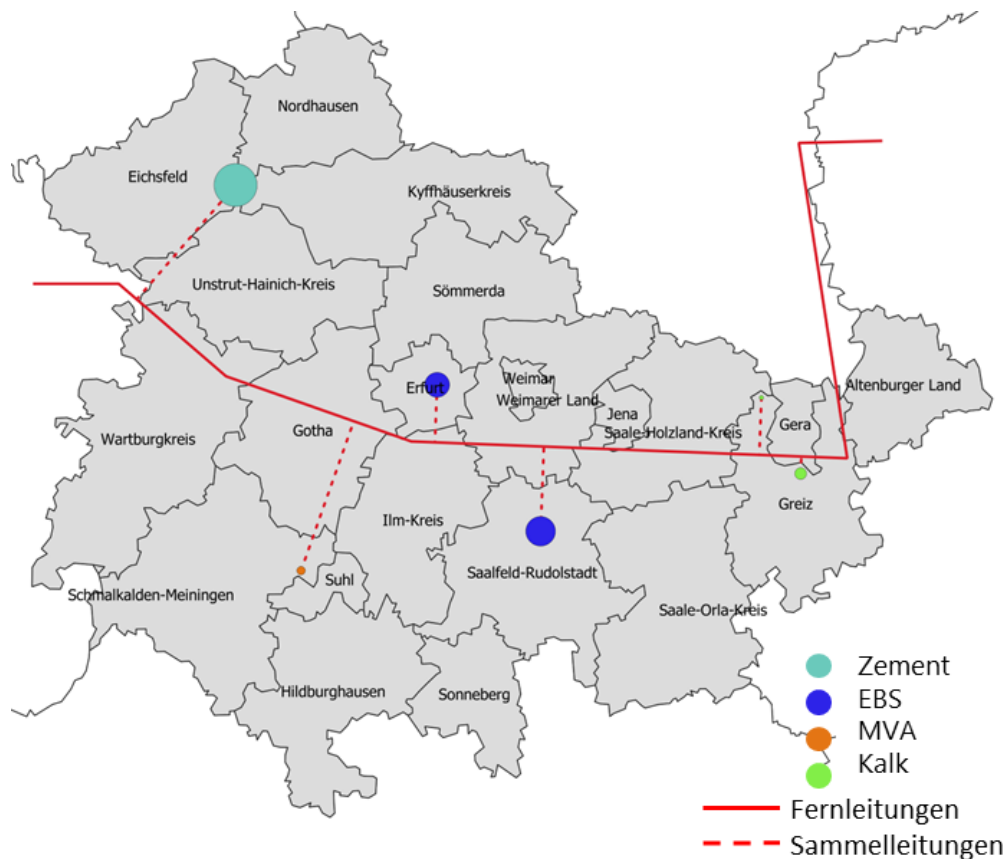


Abbildung 60 CO₂-Netz für Thüringen (Option 2)
Quelle: Eigene Darstellung Prognos (2024)

4.5.2 Kosten für den Aufbau einer CO₂-Infrastruktur in Thüringen

Entsprechend dem Hochlauf der CO₂-Abscheidung erfolgt der Aufbau der CO₂-Transportinfrastruktur in den 2030er-Jahren. In Option 1 (nur Zuleitungen) braucht es dafür jährliche durchschnittliche Investitionen von rund 16 Mio. Euro innerhalb von 13 Jahren. Insgesamt sind für den Aufbau einer CO₂-Infrastruktur in Thüringen Investitionsausgaben in Höhe von knapp 210 Mio. Euro notwendig. Es werden keine Fernleitungen gebaut. Die Standorte der Zement- und

Kalkindustrie werden über Sammelleitungen an Fernleitungen außerhalb Thüringens angeschlossen (Abbildung 61).

Für Option 2 wäre das Netz deutlich ausgeprägter. Demnach würden Investitionsausgaben in Höhe von rund 1 Mrd. Euro notwendig. Rund 70 % davon werden für den Bau der CO₂-Fernleitung benötigt.

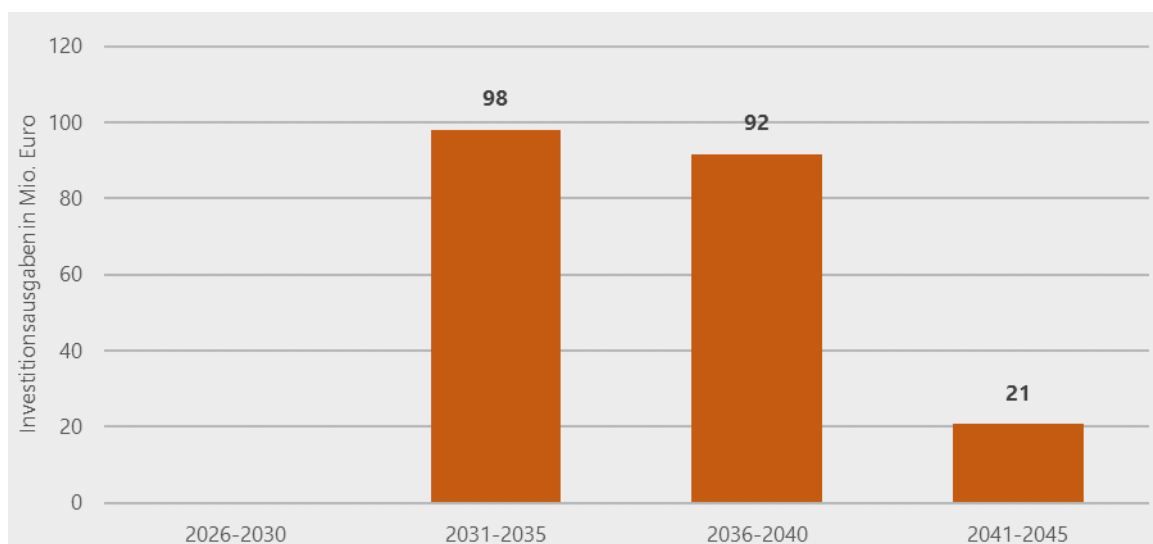


Abbildung 61 Investitionsausgaben CO₂-Netz Thüringen (Option 1)

Quelle: Eigene Darstellung Prognos (2024)

4.6 Wärmenetze und Wärmeerzeugung

4.6.1 Status Quo Fernwärme

Die Fernwärmeerzeugung und der Fernwärmeverbrauch sind den Sektoren Energiewirtschaft, Industrie und Gebäude zugeordnet. Demnach sind Status Quo und Entwicklungsnotwendigkeiten bereits im Szenario antizipiert (Kapitel 3.1 bis 3.3). Der Endenergiebedarf im Gebäudesektor in Thüringen beläuft sich laut dem Länderarbeitskreis Energiebilanzen 2024 auf 26 TWh [LAK 2024]. Davon entfallen etwa 20 TWh auf den Wärmebedarf (vgl. 3.3). Der Fernwärmeverbrauch im Jahr 2023 beträgt 3,4 TWh, was etwa 17 % des Wärmebedarfs des Bundeslandes entspricht (vgl. Kapitel 3.1).

Für die Darstellung des aktuellen Bestands der Wärmenetze und Fernwärme in Thüringen wurde auf die Auswertung der Fernwärme-Dekarbonisierungsstrategien gemäß dem Thüringer Klimagesetz (§ 8) zurückgegriffen [TMUEN 2024]. Dabei werden Angaben zur derzeitigen Erzeugungsstruktur sowie zum Transformationspfad für 38 Wärmenetze gemacht. Es werden auch

Informationen zu den Netzlängen in Trassenkilometern sowie zum Fernwärmeverbrauch je Netz bereitgestellt.

Mit dem Wärmeinfrastrukturmodell (WInfra) der Prognos AG wird die Verteilung des Fernwärmeverbrauchs als Anteil am Gesamtwärmebedarf nach Städten in Thüringen abgebildet (vgl. Abbildung 62).²⁰ Gemäß Angaben der Fernwärme-Dekarbonisierungsstrategien beläuft sich der Fernwärmeverbrauch auf 2,4 TWh [TMUEN 2024]. Somit beträgt die Differenz zum gesamten Fernwärmeverbrauch im Freistaat Thüringen 1 TWh. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Auswertung nur die kommunalen Unternehmen und nicht alle Fernwärmeversorger in Thüringen umfasst. Die Hälfte des dargestellten Fernwärmeverbrauchs entfällt auf die drei größten Städte: Erfurt (660 GWh), Jena (426 GWh) und Gera (241 GWh). Mit abnehmender Einwohnerzahl der Städte nimmt der Anteil des Fernwärmeverbrauchs ab, wobei eine geringere Einwohnerzahl mit einem niedrigeren Wärmebedarf einhergeht.

²⁰ Wärmeinfrastruktur-Modell (WInfra): Dabei handelt es sich um ein bottom-up-Modell zur räumlichen Analyse der Wärmebedarfe sowie zur Identifizierung und Einbindung erneuerbarer Wärmepotenziale. Es wird genutzt für die Bestimmung der Fernwärmepotenziale in Deutschland und der

Durchführung räumlicher Analysen zur Abdeckung lokaler Fernwärmebedarfe anhand lokal vorhandener Potenziale an erneuerbarer Wärmepotenziale.

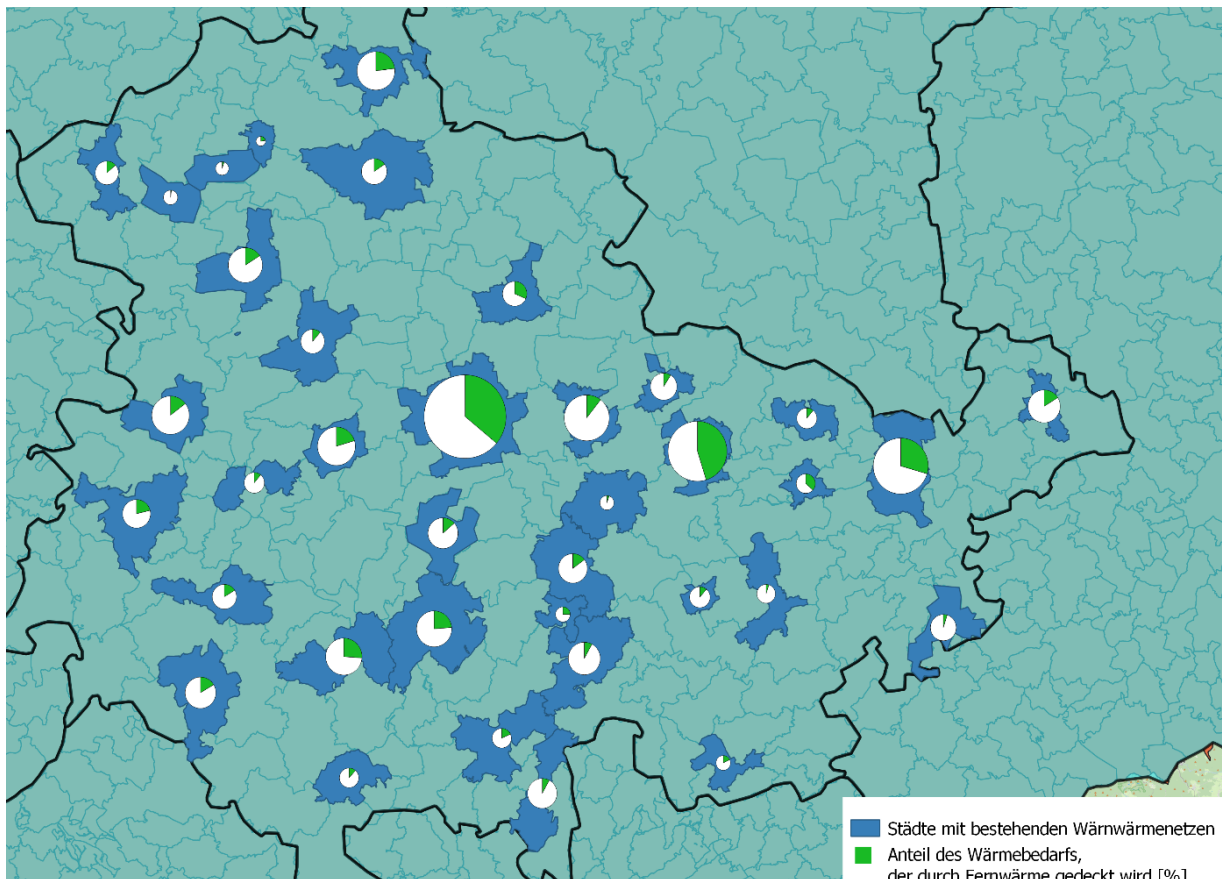


Abbildung 62 Verteilung des Fernwärmeverbrauchs als Anteil am Gesamtwärmebedarf nach Städten in Thüringen

Quelle: Eigene Darstellung Prognos mit dem Wärmeinfrastruktur-Modell auf Basis der Auswertung der Fernwärme-Dekarbonisierungsstrategien gemäß dem Thüringer Klimagesetz (§ 8) [TMUEN 2024]

Die Gesamtlänge der Fernwärmetrassen beträgt laut den Angaben der Fernwärme-Dekarbonisierungsstrategien 986 km. Etwa die Hälfte dieser Trassenlänge befindet sich in den drei größten Städten Thüringens: Erfurt (243 km), Jena (119 km) und Gera (90 km). Etwa die Hälfte der Fernwärmenetze hat eine Trassenlänge zwischen 10 bis 40 km, was zu einer Gesamtrassenlänge von 340 km beiträgt. 40 % der Netze haben eine Trassenlänge von weniger als 10 km, was einer Gesamtrassenlänge von 67 km entspricht. Somit sind 90 % der Fernwärmenetze für lediglich 40 % der

Gesamtrassenlänge in Thüringen (406 km) verantwortlich, die restlichen 10 % der Fernwärmenetze für 60 % (580 km) der Trassenlänge in Thüringen.

Abbildung 63 zeigt die Trassenlänge der Fernwärmenetze nach Städten in Thüringen. Der durchschnittliche Fernwärmeverbrauch pro Trassenkilometer beträgt für alle Fernwärmenetze in Thüringen 2.400 MWh je Trassenkilometer.



Abbildung 63 Darstellung der Trassenlänge je Fernwärmenetz in Thüringen in km

Quelle: Eigene Darstellung Prognos mit dem Wärmeinfrastruktur-Modell auf Basis der Auswertung der Fernwärme-Dekarbonisierungsstrategien gemäß dem Thüringer Klimagesetz (§ 8) [TMUEN 2024]

4.6.2 Entwicklung der Fernwärmeerzeugung

Zur Bestimmung der erforderlichen Investitionen zur Erreichung des Ziels der Treibhausgasneutralität in Thüringen bis zum Jahr 2045 wird die Entwicklung der Fernwärmeerzeugungsstruktur im Zielszenario berücksichtigt (vgl. Teilkapitel 3.1.2). Daraus wird der Nettozubau der Anlagen auf Basis der Erzeugungsstruktur abgeleitet. Abbildung 64 visualisiert die Entwicklung der Bruttofernwärmeerzeugung im Zielszenario in Thüringen. Die Fernwärmeerzeugung verzeichnet bis 2045 einen Anstieg um 11 % auf 4,6 TWh.

Bis zum Jahr 2030 bleibt Erdgas der dominierende Energieträger in der Erzeugung. Es kommt zu einem kontinuierlichen Anstieg von Wärmepumpen und Wasserstoff als zentrale Wärmeerzeuger, die im Zieljahr eine bedeutende Rolle spielen werden. Im Jahr 2045 wird im Zielszenario 2045 kein Erdgas mehr zur Wärmeerzeugung genutzt. Stattdessen dominieren Wärmepumpen und Wasserstoff mit einem Anteil von 80 %.

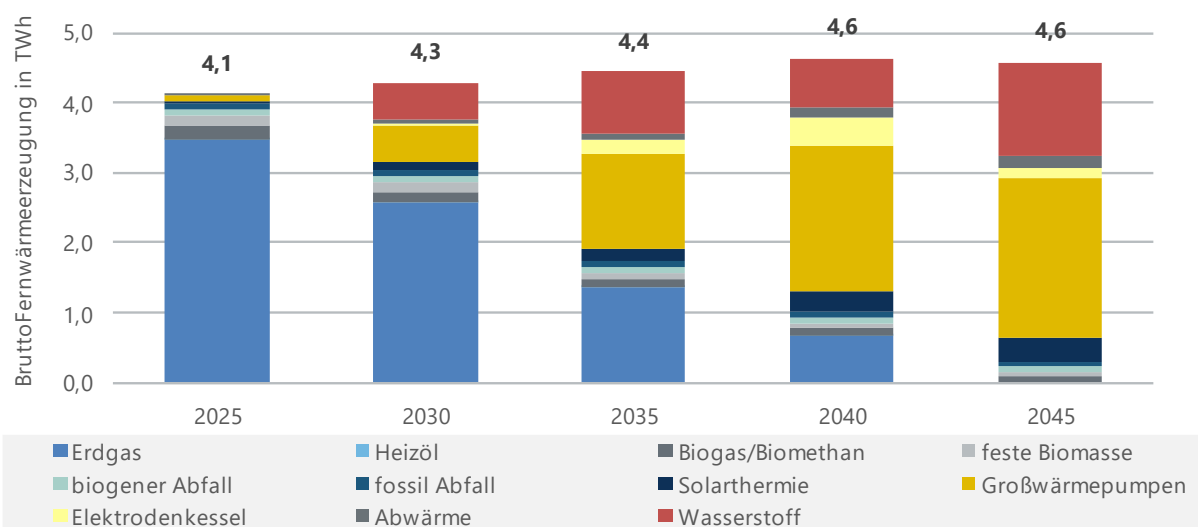


Abbildung 64 Entwicklung der Bruttofernwärmeerzeugung im Zielszenario in Thüringen

Quelle: Darstellung Prognos auf Basis Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a]

Abbildung 65 veranschaulicht den durchschnittlichen Nettozubau der Erzeugung nach Anlagen im Zielszenario in Thüringen, abgeleitet aus der Erzeugungsstruktur. Bis 2040 steigt die Erzeugung durch Großwärmepumpen jährlich um durchschnittlich 100 bis 150 GWh, ab 2040 geht das jährliche Wachstum auf etwa 50 GWh zurück. Die Nutzung von Wasserstoff in der Fernwärme steigt bereits vor 2030 stark an,

durchschnittlich um 100 GWh pro Jahr. Die Wärmezeugung aus Elektrodenkesseln nimmt zwischen 2030 und 2040 jährlich um durchschnittlich 40 GWh zu. Solarthermie hingegen verzeichnet bis 2045 einen nahezu konstanten Anstieg von 10 bis 20 GWh pro Jahr. Der Nettozubau der Anlagenleistung bis 2045 beläuft sich auf etwa 2,5 GW.

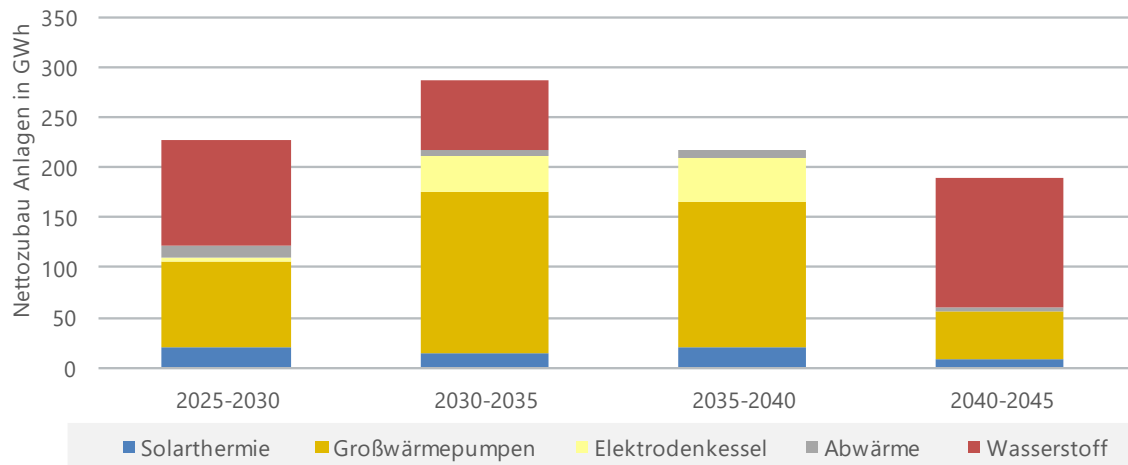


Abbildung 65 Durchschnittlicher Nettozubau der Erzeugung nach Anlagen im Zielszenario 2045 in Thüringen

Quelle: Darstellung Prognos auf Basis Berechnungen IE Leipzig auf Grundlage von [LAK 2023], [TLS 2024a]

4.6.3 Entwicklung des Netzzubaus

Die Erweiterung der Wärmenetze durch Zubau wird durch einen erhöhten Fernwärmeverbrauch im Zielszenario sowie die erwartete Effizienzsteigerung auf der Endverbraucherseite erforderlich. Gemäß dem Zielszenario wird die Bruttofernwärmeerzeugung zwischen 2025 und 2045 um insgesamt etwa 500 GWh steigen, wobei bis 2030 etwa 170 GWh und ab 2030 bis 2040 etwa 340 GWh erreicht werden. Der erforderliche Zubau an Trassenlänge der Wärmenetze wurde anhand spezifischer Kenngrößen zur Zubaulänge in

Kilometern pro zugebaute GWh Bruttofernwärmeerzeugung bestimmt.²¹ Demnach beträgt der Bedarf an zusätzlichen Trassen bis 2040 etwa 430 km. Dies entspricht ungefähr 45 % der aktuellen Trassenlänge der Wärmenetze.²² Da der Wärmenetzausbau und der Anschluss neuer Gebäude an die Wärmenetze zeitlich voneinander entkoppelt sind, werden die jährlichen Zubauraten über den Betrachtungszeitraum verteilt. Sie liegen bei 29 km pro Jahr.

4.6.4 Notwendige Investitionen

Dieser Abschnitt erläutert die erforderlichen Investitionen zur Umsetzung des Zielszenarios im Bereich der Wärmenetze und Fernwärmeerzeugung. Die

Berechnung der Investitionskosten basiert auf der Entwicklung der Fernwärmeerzeugungsstruktur (vgl. Kapitel 4.6.2) sowie der Entwicklung der Trassenlänge

²¹ Auf Basis „Perspektive der Fernwärme, Maßnahmenprogramm 2030 Aus- und Umbau städtischer Fernwärme als Beitrag einer sozial-ökologischen Wärmepolitik“ und AGFW Hauptbericht

²² Bestehende Trassenlänge der Wärmenetze nach Auswertung der Fernwärme-Dekarbonisierungsstrategien laut Thüringer Klimagesetz (§ 8), 06.03.2024

der Wärmenetze (vgl. Kapitel 4.6.3). Als Grundlage für die Investitionsberechnung dienen die spezifischen Investitionskosten aus dem „Leitfaden und Technikkatalog Wärmeplanung“ des BMWK/BMWSB (Entwurfssfassung 04/2024, noch unveröffentlicht) [BMWK 2024b].

Abbildung 66 zeigt die jährlich durchschnittlich notwendigen Investitionen für Wärmenetze und Fernwärmeerzeugung im Zielszenario 2045 in Thüringen. Die durchschnittlichen Investitionen bis 2045 belaufen sich auf rund 73 Mio. Euro pro Jahr. Mehr als die Hälfte dieser Investitionen entfällt auf den Anlagenzubau,

was etwa 42 Mio. Euro pro Jahr ausmacht. Der Anteil der Investitionen in die Wärmenetze liegt im Durchschnitt über alle Jahre bei etwa einem Drittel, was rund 25 Mio. Euro pro Jahr entspricht. Die restlichen Investitionen entfallen auf Wärmespeicher und Anschlussleitungen zur Einbindung der Anlagen in die Wärmenetze. Insgesamt belaufen sich die gesamten Investitionskosten bis 2045 auf 1,45 Mrd. Euro. Ein Fünftel dieser Kosten fällt bis 2030 an. Der kostenintensivste Zeitraum liegt zwischen 2035 und 2040, in dem über 600 Mio. Euro investiert werden, was 40 % der Gesamtinvestitionskosten entspricht.

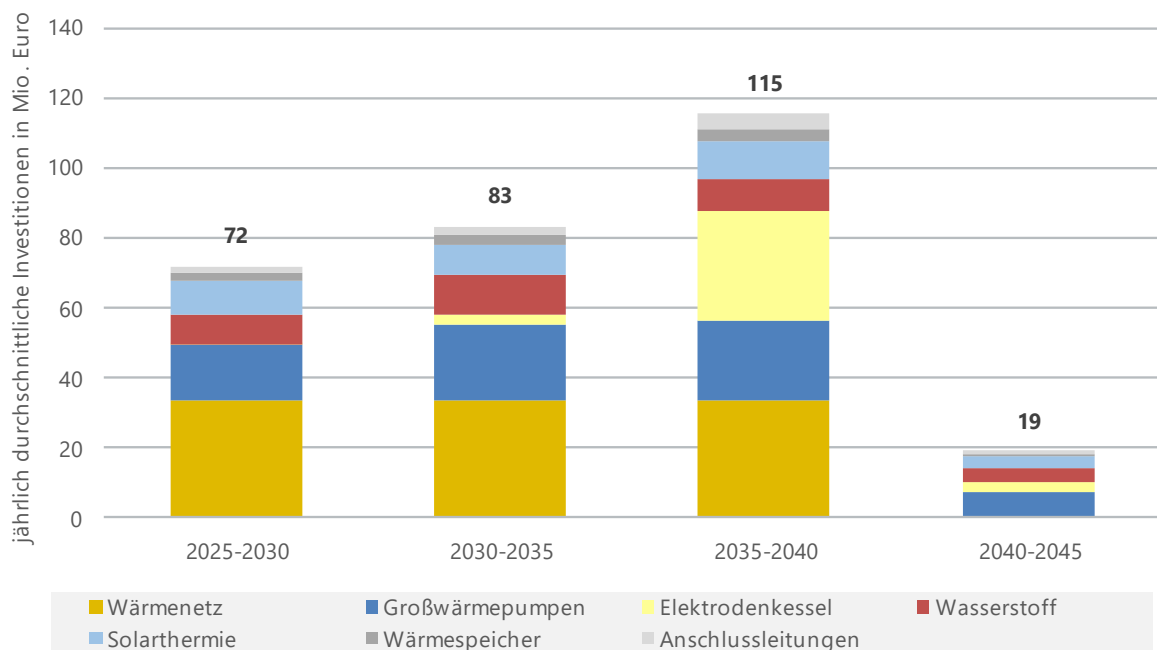


Abbildung 66 Mittlere jährliche Investitionen für Wärmenetze und Fernwärmeerzeugung im Zielszenario 2045 in Thüringen

Quelle: Eigene Berechnung Prognos auf Basis Berechnungen IE Leipzig, und „Leitfaden und Technikkatalog Wärmeplanung“ des BMWK/BMWSB (Entwurfssfassung 04/2024, noch unveröffentlicht)

4.7 Weitere öffentliche Infrastrukturen

Insgesamt werden in dieser Studie Bereiche der Energieversorgung sowie öffentlicher Infrastrukturen betrachtet, die wesentlich für das Energiesystem und Klimaneutralität sind. In diesem Sinn wird hier noch

überblicksartig auf die Ladeinfrastruktur im Straßenverkehr sowie den Ausbau des Schienenverkehrs eingegangen.

4.7.1 Ladeinfrastruktur im Straßenverkehr

In den nächsten Jahren ist mit einem deutlichen Zuwachs an Elektrofahrzeugen in Thüringen zu rechnen. Im Freistaat waren zum 01.01.2023 rund 1,2 Mio. Personenwagen zugelassen. Hierunter befanden sich ca. 14.000 batterieelektrische Fahrzeuge und 13.000 Plug-in Hybride. Der Anteil der elektrischen Fahrleistung wurde auf dieser Basis für 2023 auf rund zwei Prozent geschätzt. Bis 2045 steigt dieser Anteil im Szenario 2045 auf 93 % an. Da die Fahrleistung insgesamt zurückgeht, ist bis 2045 mit rund 830.000 batterieelektrischen Personenwagen zu rechnen. Unter der Annahme, dass für 10 Elektrofahrzeuge ca. eine öffentliche Ladestation errichtet werden muss, ergibt sich ein Bedarf von ca. 83 Tsd. Ladestationen bis 2045. Angemerkt sei, dass auch weniger Ladestationen pro Elektrofahrzeug realisiert werden können. Dies hängt stark davon ab, wie viele Schnellladestationen sich unter den Ladestationen befinden.

Bei einem höheren Anteil an Schnellladestationen ist eine geringere Anzahl an Ladestationen erforderlich.

Diese sind jedoch deutlich kostenintensiver, weshalb bei mehr Schnellladern nicht mit eindeutig mit sinkenden Investitionen zu rechnen wäre.

Die Investitionen, die für das Laden von LKW und Sattelzugmaschinen erforderlich ist, sind hier nicht aufgeführt. Für diese Fahrzeuge wird angenommen, dass diese überwiegend in Depots und Logistikzentren geladen werden.

	2030	2045
Anzahl Elektro Pkw im Zielszenario 2045	200 Tsd.	830 Tsd.
Dafür notwendige öffentliche Ladestationen	20 Tsd.	83 Tsd.
Investitionen für diese Ladestationen	600 Mio. Euro	2.400 Mio. Euro

Tabelle 23 Handlungsnotwendigkeiten für batterieelektrische Pkw in Thüringen
Quelle: eigene Berechnung Prognos AG

4.7.2 Ausbau des Schienenverkehrs

Das Schienennetz in Thüringen umfasst aktuell (Stand Januar 2023) rund 1.600 km. Hiervon wird der überwiegende Teil durch die DB Netz AG betrieben (rund 1.370 km). Thüringen weist im Bundesvergleich ein sehr engmaschiges Schienennetz auf. Die

Elektrifizierung des Schienennetzes liegt jedoch mit einem Anteil von nur rund einem Drittel bzw. 527 km deutlich unter dem Bundesdurchschnitt von mehr als 60 %. Auch der Anteil an mehrgleisigen Strecken liegt mit nur 35 % unter dem Bundesschnitt von 56 %.

Im Zielszenario 2045 wird ein Anstieg der bestellten Zugkilometer im SPNV angenommen (vgl. Teilkapitel 3.4.2). Dieser Zuwachs setzt auch wesentliche Investitionen in das Schienennetz voraus.

Basis für die nachfolgenden Berechnungen bildet der Masterplan des Ministeriums für Landwirtschaft und Infrastruktur zu den „Perspektiven für die Entwicklung der Eisenbahn-Schieneninfrastruktur in Thüringen“ [TMIL 2023a]. Darin enthalten ist der Ausbau zur Elektrifizierung von 125 Streckenkilometern bis 2036. Demnach wird sich der Anteil der elektrifizierten Schienenstrecke von 33 % auf 45 % erhöhen. Die notwendigen Investitionen für diesen Infrastrukturausbau sind jedoch im Masterplan nicht beziffert. Zur Ermittlung realistischer Größenordnungen kann auf Daten der DB Netz AG zurückgegriffen werden. Diese beziffert die notwendigen Investitionen zur Elektrifizierung

mit 1,4 bis 3,6 Mio. Euro pro Streckenkilometer. Hieraus lässt sich auf eine Größenordnung zwischen 175 und 450 Mio. Euro schließen, die bis 2036 zur Elektrifizierung der angegebenen Strecken notwendig sind.

Im Masterplan ist ebenfalls der Ausbau einzelner Streckenabschnitte auf mehrgleisige Strecken enthalten. Bis 2030 sollen 9 Kilometer zweigleisig ausgebaut werden. Hierfür sind Investitionskosten in Höhe von 132 Mio. Euro vorgesehen.

Somit sind bis zum Jahr 2036 Investitionskosten in Höhe von rund 300 Mio. bis 600 Mio. Euro in die Schieneninfrastruktur erforderlich, weitere Investitionen werden nach 2036 erforderlich, um über die bestehenden Planungen hinaus mehr Bahnverkehr durchführen zu können.

5 Maßnahmenvorschläge

Im folgenden Kapitel werden Maßnahmen in den einzelnen Sektoren sowie übergreifende Maßnahmen ausgewählt, bewertet und priorisiert, mit denen der Freistaat Thüringen seinen Beitrag zum Erreichen der THG-Neutralität leisten kann. Notwendig für das Erreichen der Minderungsziele ist darüber hinaus das Zusammenwirken verschiedener politischer Handlungsebenen von der EU bis hin zur Einwohnerschaft.

5.1 Einleitung

5.1.1 Handlungsrahmen und Rolle der Maßnahmen

Über alle Sektoren hinweg soll an dieser Stelle einleitend verdeutlicht werden, dass der Freistaat Thüringen als Bundesland nur einen begrenzten Einfluss auf die konkrete Entwicklung der THG-Emissionen hat. Klimaschutz ist eine übergreifende Aufgabe, die durch das Zusammenwirken aller politischen Ebenen gleichermaßen (weltweit, europaweit, bundesweit, landesweit,

kommunal) sowie durch einzelne Akteure (z. B. Privathaushalte und Unternehmen) bewirkt werden muss. Somit ergeben sich sechs bis sieben Ebenen, die zielgerichtet und untereinander abgestimmt agieren müssen (vgl. Abbildung 67).

Weltweite Ebene (UNO)	
Europäische Ebene (EU-Kommission, Rat und Parlament)	
Bundesebene (Parlament, Regierung, Bundesrat)	
Landesebene	
Kommunale Ebene (Landkreise / Städte und Gemeinden)	
Entscheidungen der Unternehmen (Akteure der Wirtschaft)	Entscheidungen der einzelnen Bürgerinnen und Bürger (Verhalten)

Abbildung 67 Handlungsebenen für öffentlichen und privaten Klimaschutz

Quelle: Darstellung IE Leipzig

Die Rolle eines Bundeslandes wie dem Freistaat Thüringen befindet sich in einer zentralen Position und damit im Spannungsfeld zwischen den internationalen und nationalen Ebenen einerseits sowie der kommunalen und privaten Ebene andererseits.

Wesentliche Einflussgrößen auf den Klimaschutz stellen das Übereinkommen von Paris, das europäische und das deutsche Klimaschutzgesetz sowie nachgesetzliche Verordnungen und bereits etablierte Instrumente (z. B. der europäische Emissionshandel, die

Festlegung von Emissionsstandards für die Autoindustrie auf europäischer Ebene oder das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auf nationaler Ebene) dar. Diese Regelungen wirken sich auch direkt auf mehrere untere Ebenen aus, etwa auf Unternehmen, die am Emissionshandel teilnehmen, oder auf Kommunen, denen es die entsprechende Bundesförderung erleichtert, Energie- und Klimaschutzkonzepte zu erstellen.

Die Rolle der Bundesländer beim Klimaschutz ist dadurch bereits erkennbar begrenzt. Wesentlich sind diejenigen Einflüsse, die im rechtlichen Gestaltungsspielraum der Bundesländer liegen, etwa die Raumordnung mit der Ausweisung von Flächen zur Windenergienutzung oder die Bestellung des Schienenpersonen-nahverkehrs (SPNV) mit Regionalisierungsmitteln, die den SPNV-Aufgabenträgern bereitgestellt werden. Bei der Gestaltung von Förderprogrammen kann der Freistaat am effektivsten wirksam werden, wenn er unter Berücksichtigung der Förderung durch den Bund entweder aktiv für deren Nutzung durch im Land ansässige Akteure wirbt oder eigene Förderprogramme so formuliert, dass die geförderten Tatbestände komplementär zu denen des Bundes beschrieben werden.

Die Ziele der Bundesrepublik bringen so einen Handlungsrahmen für die Bundesländer mit sich, da der Freistaat Thüringen als Bundesland keinen grundsätzlich anderen Pfad beschreiten kann als der Bund. Für die Wirksamkeit von Maßnahmen ist es wichtig, dass diese dazu führen, dass möglichst alle in Abbildung 67 dargestellten Ebenen in die gleiche Richtung wirken. Im Hinblick auf die übergeordneten Ebenen geschieht dies durch eine Harmonisierung der Ziele und Abstimmung zu den Instrumenten (z. B. über den Bundesrat), im Hinblick auf die nachgeordneten Ebenen ist es notwendig, dass zielführende Steuerungsinstrumente

gefunden werden, um klimaschutzfördernde Handlungen von Kommunen, Unternehmen und Privathaushalten zu beeinflussen.

Weiterhin müssen alle Handlungsmöglichkeiten des Landes vor dem Hintergrund der Zeitachse für die Umsetzung gesehen werden. Die Existenz eines Gesetzes oder einer Richtlinie allein bestimmt zwar das zukünftige Handeln von Verwaltung, Unternehmen, Kommunen oder Privathaushalten, garantiert aber noch keine schnelle Umsetzung. Am Beispiel der Ausweisung von Flächen für die Windenergienutzung lässt sich erkennen, wie lange häufig der Weg vom Beginn des Planungsverfahrens bis zur Aufnahme der Stromerzeugung sein kann.

Die Umsetzung von Maßnahmen zur Erreichung der Treibhausgasneutralität hängt zudem von einer Vielzahl von Rahmenbedingungen ab, die den Fortschritt beschleunigen oder verzögern können. Ein wesentlicher Faktor ist die demographische Entwicklung. Die alternde Bevölkerung in Thüringen kann zu einem Rückgang der Erwerbsbevölkerung führen, was die finanziellen und personellen Ressourcen für Klimaschutzmaßnahmen einschränken kann. Gleichzeitig bietet die Fokussierung auf nachhaltige Lebensstile Potenziale zur Reduktion von Treibhausgasemissionen. Auch die Haushaltslage Thüringens spielt eine entscheidende Rolle. Ein ausgeglichener Haushalt mit ausreichenden finanziellen Mitteln ermöglicht Anreizinstrumente für Investitionen in erneuerbare Energien, Infrastrukturprojekte und innovative Technologien. Finanzielle Engpässe hingegen können notwendige Investitionen verzögern oder verhindern und damit Fortschritte bei der Treibhausgasminderung behindern. Ein weiterer wichtiger Faktor ist der technologische Fortschritt. Innovationen in Bereichen wie erneuerbare Energien, Energiespeicherung und

energieeffiziente Technologien können die Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen erheblich beschleunigen. Technologischer Wandel schafft nicht nur neue Lösungen, sondern kann auch bestehende Systeme effizienter und kostengünstiger machen. Die Digitalisierung hat das Potenzial, sowohl als Beschleuniger als auch als Hemmnis zu wirken. Einerseits ermöglicht sie durch intelligente Netze, Automatisierung und datengestützte Entscheidungsfindung eine effizientere Nutzung von Ressourcen und ein besseres Emissionsmanagement. Andererseits erfordert der Aufbau der notwendigen digitalen Infrastruktur erhebliche Investitionen und kann,

wenn er nicht sorgfältig geplant und umgesetzt wird, zu Verzögerungen führen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Maßnahmen, die der Freistaat Thüringen ergreifen kann, kein Zielszenario direkt herbeiführen können, sondern nur einen Beitrag des Freistaates Thüringen zum Erreichen der Ziele darstellen.

Es besteht daher kein Automatismus, dass das Umsetzen aller Maßnahmen automatisch zur THG-Neutralität führt. Ohne entsprechende Maßnahmen wird die THG-Neutralität aber nicht erreicht.

5.1.2 Kategorisierung und Bewertungsverfahren für die nachfolgenden Maßnahmen

In den nachfolgenden sektorbezogenen Teilkapiteln wurden jeweils zahlreiche Maßnahmen zusammengestellt, darunter auch solche Maßnahmen aus der IEKS [TMUEN 2019], die bisher noch nicht vollständig umgesetzt waren, aber weiterhin sinnvoll erscheinen.

Die erste Kategorisierung erfolgte dabei nach ihrem Wirkungsbereich: Alle sektorspezifischen Maßnahmen wurden dem entsprechenden Sektor des KSG zugeordnet, die Gliederung nach diesen Sektoren spiegelt sich in den nachfolgenden Kapiteln 5.2 bis 5.8 wider. Die sektorübergreifenden Maßnahmen wurden in Kapitel 5.9 zusammengefasst.

Innerhalb eines jeden Kapitels werden zunächst die Handlungsmöglichkeiten des Landes in diesem Sektor beschrieben.

Im zweiten Unterpunkt werden die Maßnahmenvorschläge vorgestellt. Bei der Auswahl der Maßnahmenvorschläge wurden grundsätzlich solche Maßnahmen ausgenommen, die bereits in vollem Umfang im Referenzszenario wirksam werden, d. h. bereits

beschlossene Maßnahmen, deren Umsetzung nach festen Regeln erfolgt, wie z. B. die Vorgabe der Bundesregierung, dass der Freistaat Thüringen 2,2 % seiner Landesfläche zur Nutzung durch Windenergieanlagen auszuweisen hat. Ebenfalls ausgenommen wurden Maßnahmen, auf die der Freistaat Thüringen (fast) keinen Einfluss hat, z. B. Rechtssetzungen, die in die alleinige Zuständigkeit des Bundes fallen, oder der EU-Emissionshandel. Trotz dieser Einschränkungen konnten 100 Maßnahmen identifiziert werden, auf die der Freistaat Thüringen einen nennenswerten Einfluss hat.

Im dritten Unterpunkt werden alle aufgelisteten Maßnahmen auf ihre Relevanz hin überprüft. Dies erfolgt durch eine Punktevergabe durch die Auftragnehmer, weil für die Mehrzahl der Maßnahmenvorschläge die messbaren Effekte nicht seriös prognostiziert werden können. Diese Bewertung erfolgte

- einerseits nach der Stärke des Einflusses, den der Freistaat Thüringen in diesem Fall hat (so ist etwa der Einfluss auf den landeseigenen Fuhrpark durch dessen Beschaffung stärker

als der Einfluss auf Immobilieneigentümer durch eine Beratung zu Energiesparmaßnahmen, da nicht vorhergesagt werden kann, ob und in welchem Umfang die Beratungsinhalte von den Immobilieneigentümern umgesetzt werden),

- und andererseits nach der erwarteten THG-Minderungswirkung. Dabei wurde unterschieden zwischen Maßnahmen, aus denen sich direkt oder indirekt rechnerisch eine THG-Minderung ableiten lässt und solchen Maßnahmen, die erst die Voraussetzungen schaffen, damit mengenmäßig wirksame Maßnahmen umgesetzt werden können (z. B. der Bau von Wasserstoff-Pipelines). Im ersteren Fall wurden das Gewicht der betroffenen Emissionen (viele oder große Emittenten) sowie die spezifische Minderungswirkung gemeinsam betrachtet, im letzteren Fall wurde eingeschätzt, ob sich nach Schaffung dieser Voraussetzung größere oder kleinere Minderungswirkungen erreichen lassen. Bei Sektoren, die insgesamt nur wenig zu den aktuellen THG-Emissionen Thüringens beitragen, wurden auch Maßnahmen, die im Rahmen dieses Sektors ein eher starkes Gewicht haben, weniger Punkte

vergeben, um die Punkte sektorübergreifend vergleichbar zu machen.

- In Einzelfällen können weitere Argumente für oder gegen eine Priorisierung der Maßnahmen sprechen – wenn etwa ein Trend bereits in der erwünschten Richtung besteht, dann ist die Dringlichkeit für das Handeln des Freistaats Thüringen weniger hoch (Beispiel: Rückgang des Fleischkonsums).

Auf Grundlage dieser Bewertungen wurden letztlich 28 Maßnahmen priorisiert, für die dann eine genauere Betrachtung ihrer Effekte vorgenommen wurde. Dies erfolgt für jede priorisierte Maßnahme jeweils in einem Maßnahmenblatt im Berichtsanhang.

Die Priorisierung bedeutet nicht, dass von der Umsetzung nicht-priorisierter Maßnahmen abgesehen werden sollte. Jede Maßnahme, die direkt oder indirekt zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen beiträgt, ist grundsätzlich sinnvoll. Weitere oder alternative Maßnahmen können sich aus politischen Prioritäten, regionalen Schwerpunktsetzungen oder Entwicklungen im Zeitverlauf ergeben.

5.2 Sektor Energiewirtschaft

5.2.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes

Der Freistaat Thüringen hat die Möglichkeit, den Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsektor erheblich zu fördern. Dies kann beispielsweise durch landeseigene Förderprogramme für verschiedene Energieträger, die Ausweisung geeigneter Flächen, zügige Planungs- und Genehmigungsverfahren sowie Maßnahmen zur Steigerung der Akzeptanz geschehen. Die übergeordnete Rahmensetzung ergibt sich jedoch auf Bundesebene beispielsweise durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Dieses regelt u. a. die bevorzugte Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen ins Stromnetz und bietet Investitionsanreize wie Einspeisevergütungen und Marktpremien für die Erzeugung von erneuerbaren Energien.

Der Einfluss des Landes auf den Abbau der fossilen Energieerzeugung ist eher gering, da hierbei insbesondere der europäische Emissionshandel ausschlaggebend ist. Darüber hinaus werden relevante Entscheidungen oft auch auf Bundesebene gelöst (z.B. Kohleverstromungsbeendigungsgesetz).

Wie im Stromsektor kann der Freistaat Thüringen im Wärmesektor vorwiegend indirekt und unterstützend tätig werden, da die Umstrukturierung der Wärmeversorgung überwiegend lokal organisiert wird. Ein besonders relevanter Punkt hierbei ist die Unterstützung der Kommunen innerhalb des Landes Thüringen bei der Erstellung kommunaler Wärmepläne.

5.2.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge

Die Maßnahmen im Sektor Energiewirtschaft verfolgen in erster Linie die Strategie eines umfassenden Energieträgerwechsels. Von zentraler Bedeutung ist hierbei der Ausbau erneuerbare Energien zur Stromerzeugung. Thüringen kann Planungs- und Genehmigungsprozesse ggf. durch mehr Personal oder durch Digitalisierung von Prozessen beschleunigen, jedoch sind vielfach Aspekte der Genehmigung auf Bundesebene geregelt. Die Erreichung der Ausbauziele erfordert daher Maßnahmen, wie Subventionen, Förderprogramme und regulatorischer Rahmenbedingungen, die auf Ebene der Europäischen Union oder des Bundes festgelegt werden.

Im Kontext des Energieträgerwechsels bei der Wärmeversorgung spielen Maßnahmen zum Ausbau der erneuerbaren Wärmeversorgung eine zentrale Rolle.

Hier könnten Schwierigkeiten bei der Finanzierung und Umsetzung kommunaler Wärmepläne auftreten, zudem können technische Herausforderungen bei der Nutzung erneuerbarer Wärmequellen ebenfalls ein Hindernis darstellen.

Die Einführung einer Wasserstoffwirtschaft kann langfristig zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen beitragen. Garantien für Abnahmemengen und Investitionszuschüsse sind wichtige Schritte zur Förderung von Wasserstoff.

Gleichzeitig ist der Ausbau von Speichern von großer Relevanz, um erneuerbare Energien effizienter zu nutzen und die Netzstabilität zu verbessern. Die Installation von Stromspeichern sollte jedoch nur erfolgen, wenn die Rahmenbedingungen so gestaltet sind, dass rentable Geschäftskonzepte möglich sind. Nur so kann

sichergestellt werden, dass die Potenziale der erneuerbaren Energien optimal genutzt werden und die Energieinfrastruktur für die Zukunft gestärkt wird.

Nachfolgend werden die Maßnahmenvorschläge für den Sektor Energiewirtschaft benannt. Die Gliederung erfolgt nach den Teilbereichen Strom, Wasserstoff, Wärme und übergeordnete Maßnahmen.

Strom

E1) Verpachtung landeseigener und kommunaler Flächen zur Nutzung erneuerbarer Energien, systematische Flächenerfassung und anschließende Vermarktung

E2) Ausbau von Speicherkapazitäten im energiewirtschaftlichen Maßstab

E3) Gerechte Verteilung der Netzentgelte auf Verteilnetzebene, der Einfluss des Landes ist hier auf eine Bundesratsinitiative begrenzt

Wasserstoff

E4) Weiterentwicklung der Wasserstoffstrategie: Strategie und Förderprogramm für den Einsatz von

Wasserstoff (Schaffung tragfähiger Geschäftsmodelle für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft)

Wärme

E5) Risikoabsicherung bei der verpflichtenden Abwärmenutzung

E6) Informations- und Beratungsangebote, die Unternehmen, Kommunen und Bürger bei der Umsetzung der Wärmewende unterstützen

E7) Förderung der Solarthermienutzung vor Ort, landeseigene Förderprogramme für Solarthermie

Übergeordnet

E8) Zukunftsstrategie Bioenergie (Biogas und feste Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung), regionalisierte Betrachtung der Eckpunkte der nationalen Biomassestrategie

E9) Masterplan Geothermie mit Pilotprojekten

E10) Ausweitung und Förderung von Biomethan im Erdgasnetz, Unterstützung bei der Finanzierung Biogasaufbereitungsanlagen und Biomethanleitungen

5.2.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge

Für die Bewertung der Maßnahmenvorschläge wurde in einem ersten Schritt eine vereinfachte Priorisierung vorgenommen, die sich an den Kriterien der Stärke des Landeseinflusses und der Relevanz für die THG-Minderung (relative Stärke der Minderung und Gewicht der betroffenen Emittenten) orientiert. Tabelle 24 zeigt die Ergebnisse dieser ersten Bewertung. Sofern keine direkte THG-Wirkung absehbar war, die Maßnahme aber eine notwendige Voraussetzung für andere wirksame Maßnahmen darstellt, wurde die Relevanz der

Emissionsminderung betrachtet, für die jeweils die Voraussetzung geschaffen wird.

Die priorisierten Maßnahmen sind in Anhang 1 in Form von Maßnahmenblättern ausführlicher dargestellt und bewertet. Die Ziffern in der Matrix reichen jeweils von 0 (nicht zutreffend bzw. kein Einfluss, keine Relevanz) bis 4 (sehr stark), d. h. Ziffer 1 bedeutet eine geringe, Ziffer 2 eine mäßige und Ziffer 3 eine überdurchschnittliche Stärke.

Nr.	Titel der Maßnahme	Lan- desein- fluss	Relevanz der be- troffenen Emit- ten	Minde- rungs- effekt im Ein- zelfall	Relevanz Minderung, der Vorausset- zung damit ge- schaffen wird	Sonstige Einflüsse	Priorisie- rung
E1	Verpachtung landeseigener und kommunaler Flächen zur Nutzung erneuerbarer Energie	4	0	0	2		nein
E2	Ausbau von Speicherkapazitäten im energiewirtschaftlichen Maßstab	3	0	0	4		ja
E3	Gerechte Verteilung der Netzentgelte auf Verteilnetzebene	1	0	0	2		nein
E4	Strategie und Förderprogramm für den Einsatz von Wasserstoff (Schaffung tragfähiger Geschäftsmodelle für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft)	2	0	0	4		ja
E5	Risikoabsicherung bei der verpflichtenden Abwärmenutzung	4	0	0	3		ja
E6	Informations- und Beratungsangebote, die Unternehmen, Kommunen und Bürger bei der Umsetzung der Wärmewende unterstützen	2	0	0	1		nein
E7	Förderung der Solarthermienutzung vor Ort	1	2	2	0		nein
E8	Zukunftsstrategie Bioenergie (Biogas und feste Biomasse zur Strom- und Wärmeerzeugung)	2	0	0	3		nein
E9	Masterplan Geothermie mit Pilotprojekten	2	0	0	1		ja
E10	Ausweitung und Förderung von Biomethan im Erdgasnetz	1	3	2	0		nein

Tabelle 24 Maßnahmenpriorisierung im Sektor Energiewirtschaft
Quelle: Einschätzung und Darstellung IE Leipzig

Im Ergebnis wurden somit vier Maßnahmen ausgewählt, die im Anhang in Form von Maßnahmensteckbriefen genauer beschrieben werden. Bei diesen fünf Maßnahmen lassen sich THG-Minderungen allerdings

weder berechnen noch konkret abschätzen, weil sie nur die Voraussetzungen schaffen, um deutlichere Emissionsminderungen zu erzielen oder indirekt wirksam werden.

5.3 Sektor Industrie

5.3.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes

Energie- und THG-relevante Entscheidungen und Maßnahmen in der Industrie werden in erster Linie von Industrieunternehmen getroffen bzw. umgesetzt. Diese sind in der Regel privatwirtschaftlich organisiert. Daneben wird der wesentliche regulatorische Rahmen v. a. auf EU- und Bundesebene gesetzt. Als wichtigstes Instrument gilt der europäische Emissionshandel (EU-ETS), da dadurch die größten Emittenten auf Anlagenebene für ihre Emissionen Emissionszertifikate kaufen (müssen). Die ausgegebenen Zertifikate sinken bis 2039 auf null, wodurch die entsprechende THG-Minderung in der EU vorgegeben ist. Zusätzlich gibt es

v. a. auf Bundesebene umfangreiche Förderprogramme für Energieeffizienz und Dekarbonisierung (bspw. EEW, BIK). Da in der Regel Doppelförderungen ausgeschlossen sind, kann das Bundesland v. a. in Förderlücken oder bei lokalen/Bundesland-spezifischen Themen unterstützen. Speziell kleinere und mittelständische Unternehmen können von einer lokalen Anbindung profitieren. Möglich und wichtig sind bspw. auch Angebote zur Information, zum Wissenstransfer und zur Vernetzung.

5.3.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge

Die sektorspezifischen Maßnahmenvorschläge für die Thüringer Industrie umfassen diejenigen der IEKS, die im Industriesektor wirken [IE Leipzig 2018], und werden im Weiteren ergänzt durch eigene Maßnahmenvorschläge aus unterschiedlichen Themenfeldern. Die

Maßnahmen ordnen sich in folgende übergeordnete Strategien ein:

- Abwärme, Energieeffizienz, Erneuerbare
- Dekarbonisierung, Elektrifizierung, Ressourcen
- Beratung, Sonstiges

nicht zuletzt bei der Absicherung des Ausfallrisikos an.

Abwärme, Energieeffizienz, Erneuerbare

11) Steigerung der Nutzung industrieller und gewerblicher Abwärme: Diese IEKS-Maßnahme flankiert und ergänzt das Energieeffizienzgesetz (EnEfG, insbes. § 16 Vermeidung und Verwendung von Abwärme) durch Beratungsangebote der Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur vor allem auch im Kontext der Dekarbonisierung von Industriegebieten. Sie setzt bei Umsetzungsproblemen, einer hohen Wirtschaftlichkeitsanforderungen und

112) Zu-/Ausbau lokaler Wärmespeicher: Dieser Maßnahmenvorschlag soll die vorhergehende IEKS-Maßnahme ergänzen und zur Erhöhung der internen Abwärmenutzung beitragen.

14) Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke: Der Maßnahmenvorschlag soll Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke bei Unternehmen propagieren. Wenige Unternehmen mit ähnlichen Anforderungen schließen sich für einige Jahre

zusammen, um gemeinsame Einsparziele festzulegen und zu erreichen. Die Vorteile solcher Netzwerke sind u. a. fachliche Unterstützung durch qualifizierte Energieberater sowie systematischer und zielführender Austausch der Netzwerk-Unternehmen untereinander. Damit können Maßnahmen zur Energieeffizienz und zum Klimaschutz gezielter umgesetzt und skaliert werden. Bereits zwischen 2009 und 2012 gab es das vom BMU geförderte Programm „Lernende-Energieeffizienz-Netzwerke“ in Deutschland. Die 2014 daraus hervorgegangene „Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz-Netzwerke“ [BMWK 2023a] bündelt weitere Netzwerk-Bestrebungen. Der Maßnahmenvorschlag zielt auf eine Unterstützung/Förderung dieser Initiative seitens des Landes ab.

113) Sanierungs- und Effizienzinitiative für Nichtwohngebäude: Dieser Maßnahmenvorschlag soll Informationen ergänzend zu entsprechenden Förderinstrumenten auf Bundesebene (insbes. EEW) vermitteln und damit eine erhöhte Sanierungsrate von Nichtwohngebäuden erzielen.²³

110) Unterstützung bei der Umstellung von Industriekraftwerken: Werksseitige Kraftwerke (zumeist wärmegeführte Blockheizkraftwerke) müssen in die Transformationsstrategie des Unternehmens eingebunden werden. Neben der Frage nach dem Einsatz erneuerbarer Brennstoffe (Biomasse) anstelle fossiler gilt es, die Stromeigenerzeugung zu hinterfragen, also ob die kombinierte Erzeugung von Strom und Wärme (KWK) oder ausschließlich

Wärmeerzeugung (z. B. Dampfkessel) zielführender ist.

Dekarbonisierung, Elektrifizierung, Ressourcen

12) Dekarbonisierungsbonus: Diese Maßnahme bietet ein niedrigschwelliges Förderangebot, das sich insbesondere auf die kurzfristige Investitionstätigkeit des Thüringer Mittelstands in energieeffiziente, klimaschonende und nachhaltige Betriebsprozesse und Dienstleistungen sowie Beratungs- und Schulungsmaßnahmen zu geplanten Investitionsvorhaben fokussiert.

15) Pilotprojekte zur Dekarbonisierung: Dieser Maßnahmenvorschlag greift den vorgenannten Dekarbonisierungsbonus auf und erweitert ihn auf nicht-KMU besonders in Branchen der Grundstoffindustrie in Thüringen. Somit sollen in erster Linie wenige große Transformationen über eine hohe Förderquote angestoßen werden, die als Leuchtturmprojekt in ihren jeweiligen Branchen wirken und nicht über das BIK (s. u.) gefördert werden (können).

16) Programm zur Kofinanzierung der Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK): Dieser Maßnahmenvorschlag soll die erforderliche Kofinanzierung der Bundesländer im Umfang von 30 Prozent bei großen Förderbescheiden (über 15 Millionen Euro) im Rahmen des BIK formalisieren.

111) Elektrifizierung von Produktionsprozessen: Dieser Maßnahmenvorschlag soll gezielt die

²³ Information vom AG: „Im Haushalt wurden 400 TEUR für 2025 ff. für die Initiierung branchenspezifischer Unternehmensnetzwerke zur Steigerung der Energieeffizienz beantragt. Es sollen Effizienzexperten als Sachverständige mit

Unternehmensnetzwerken Vorhaben durchführen, die in den jeweiligen Branchen übertragbar sind und entsprechende Leitfäden erstellen.“

Elektrifizierung von Produktionsprozessen bzw. der Prozesswärmebereitstellung aller Temperaturniveaus unterstützen. Der Maßnahmenvorschlag flankiert die Bundesförderprogramme EEW und BIK und zielt auf einen erweiterten Fördernehmer-Kreis ab, als er nur über die Bundesprogramme erreicht werden kann.

- I3) Ressourcen- und Materialeffizienz: Die IEKS-Maßnahme zur Steigerung der Ressourcen- und Materialeffizienz setzt den Fokus auf die Entwicklung von alternativen Produkten zur Substitution energieintensiver Materialien sowie auf das Schließen von Materialkreisläufen. Hierbei findet eine (flankierende) Stärkung der Förderung von Forschung, Technologie und Innovation in diesem Thema statt. Verortet ist die Förderung insbesondere im Zentrum der Bau- und Baustoffforschung (Angewandte Bauforschung Weimar gGmbH sowie Thüringer Innovationszentrum Wertstoffe).
- I9) Stärkung der Sekundärrouten: In diesem Maßnahmenvorschlag soll durch eine verbesserte Sammlung und Trennung von rezyklierbaren Abfallstoffen deren Einsatz in der Sekundärproduktion erhöht werden. Im Fokus stehen besonders alle Metalle, Glas, Papier. Aber auch Bauschutt und Kunststoffe sollen geprüft werden.
- I7) Nachhaltige Entwicklung von Gewerbe- und Industriegebieten: Dieser Maßnahmenvorschlag soll einen integrativen und systemischen Ansatz bei der Planung von Gewerbe- und Industriegebieten

einführen. Dabei wird an die Arbeit der AG klimaneutrales Gewerbegebiet unter Federführung des TMWWDG angedockt und auch auf Unternehmen des Industriesektors ausgerichtet.

- I14) Industrie 4.0: Der Maßnahmenvorschlag fokussiert auf die vermehrte Umsetzung von Konzepten der Industrie 4.0 bzw. der intelligenten Fabrik als Motor für eine effizientere und ressourcenärmere Produktion.

Beratung, Sonstiges

- I18) Bündnis zur Weiterentwicklung des Industriestandorts Thüringen: Dieser Maßnahmenvorschlag soll dem Land und den Industrieunternehmen helfen, ein Zielbild von Thüringen als zukünftigen Industriestandort zu formulieren. Das umfasst nicht nur die Frage, wieviel welcher Güter in Thüringen produziert werden sollen, sondern auch die Wertschöpfungsstrukturen, Strategien für/gegen eine Deindustrialisierung, Konsequenzen aus der Automatisierung/KI, Wechselwirkungen und Trends mit/in Deutschland und der EU.

Diese Maßnahmen können gemeinsam mit den europä- und deutschlandweit geltenden und möglichen Regularien zur Zielerreichung beitragen. Die Umsetzungsgeschwindigkeit wird ausschlaggebend sein, ob das Zielszenario 2040 oder das Zielszenario 2045 erreicht werden kann.

5.3.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge

Für die Bewertung der Maßnahmenvorschläge wurde in einem ersten Schritt eine vereinfachte Priorisierung vorgenommen, die sich an den Kriterien der Stärke des Landeseinflusses und der Relevanz für die THG-Minderung (relative Stärke der Minderung und Gewicht der betroffenen Emittenten) orientiert. Tabelle 25 zeigt die Ergebnisse dieser Bewertung. Sofern keine direkte THG-Wirkung absehbar war, die Maßnahme aber eine notwendige Voraussetzung für andere wirksame Maßnahmen darstellt, wurde die Relevanz der Emissionsminderung betrachtet, für die jeweils die Voraussetzung geschaffen wird.

Die priorisierten Maßnahmen sind in Anhang 1 in Form von Maßnahmenblättern ausführlicher dargestellt und bewertet.

Die Ziffern in der Matrix reichen jeweils von 0 (nicht zutreffend bzw. kein Einfluss, keine Relevanz) bis 4 (sehr stark), d. h. Ziffer 1 bedeutet eine geringe, Ziffer 2 eine mäßige und Ziffer 3 eine überdurchschnittliche Stärke.

Für die Priorisierung vorgeschlagen werden schließlich die in der rechten Spalte mit „ja“ markierten Maßnahmen:

Nr.	Titel der Maßnahme	Landeseinfluss	Relevanz der betroffenen Emittenten	Minderungseffekt im Einzelfall	Relevanz der Minderung, deren Voraussetzung damit geschaffen wird	sonstige Einflüsse	Priorisierung
I1	Steigerung der Nutzung industrieller und gewerblicher Abwärme	2	3	3	0	EnEfG, Wirtschaftlichkeit	nein
I2	Dekarbonisierungsbonus als niedrigschwelliges Förderangebot für die kurzfristige Investitionstätigkeit des Thüringer Mittelstands	3	1	1	0		nein
I3	Steigerung der Ressourcen- und Materialeffizienz mit Fokus auf die Entwicklung von alternativen Produkten zur Substitution energieintensiver Materialien	2	0	0	3	Trend besteht (z. B. Holzbau)	nein
I4	Verbesserung der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen in Unternehmen durch Energieeffizienz-Netzwerke	3	4	1	0		nein

I5	Förderung Pilotprojekte zur Dekarbonisierung bei KMU und Grundstoffindustrie	3	1	4	0		nein
I6	Programm zur Kofinanzierung der Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK)	4	1	4	0		ja
I7	Nachhaltige Entwicklung von Gewerbe- und Industriegebieten	3	3	2	0		nein
I8	Bündnis zur Weiterentwicklung des Industriestandorts Thüringen	4	0	0	3		nein
I9	Stärkung der Sekundärrouten durch verbesserte Sammlung und Trennung von Abfallstoffen und deren Einsatz in der Produktion	4	0	0	3	Trend besteht	ja
I10	Unterstützung bei der Umstellung von Industriekraftwerken auf den Einsatz erneuerbarer Energien	3	1	4	0		nein
I11	Unterstützung der Elektrifizierung von Produktionsprozessen	3	3	4	0	Trend besteht	ja
I12	Zu-/Ausbau lokaler Wärmespeicher (zur Erhöhung der internen Abwärmenutzung)	3	3	3	0		ja
I13	Sanierungs- und Effizienzinitiative für industrielle Gebäude	3	4	1	0		nein
I14	Industrie 4.0 (intelligente Fabrik) als Motor für effizientere und ressourcenärmere Produktion	2	3	2	0		nein

Tabelle 25 Maßnahmenpriorisierung im Sektor Industrie

Quelle: Einschätzung und Darstellung Prognos AG

In fünf der Maßnahmenvorschläge (I2, I3, I4, I8, I13) lassen sich THG-Minderungen kaum oder nur in geringem Umfang erwarten. In zwei weiteren (I1, I14) wird der Landeseinfluss als zu gering (≤ 2) eingeschätzt. Speziell ist die „Förderung Pilotprojekte zur Dekarbonisierung bei KMU und Grundstoffindustrie“ (I5)

inhaltlich eng mit dem „Programm zur Kofinanzierung der Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK)“ (I6) verbandelt, weshalb hier nur I6 berücksichtigt wird, da diese aufgrund der Förderrichtlinie obligatorisch ist. Die verbleibenden nicht-priorisierten Maßnahmenvorschläge (I7, I10) werden als zu

wirkschwach bzw. zu selektiv erachtet, um in die engere Auswahl zu kommen.

Im Ergebnis wurden somit vier Maßnahmen priorisiert. Diese sind:

- Programm zur Kofinanzierung der Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK) (I6)
- Stärkung der Sekundärrouten (I9)
- Elektrifizierung von Produktionsprozessen (I11)
- Zu-/Ausbau lokaler Wärmespeicher (I12)

Belastbare THG-Minderungen lassen sich hier nur für drei der vier Maßnahmen berechnen bzw. konkret

abschätzen. Bei der „Elektrifizierung von Produktionsprozessen“ handelt es sich v. a. um Voraussetzungen, Unterstützungen und Ergänzungen von bestehenden Maßnahmen und Trends, wodurch die Wirkung nicht belastbar abgegrenzt werden kann.

Die Ausarbeitung der priorisierten Maßnahmenvorschläge und damit die implizite inhaltliche Begründung ihrer Auswahl erfolgt im Anhang in Form von Maßnahmensteckbriefen (vgl. Anhang: Vorrangige Maßnahmen).

5.4 Sektor Gebäude

5.4.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes

Energiepolitische Fragestellungen sind primär eine Kompetenz des Bundes. In den Bereichen Raumordnung und Bauordnungsrecht haben jedoch auch die Bundesländer Spielraum. Die Bauordnungs- und Raumordnungskompetenz ermöglicht den Ländern

u. a. Einfluss auf Infrastruktur mit Energie- und Klimarelevanz zu nehmen. Das Bauordnungsrecht der Länder ist u. a. zur Verankerung von Vorschriften geeignet, die die Nutzung und Einsparung von Energie in Gebäuden betreffen, etwa in Gestalt einer Rechtsgrundlage für örtliche Bauvorschriften.

5.4.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge

Die Maßnahmenvorschläge im Gebäudesektor lassen sich den folgenden Hauptstrategien zuordnen:

- Reduktion des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen durch Energieeffizienz,
- Umstellung der Wärmeversorgung – Vermeidung von THG-Emissionen durch den Einsatz alternativer, nicht-fossiler Energieträger, sowie
- die Reduktion des Verbrauchs durch Suffizienz und indirekte Einsparungen.

Die sektorspezifischen Maßnahmenvorschläge umfassen diejenigen des IEKS, die im Gebäudesektor wirken [IE Leipzig 2018], sowie eigene Maßnahmenvorschläge aus unterschiedlichen Themenfeldern. Grundlage für die Ergänzungen ist eine Recherche von Maßnahmen in anderen Bundesländern, darunter Brandenburg, Hamburg, Bayern und Rheinland-Pfalz.

Konkret kommen für die drei unterschiedenen Hauptstrategien folgende Maßnahmen in Betracht:

Energieeffizienz

- G1) Aktivierung der Gebäudesanierung und Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien für einen klimaneutralen Gebäudebestand.
Förderung, wenn keine andere Fördermöglichkeit besteht. Dies beinhaltet auch die Ermittlung des CO₂-Minderungspotenzials der Landesgebäude und die Umsetzung des 12 Punkte-Programms „energetische Sanierung Landesgebäude 2030“ sowie Ziel- und Kooperationsvereinbarungen bezüglich Energieeffizienz und Einsatz erneuerbarer Energien in Bestandsgebäuden mit Wohnungsunternehmen.
- G3) Förderung und Modernisierung von bestehenden Mietwohngebäuden - nachhaltig erneuern und erweitern. Gefördert werden nachhaltige Maßnahmen, die über die gesetzlich oder förderrechtlich ohnehin schon gegebenen Anforderungen erheblich hinausgehen. Nebst der Reduktion des Energieverbrauchs soll auch der Erhalt bestehender Bausubstanz angereizt werden.

- G4) Hinwirken auf einen sparsameren Umgang der Nutzer mit Strom und Wärme in Gebäuden (Anpassung des Nutzerverhalten durch Information und Aufklärung).
- G5) Auszeichnungen für energetische Vorzeigeprojekte im Gebäudebereich. Öffentlichkeitsarbeit zur Bewerbung und Publizierung von Vorzeigeprojekten. Außerdem Durchführung der Wettbewerbe und Prämierung.
- G8) Förderung NWG - Sanierungs- und Effizienzinitiative für Nichtwohngebäude: Vermittlung von Informationen zur Energieeffizienz im Gebäudebereich und aktuellen bau- und anlagentechnischen Möglichkeiten gegenüber BauherrInnen.
- G12) Reduktion des Energieeinsatzes bei Gewerbe, Handel und Dienstleistungen

CO₂-freie Wärmeversorgung

- G2) Pilotprojekte zur Einbindung von Geothermie in hybride Energieanlagen. In Thüringen gibt es nur sehr begrenzt hydrothemale Potenziale, hingegen gibt es umfangreiche petrothermale Potentiale. Diese erfordern größere Bohrtiefen und sind entsprechend kostenintensiver. 2023 wurde eine Machbarkeitsstudie für ein Tiefengeothermie-Vorhaben gefördert und zur Absicherung der kommunalen Akteure wurde der Gewährleistungsrahmen im Thüringer Haushaltsgesetz (ThHhG) 2024 angepasst. Es besteht deshalb zurzeit kein dringender zusätzlicher Handlungsbedarf.
- G6) Weiterentwicklung von Strom- und Wärmespeichern für den Einsatz im Wohngebäudesektor.
- G9) Info-Kampagne CO₂-freie Gebäude: Informationskampagne, Veranstaltungen, Workshops zu gesetzlichen Anforderungen, Austausch fossiler Heizsysteme, Energieeffizienzsteigerung,

nachhaltiger Baustoffnutzung/Bauweisen, in Abstimmung mit dem laufenden Prozess zur Wärmeplanung.

- G10) Aufbau eines Wärmekatasters, gegebenenfalls als Erweiterung des bestehenden Abwärmekatasters. Der Kataster soll die der kommunalen Wärmeplanung unterstützen. Aufbau von Hilfsmitteln zur Unterstützung von Kommunen bei der Erstellung von Wärmekonzepten. Identifikation von Wärme-/ Kältequellen und Wärmenetzen und -senken und Bereitstellung der räumlich differenzierten Daten.
- G13) Beratungsunterstützung für Gebietskörperschaften und (öffentlichen) Eigentümern von Immobilienportfolios zum Aufbau eines Bilanzkreismanagements zur optimalen Nutzung der erneuerbaren Energien für den Eigenverbrauch im Immobilienportfolio.
- G14) Ordnungsrechtliche Vereinfachung des Umsatz- und Körperschaftssteuerrechts zur Förderung der erneuerbaren Energien für den Eigenverbrauch (liegenschaftsbezogen und ergänzend auch zur Förderung der EE bei Immobilienportfolios).

Indirekte Einsparwirkungen und Klimaanpassung

- G7) Analyse des Potenzials der Holznutzung für den Baubereich mit Holz aus dem Thüringer Wald (Verwendung von Baustoffen aus nachhaltigerem Rohstoff Holz und somit Reduktion der THG-Emissionen). Hauptziel der Maßnahme ist, die anfallenden Holz-mengen nicht zu verbrennen (da dabei THG-Emissionen entstehen), sondern das Holz als CO₂-Speicher zu nutzen. Zusätzlicher Holzschlag soll nicht angereizt werden, um den CO₂-Speicher des Waldes zu erhalten.
- G11) Unterstützung einer klimagerechten Stadtentwicklung: Entwicklung und Erprobung von

energetischen Quartierskonzepten und klimagerechten Entwicklungsstrategien, dies kann auch Maßnahmen zur Verringerung von Wohnraumflächen beinhalten,

wie beispielweise Kontingente für versiegelte Flächen und die Unterstützung von Wohnungswechseln.

5.4.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge

Für die Bewertung der Maßnahmenvorschläge wurde analog zum Vorgehen in den übrigen Sektoren in einem ersten Schritt eine vereinfachte Priorisierung vorgenommen, die sich an den Kriterien der Stärke des Landeseinflusses und der Relevanz für die THG-Minderung (relative Stärke der Minderung und Gewicht der betroffenen Emittenten) orientiert. Die nachfolgende Tabelle 26 zeigt die Ergebnisse dieser ersten Bewertung. Sofern keine direkte THG-Wirkung absehbar ist, die Maßnahme aber eine notwendige Voraussetzung für andere wirksame Maßnahmen darstellt, wurde

die Relevanz der Emissionsminderung betrachtet, für die jeweils die Voraussetzung geschaffen wird.

Die priorisierten Maßnahmen sind in Anhang 1 in Form von Maßnahmenblättern ausführlicher dargestellt und bewertet.

Die Ziffern in der Matrix reichen jeweils von 0 (nicht zutreffend, bzw. kein Einfluss, keine Relevanz) bis 4 (sehr stark), d. h. Ziffer 1 bedeutet eine geringe, Ziffer 2 eine mäßige und Ziffer 3 eine überdurchschnittliche Stärke.

Nr.	Titel der Maßnahme	Landeseinfluss	Relevanz der betroffenen Emittenten	Minde-rungs-ef-fekt im Einzel-fall	Relevanz der Minderung, deren Vorausset-zung damit ge-schaffen wird	Sonsti-ge Einflüsse	Priori-sierung
G1	Aktivierung der Gebäudesanie-rung und Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien für einen klimaneutralen Gebäudebestand	2	2	2	0	<	nein
G2	Pilotprojekte zur Einbindung von Geothermie in hybride Energieanlagen	3	1	2	0		nein
G3	Förderung und Modernisierung von bestehenden Mietwohnge-bäuden - nachhaltig erneuern und erweitern	2	3	3	0		ja
G4	Hinwirken auf einen sparsame-ren Umgang der Nutzer mit Strom und Wärme in Gebäuden	2	4	2	0		ja

G5	Auszeichnungen für energetische Vorzeigeprojekte im Gebäudebereich	3	1	1	0		nein
G6	Weiterentwicklung von Strom- und Wärmespeichern für den Einsatz im Wohngebäudesektor	1	0	0	2		nein
G7	Analyse des Potenzials der Holznutzung für den Baubereich	2	0	0	3		nein
G8	Förderung NWG - Sanierungs- und Effizienzinitiative für Nichtwohngebäude	2	2	2	0		nein
G9	Info-Kampagne CO2-freie Gebäude	3	3	1	0	Überlappung mit laufenden Prozessen	nein
G10	Aufbau eines Wärmekatasters, gegebenenfalls als Erweiterung des bestehenden Abwärmekatasters	2	0	0	4	Überlappung mit kommunaler Wärmeplanung	nein
G11	Unterstützung einer klimarechten Stadtentwicklung	3	0	0	2		ja
G12	Reduktion des Energieeinsatzes bei Gewerbe, Handel und Dienstleistungen	2	2	1	0		nein
G13	Beratungsunterstützung zur optimalen Nutzung der erneuerbaren Energien für den Eigenverbrauch im Immobilienportfolio	1	1	2	0		nein
G14	Vereinfachung des Umsatz- und Körperschaftssteuerrechts zur Förderung der erneuerbaren Energien für den Eigenverbrauch	2	2	1	0		nein

Tabelle 26 Maßnahmenpriorisierung im Gebäudesektor
Quelle: Einschätzung und Darstellung Prognos AG

Für die Priorisierung vorgeschlagen werden die Maßnahmen

- Förderung und Modernisierung von bestehenden Mietwohngebäuden - nachhaltig erneuern und erweitern (G3),
- Hinwirken auf einen sparsameren Umgang der Nutzer mit Strom- und Wärme in Gebäuden (G4) sowie
- die Unterstützung einer klimagerechten Stadtentwicklung (G11).

Aufgrund begrenzter Potenziale für erneuerbare Wärme bleibt trotz des angestrebten Hochlaufs der Wärmepumpen und Wärmenetze die Gebäudeeffizienz ein wichtiger Hebel bei der Transformation des Gebäudesektors. Die Maßnahme Förderung und Modernisierung von bestehenden Mietwohngebäuden unterstützt diese Bestrebungen in einem für die Akzeptanz der Energiewende sehr sensiblen Bereich (Mietwohnungen). Durch den Erhalt und die Aufwertung von bestehender Bausubstanz können Ersatzneubauten vermieden werden. Dies verringert die THG-Emissionen in vorgelagerten Prozessketten, u. a. bei der Herstellung von Baumaterialien, aber auch bei der Erstellung der Gebäude.

Das Nutzerverhalten hat einen signifikanten Einfluss auf den Energieverbrauch von Anlagen und Geräten.

Laufende Informationskampagnen des Bundes wirken bereits auf einen sparsamen Umgang mit Energie hin. Die Kampagnen wirken zuweilen jedoch nur über einen begrenzten Zeitraum, danach fällt das Verhalten oft in angestammte Muster zurück. Deshalb müssen immer wieder neue Impulse gesetzt werden, bis eine dauerhafte Veränderung einsetzt. Zudem können Maßnahmen der Länder die Bundesmaßnahmen unterstützen und ergänzen. Das Land hat in einigen Bereichen eine größere Nähe zu den Bürgern und kann diese gegebenenfalls besser erreichen.

Die Maßnahme „Klimagerechten Stadtentwicklung“ verbindet die Themenbereich Klimaschutz, Klimaanpassung und Nachhaltigkeit. Nebst der Entwicklung und Erprobung von energetischen Quartierskonzepten und klimagerechten Entwicklungsstrategien soll insbesondere die Begrenzung des Flächenverbrauchs unterstützt werden. Bestehende Bestrebungen zur Begrenzung des Flächenverbrauchs wie das Umzugsmanagement für Senioren sind zu verstärken. Weitere Maßnahmen können hinzukommen, wie beispielsweise Wohnungsbörsen oder die Kontingentierung bestehender Flächen.

5.5 Sektor Verkehr

5.5.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes

Im Sektor „Verkehr“ hat der Freistaat Thüringen über seine Rolle als Besteller des SPNV sowie bei der Planung eines Radverkehrsnetzes und der Unterstützung der Kommunen bei der Radverkehrsförderung einen wesentlichen Einfluss auf den Ausbau des Umweltverbundes, d. h. auf die energieeffizientesten Verkehrsmittel.

Der Einfluss auf den Kraftfahrzeugverkehr ist dagegen kleiner, da sowohl die Bundesverkehrswegeplanung als auch das Straßenverkehrsrecht Bundesrecht sind. Auch die Ablösung des Energieträgers Erdöl im Straßenverkehr wird überwiegend von welt-, europa- und bundesweiten Einflüssen bestimmt, etwa von der Besteuerung und Zulassung von Kraftstoffen. Der Freistaat Thüringen kann jedoch durch eigene Investitionen und durch Maßnahmen der Förderung den Aufbau

der Elektro-Ladeinfrastruktur begünstigen sowie die Außerbetriebnahme von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor beschleunigen. Ein weiterer Hebel besteht in den Förderprogrammen für den Straßenpersonennahverkehr (StPNV): So könnte die Investitionsförderung im StPNV in Bezug auf die Anschaffung von Bussen davon abhängig gemacht werden, dass diese emissionsfreie bzw. alternative Antriebe aufweisen.

Schließlich nimmt der Freistaat Thüringen eine Vorbildrolle ein, wenn der Fuhrpark der Landesverwaltung schneller auf Elektromobilität (bzw. andere erneuerbare Antriebe) umgestellt wird als die Flotten anderer Fahrzeughalter in Thüringen. Durch die öffentliche Darstellung solcher Veränderungen kann der Freistaat auch andere Unternehmen und Private motivieren, diesen Weg frühzeitig in Angriff zu nehmen.

5.5.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge

Die Maßnahmenvorschläge im Verkehrssektor folgen sowohl für den Personenverkehr als auch für den Güterverkehr folgenden Strategien:

- Verkehrsvermeidung und -einsparung (Wegfall von Wegen, z. B. durch Digitalisierung, kürzere Wege zu den zu erreichenden Zielen, z. B. durch geänderte Zielwahl, Nähe von Wohnen und Arbeiten, Dezentralisierung von Versorgungsstrukturen)
- Verkehrsverlagerung (von weniger effizienten Verkehrsmitteln, insbesondere Pkw und Lkw, hin zu effizienteren oder nichtmotorisierten Verkehrsmitteln,

letztere werden als „Umweltverbund“ oft zusammengefasst)

- Energieträgerumstellung (weg von fossilen Antriebsenergien, hin zu Elektrizität und regenerativen Kraftstoffen)
- Effizienz der eingesetzten Fahrzeuge (weniger Verbrauch für gleiche Fahrstrecke, abhängig von Tempo, Fahrverhalten und Technik)
- Mobilitätsmanagement und bessere Auslastung der Verkehrsmittel (z. B. Förderung von Fahrgemeinschaften, Begünstigung umweltfreundlicher Verkehrsmittelwahl im Berufsverkehr und bei Dienstreisen, Öffentlichkeitsarbeit)

Konkret kommen für die verschiedenen Strategien folgende Maßnahmen in Betracht:

Verkehrsvermeidung und -einsparung:

- V1) Weitere Erleichterung von mobilem Arbeiten bzw. Heimarbeit und Digitalisierung von Verwaltungsprozessen (Verkehrsvermeidung)
- V2) Begünstigung unbefristeter Arbeitsverträge, um Beschäftigte bei Arbeitsplatzwechsel zum zügigen Wohnortswechsel zu motivieren, als Alternative zum Fernpendeln (Verkehrseinsparung)
- V3) Dezentalisierungsprojekte für bessere Nahversorgung aller Art: Schulnetzplanung mit kleineren Schulstandorten, Erhaltung und Förderung von Landarztpraxen oder mobilen Ärzten für die medizinische Versorgung; Selbstbedienungsläden und fahrende Händler für die Lebensmittelversorgung etc. (Verkehrseinsparung)
- V4) Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe zur Verminderung des Fernhandels (Verkehrseinsparung)

Verkehrsverlagerung:

- V5) Bestellung zusätzlicher SPNV-Angebote auf Achsen aktuell und potenziell starker Nachfrage sowohl auf Achsen starker Nachfrage als auch im Ergänzungsnetz
- V6) Umstrukturierung des Busangebots im Sinne der Nutzung durch Erwachsene mit Plus-Bus-Linien (z. B. für Berufspendler zu allen Standorten mit vielen Arbeitsplätzen) und einem nachfragegesteuerten ganztägig verfügbaren Ergänzungsnetz zur Flächenbedienung

V7) Reaktivierung oder Neubau von Anschlussgleisen zu Unternehmen mit hohem Güterverkehrsaufkommen, Verlagerung von Gütertransporten auf die Schiene

V8) Schaffung von bedarfsgerechten Radvorrangrouten an wichtigen Verbindungsachsen mit Ausrichtung auf den Berufspendelverkehr auch mit E-Bike, dabei auch Stärkung des Radverkehrs an Außerortsstraßen mit Vereinfachung der Ausgleichsregelungen beim Flächenerwerb

V9) Verstärkung der Förderung und Begünstigung des Radverkehrs in den Kommunen

V10) Überprüfung der Prämissen des Landesstraßenbedarfsplans mit Blick auf die anzulegenden Mindeststandards bezüglich Straßenquerschnitten (RAL-Regelwerk) mit dem Ziel, Anreize zur Beschleunigung des Pkw-Verkehrs im Wettbewerb mit anderen Verkehrsmitteln zu vermeiden

V11) Abbau der öffentlichen Subventionen für den Flughafen Erfurt

Energieträgerumstellung:

V12) Förderung des Aufbaus öffentlicher Elektrolade-Infrastruktur, insbesondere außerhalb der Großstädte

V13) Schaffung von Anreizen zur Außerbetriebnahme fossil angetriebener Pkw (z. B. Unterstützung für Halter von Pkw mit Verbrennungsmotor, die solche Pkw dauerhaft stilllegen und anschließend keine fossilen Pkw mehr beschaffen, durch Mobilitätsgutscheine)

V14) Beschaffung von energieeffizienten elektrischen Fahrzeugen für den Landesfuhrpark als Regelfall,

soweit eigene Fahrzeuge noch nötig sind (vgl. Mobilitätsmanagement)

V15) Vollständige Umstellung verbliebener SPNV-Linien mit Diesel- und Kohletraktion auf regenerative Antriebe, in der Regel Akkutriebwagen

V16) Förderung von Logistik-Management zur Bündelung von Warenströmen (z. B. Citylogistik) unter Verwendung elektrischer Fahrzeuge (E-Bikes oder E-Transporter) und geeigneter Umschlagpunkte (z. B. Paketstationen)

V17) Unterstützung der Logistikbranche bei der Elektrifizierung des Lkw-Bestands, u. a. durch Berücksichtigung der Lkw beim Aufbau der Ladeinfrastruktur

V18) Unterstützung (Forschung, Förderung) bei der Elektrifizierung des bewirtschaftlichen Verkehrs

Effizienz der eingesetzten Fahrzeuge:

V19) Schulungsangebote zum energiesparenden Fahren für Pkw- und Lkw-Fahrer und -Fahrerinnen

Mobilitätsmanagement:

V20) Unterstützung von Car-Sharing-Organisationen beim Aufbau flächenhafter Car-Sharing-Angebote, Corporate Car-Sharing mit teilweise privater Nutzung

V21) Weiterentwicklung des Netzes von Pendler-Umsteige-Parkplätzen (zur Fahrgemeinschaftsbildung) und Ausrüstung mit E-Ladeinfrastruktur, Schaffung von Mobilitätsstationen

V22) Werbung für ein ausgewähltes Fahrgemeinschaftsportal, um Breitenwirkung bei Pkw-

Fahrerinnen und -Fahrern zu erzielen, die derzeit noch allein unterwegs sind

V23) Schulung des Personals bei Freistaat und kommunalen Behörden zur Förderung der Verkehrswende

V24) Mobilitätsmanagement für Dienstreisen der Verwaltung: Vermeidung von Fahrten durch Video-Konferenzen oder mobiles Arbeiten (vgl. auch Maßnahme V1), Terminwahl in Abhängigkeit von ÖV-Fahrplänen, Verkehrsmittelwahl mit Präferenz beim Umweltverbund, Jobtickets, Jobfahrräder, Parkraummanagement mit Begünstigung von Fahrgemeinschaften, eine Verkleinerung des Fahrzeugbestands durch Pooling und Taxifahrten, sowie innerhalb von Fahrzeugpools bevorzugte Nutzung sparsamer Elektrofahrzeuge, soweit verfügbar

V25) Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements für Unternehmen und Organisationen

V26) Unterstützung umweltfreundlichen Verkehrsverhaltens durch eine landesweite Öffentlichkeitskampagne

Das Zusammenspiel all dieser Maßnahmen kann gemeinsam mit den europa- und deutschlandweit möglichen Regularien zur Umsetzung eines der beiden Zielszenarien führen, wobei die Umsetzungsgeschwindigkeit ausschlaggebend sein wird, ob das Zielszenario 2040 oder das Zielszenario 2045 erreicht werden kann. Je langsamer die Maßnahmen umgesetzt werden und bei den Menschen, die am Verkehr teilnehmen, eine Breitenwirkung erreichen, desto eher werden regulatorische Maßnahmen erforderlich, um das gewünschte Szenario noch zu erreichen.

5.5.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge

Für die Bewertung der Maßnahmenvorschläge wurde in einem ersten Schritt eine vereinfachte Priorisierung vorgenommen, die sich an den Kriterien der Stärke des Landeseinflusses und der Relevanz für die THG-Minderung (relative Stärke der Minderung und Gewicht der betroffenen Emittenten) orientiert. Tabelle 27 zeigt die Ergebnisse dieser ersten Bewertung. Sofern keine direkte THG-Wirkung absehbar war, die Maßnahme aber eine notwendige Voraussetzung für andere wirksame Maßnahmen darstellt, wurde die Relevanz der Emissionsminderung betrachtet, für die jeweils die Voraussetzung geschaffen wird.

Die priorisierten Maßnahmen sind in Anhang 1 in Form von Maßnahmenblättern ausführlicher dargestellt und bewertet.

Die Ziffern in der Matrix reichen jeweils von 0 (nicht zutreffend bzw. kein Einfluss, keine Relevanz) bis 4 (sehr stark), d. h. Ziffer 1 bedeutet eine geringe, Ziffer 2 eine mäßige und Ziffer 3 eine überdurchschnittliche Stärke.

Nr.	Titel der Maßnahme	Landeseinfluss	Relevanz der betroffenen Emittenten	Minderungseffekt im Einzelfall	Relevanz der Minderung, deren Voraussetzung damit geschaffen wird	sonstige Einflüsse	Priorisierung
V1	Erleichterungen von mobilem Arbeiten und Digitalisierung von Verwaltungsprozessen	2	0	0	3	Trend besteht	ja
V2	Begünstigung unbefristeter Arbeitsverträge	1	0	0	2		nein
V3	Dezentalisierungsvorhaben für bessere Nahversorgung aller Art	2	0	0	3	Trend-Umkehr	ja
V4	Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe	1	0	0	2		nein
V5	Bestellung zusätzlicher SPNV-Angebote auf Achsen aktuell und potenziell starker Nachfrage	3	4	1	0	ab 2036	ja
V6	Umstrukturierung des Busangebots mit Plus-Bus-Linien und nachfragegesteuerter ganztägiger Flächenbedienung	2	4	1	0		ja

V7	Reaktivierung oder Neubau von Anschlussgleisen, mehr Güter auf die Schiene	1	0	0	1		nein
V8	Radvorrangrouten an wichtigen Verbindungsachsen außerorts, Vereinfachung von Ausgleichsregelungen	4	1	3	0		ja
V9	Verstärkung der Förderung und Begünstigung des Radverkehrs in den Kommunen	3	2	3	0		ja
V10	Überprüfung der Prämissen des Landesstraßenbedarfsplans mit Blick auf die anzulegenden Mindeststandards	2	0	0	1		nein
V11	Abbau der öffentlichen Subventionen für den Flughafen Erfurt	4	0	0	1		nein
V12	Förderung des Aufbaus öffentlicher Elektro-Lade-Infrastruktur	3	0	0	3		ja
V13	Schaffung von Anreizen zur Außerbetriebnahme fossil angetriebener Pkw	1	3	3	0		nein
V14	Beschaffung von energieeffizienten elektrischen Fahrzeugen für den Landesfuhrpark	4	1	3	0		ja
V15	Regenerative Antriebe (in der Regel Akkutriebwagen) für alle SPNV-Linien	4	1	2	0		nein
V16	Logistik-Management mit E-Fahrzeugen und geeigneten Umschlagpunkten	2	2	2	0		nein
V17	Unterstützung der Logistikbranche bei der Elektrifizierung des Lkw-Bestands	2	2	2	0		nein
V18	Unterstützung bei der Elektrifizierung des bauwirtschaftlichen Verkehrs	2	1	2	0		nein
V19	Schulungsangebote zum energiesparenden Fahren mit Pkw und Lkw	2	0	0	1		nein

V20	Unterstützung beim Aufbau flächenhafter Car-Sharing-Angebote, Corporate Car-Sharing mit teilweise privater Nutzung	2	0	0	2		nein
V21	Mehr Pendler-Umsteige-Parkplätze und Ausrüstung mit E-Ladeinfrastruktur, Mobilitätsstationen	3	0	0	2		nein
V22	Werbung für ein ausgewähltes Fahrgemeinschaftsportal	2	0	0	2		nein
V23	Schulung des Personals bei Freistaat und kommunalen Behörden zur Förderung der Verkehrswende	4	0	0	2		nein
V24	Mobilitätsmanagement für Dienstreisen der Verwaltung	4	1	2	0		ja
V25	Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements für Unternehmen und Organisationen	2	0	0	3		ja
V26	Landesweite Öffentlichkeitskampagne für umweltfreundliches Verkehrsverhalten	4	0	0	1		nein

Tabelle 27 Maßnahmenpriorisierung im Sektor Verkehr
Quelle: Einschätzung und Darstellung IE Leipzig

Im Ergebnis wurden somit 10 Maßnahmen ausgewählt, die im Anhang in Form von Maßnahmensteckbriefen genauer dargestellt sind. In vier dieser Fälle lassen sich THG-Minderungen weder berechnen noch konkret abschätzen, weil sie nur die Voraussetzungen schaffen, um deutlichere Emissionsminderungen zu erzielen.

Die Priorisierung stellt keine Empfehlung dar, auf nicht-priorisierte Maßnahmen zu verzichten. Auch im Verkehrssektor ist jede Maßnahme, die direkt oder indirekt zur Einsparung von THG-Emissionen führt, grundsätzlich sinnvoll.

5.6 Sektor Landwirtschaft

5.6.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes

Der Rahmen für den Sektor Landwirtschaft wird wesentlich durch Regelungen auf Ebene der EU und des Bundes definiert. Handlungsmöglichkeiten des Landes ergeben sich über Landesstrategien und Landesförderungen.

Die Gemeinsame Agrarpolitik der EU (GAP) soll stärker als bisher zu den Zielen des Klimaschutzes beitragen. Ein Nationaler Strategieplan zeigt auf, wie Deutschland ab 2023 die Ziele der europäischen Agrarreform erreichen will, u. a. durch Honorierung von Umwelt- und Klimaschutzleistungen. Wesentliche Instrumente sind dabei Agrarumwelt- und Klimamaßnahmen (AUKM), Ökologischer Landbau und Tierchutzmaßnahmen. Die erste Säule der EU-Förderung bilden insbesondere die Direktzahlungen an Landwirtinnen und Landwirte, die – bei Erfüllung der jeweiligen Voraussetzungen – je Hektar landwirtschaftlicher Fläche gewährt werden. Die zweite Säule, die allein von den Ländern ausgestaltet wird, umfasst gezielte Förderprogramme für die nachhaltige und umweltschonende Bewirtschaftung und die ländliche Entwicklung. Der Strategieplan für Deutschland wurde in enger Abstimmung mit Bundesressorts, Wirtschafts-, Umwelt- und Sozialpartnern, aber auch den Ländern erstellt.

Im Rahmen des Klimaschutzprogramms 2030 der Bundesregierung ist ein Maßnahmenpaket für die Landwirtschaft in Deutschland entwickelt worden. Mit dem neuen Klimaschutzprogramm 2023 soll das Erreichen der gesteckten Ziele unterstützt werden, wobei es um eine Verstärkung bestehender und die Umsetzung neuer Maßnahmen geht. Dazu sollen die Fördermöglichkeiten für klimafreundliche Maßnahmen sowohl

national als auch im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) ausgeweitet werden.

Für die Senkung der Stickstoffüberschüsse ist die konsequente Umsetzung der nationalen Düngeverordnung (DüV) bedeutend. Sie regelt die gute fachliche Praxis bei der Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln und dient insbesondere der Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie. Ziel ist es, den Bedarf landwirtschaftlicher Kulturen an Nährstoffen zu decken und gleichzeitig mögliche Verluste von Nährstoffen in die Luft, aber auch in Gewässer durch Versickerung und Abschwemmung so gering wie möglich zu halten. Die DüV wird durch die Länder umgesetzt.

In Verbindung mit den Treibhausgasemissionen aus der Tierhaltung steht die Steigerung der Wirtschaftsdüngervergärung im Fokus. Um den Anteil des Wirtschaftsdüngereinsatzes in Biogasanlagen zu erhöhen, muss das Beratungsangebot in Zusammenarbeit mit den Genehmigungs- und Überwachungsbehörden weiter optimiert werden. Um die Bereitschaft der Betriebe zu fördern, aufbereitete Wirtschaftsdünger aufzunehmen und pflanzenbaulich einzusetzen, gilt es umfassend zu informieren und zu beraten.

Der ökologische Landbau hat sich in Thüringen mittlerweile gut etabliert und entwickelt sich stetig weiter. 2023 hat das Thüringer Kabinett ein Strategiepapier zur künftigen Entwicklung der ökologischen Landwirtschaft beschlossen. Im Rahmen des „Thüringer Programms zur Förderung von umwelt- und klimagerechter Landwirtschaft, Erhaltung der Kulturlandschaft,

Naturschutz und Landschaftspflege“ (KULAP) unterstützt das Land finanziell die Umstellung und Beibehaltung der Flächenbewirtschaftung für den ökologischen Landbau auf Acker- und Grünland, im

Gemüsebau sowie für Dauerkulturen. Zudem ist Thüringen aktiv in den Prozess Zukunftsstrategie Ökolandbau (ZÖL) auf Bundesebene eingebunden.

5.6.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge

Die großen Hebel in der Landwirtschaft sind die Reduktion der tierhaltungsbedingten THG-Emissionen und die Reduktion der THG-Emissionen aus der Düngerganwendung auf landwirtschaftlichen Flächen.

Tierhaltung

- L1) Reduktion der tierhaltungsbedingten THG-Emissionen durch (a) Anpassung der Fütterung und damit Einfluss auf die tierische Verdauung (Stickstoffoptimierte Fütterung in der Rinder-, Schweine und Geflügelhaltung), (b) technische Maßnahmen im Stall, (c) gasdichte Lagerung der anfallenden Wirtschaftsdünger und Gärreste sowie (d) Beratung und Ausbildung
- L2) Steigerung der (energetischen) Nutzung von Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft und landwirtschaftlicher Reststoffe (überbetriebliche Konzepte zur Nutzung); dies setzt entsprechende rechtl. und wirtschaftliche Rahmenbedingungen voraus; derzeit werden etwa 70 % des Wirtschaftsdüngers energetisch genutzt

Landwirtschaftliche Nutzflächen

- L4) Reduktion der Stickstoffüberschüsse und Steigerung der Stickstoffeffizienz bei der Bodennutzung (Reduktion der direkten und indirekten Lachgasemissionen aus Düngemitteln und Gärresten in der Lagerung und Ausbringung; Steigerung der Stickstoffproduktivität als Verhältnis N-Output zu

N-Input); die Maßnahmenrelevanz ergibt sich aus der starken THG-Wirkung der Lachgasemissionen

- L5) Standortgemäße und humusschonende Bodenbewirtschaftung (zur Verringerung von Lachgasemissionen, die bei der Mineralisierung von organischem Material durch Bodenbearbeitung entstehen); die Maßnahmenrelevanz ergibt sich aus der starken THG-Wirkung der Lachgasemissionen
- L6) Erhalt und Umbruchverbot von Dauergrünland; bereits fachliche Praxis und gesetzlicher Standard
- L7) Agroforstsysteme (AFS) sowie Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf landwirtschaftlichen Nutzflächen; AFS/KUP bewirken Kohlenstoffspeicherung (auch unterirdisch), nach Ernte des Energieholzes wird der gebundene Kohlenstoff bei der Verbrennung sofort wieder freigesetzt, bei einer Kaskadennutzung (bspw. zusätzliche stoffliche Nutzung in Spanplatten) würde sich das Minderungspotenzial erhöhen

Übergeordnet

- L3) Stärkung einer nachhaltigen Ernährungsweise (regional, saisonal, weniger wegwerfen); weniger Emissionen für den Transport, meist auch weniger Verpackung; darüber hinaus Stärkung der regionalen Wertschöpfung

L8) Entwicklung und Pilotierung landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen mit Elektroantrieb; Energieträgerumstellung und -einsparung

L9) Stärkung des Ökolandbaus; der Maßnahme wird keine eigene Minderungswirkung zugewiesen, das Minderungspotenzial wird beim Stickstoffüberschuss der landwirtschaftlichen Flächen und beim Viehbesatz berücksichtigt

L10) Verankerung der Themen Klimaschutz, Klimaanpassung und Ernährung in der landwirtschaftlichen und pädagogischen Berufsausbildung

Die Maßnahmen beinhalten viele Teilaspekte, die ineinandergreifen oder voneinander abhängig sind und die bei der Ausgestaltung zu berücksichtigen sind. Dazu gehören

- die Ernährungssicherheit und der Zugang zu gesunden Lebensmitteln für alle
- die Schließung von Stoffkreisläufen (u. a. Nutzung von Wirtschaftsdüngern, Anbau mehrjähriger humusfördernder Kulturen) und

gleichzeitig Reduktion von Leakage-Effekten im In- und Ausland durch die Verringerung von Importen von Eiweißfuttermitteln sowie Reduktion mit hohem Energieaufwand hergestellter Mineraldünger

- die landwirtschaftliche Energieerzeugung (Energiepflanzen- und Wirtschaftsdüngervergärung, Agri-PV)
- die Begrenztheit der landwirtschaftlichen Flächen
- die regionale Inwertsetzung von landwirtschaftlich erzeugten Produkten, insbesondere von ökologisch erzeugten Lebensmitteln und Steigerung dieser in der Gemeinschaftspflege
- Synergien mit Zielen zur Tiergesundheit, Biodiversitätserhalt, Umwelt- und Naturschutz (u. a. Tierwohl, Wasserqualität), aber auch Zielkonflikte zwischen Emissionsminderung und Tierwohl sowie bezüglich des Pflanzenschutzmitteleinsatzes im Zusammenhang mit Direktsaatverfahren

5.6.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge

Die Bewertung der Maßnahmenvorschläge erfolgte mit einer vereinfachten Priorisierung, die sich an den Kriterien Stärke des Landeseinflusses und Relevanz für die THG-Minderung (relative Stärke der Minderung und Gewicht der betroffenen Emittenten) orientiert (Tabelle 28). Einige der Maßnahmen haben keine direkte THG-Wirkung, sind aber eine notwendige Voraussetzung für andere wirksame Maßnahmen. In

diesem Fall wurde die Relevanz der Emissionsminderung betrachtet, für die jeweils die Voraussetzung geschaffen wird.

Die Ziffern der Matrix reichen von 0 (nicht zutreffend bzw. kein Einfluss, keine Relevanz) bis 4 (sehr stark), d. h. Ziffer 1 bedeutet eine geringe, Ziffer 2 eine mäßige und Ziffer 3 eine überdurchschnittliche Stärke.

Nr.	Titel der Maßnahme	Landes- einfluss	Relevanz der be- troffenen Emitten- ten	Minde- rungs- effekt im Einzel- fall	Relevanz der Minderung, de- ren Vorausset- zung damit ge- schaffen wird	sonstige Ein- flüsse	Priori- sierung
L1	Reduktion tierhaltungsbedingter THG-Emissionen	2	2	3	0		ja
L2	Stärkung der Vergärung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und landwirtschaftlichen Reststoffen	1	1	2	0		nein
L3	Stärkung einer nachhaltigen Ernährungsweise	1	0	0	2	Trend besteht	nein
L4	Senkung der Stickstoffüberschüsse und Verbesserung der Stickstoffeffizienz bei der Bodennutzung	2	2	3	0		ja
L5	Humusschonende Bodenbewirtschaftung	2	2	3	0		ja
L6	Erhalt von Dauergrünland	2	2	2	0		nein
L7	Agroforstsysteme und Kurzumtriebsplantagen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen	1	2	1	0		nein
L8	Entwicklung und Pilotierung landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen mit Elektroantrieb	1	1	2	0		nein
L9	Ausbau des Ökolandbaus	2	0	0	2		nein
L10	Verankerung der Themen Klimaschutz, Klimaanpassung und Ernährung in der landwirtschaftlichen und pädagogischen Berufsausbildung	1	0	0	2		nein

Tabelle 28 Maßnahmenpriorisierung im Sektor Landwirtschaft

Quelle: Einschätzung und Darstellung IE Leipzig

Im Ergebnis wurden L1, L4 und L5 priorisiert und im Anhang in Form von Maßnahmenblättern ausführlicher dargestellt.

Unabhängig von der Priorisierung ist grundsätzlich jede Maßnahme sinnvoll, die direkt oder indirekt zu einer Einsparung von THG-Emissionen führt. Daher sollten auch die nicht-priorisierten Maßnahmen

weiterverfolgt werden. Bei drei dieser Maßnahmen (L3, L9 und L10) lassen sich THG-Minderungen weder berechnen noch abschätzen, sie schaffen aber die

Voraussetzungen, um deutliche Emissionsminderungen zu erzielen.

5.7 Sektor Sonstige

Für den Sektor „Sonstige“ wurden keine Maßnahmenvorschläge erarbeitet. Im Zuge der Szenarienerstellung galten für diesen Sektor in allen Szenarien dieselben Modellierungsannahmen, sodass sich mit Blick auf das

Ziel der Klimaneutralität Thüringens keine Umsetzungslücke zwischen den Szenarien ergibt, die einen Handlungsbedarf in Form von weiteren Maßnahmen für das Land Thüringen zur Folge hätte.

5.8 Sektor LULUCF

5.8.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes

Die Handlungsmöglichkeiten Thüringens im LULUCF-Sektor ergeben sich aus den übergeordneten internationalen und nationalen Rahmenbedingungen. Für die Erreichung der Klimaschutzziele geht es in Thüringen konkret um den Erhalt der Kohlenstoffsensken durch Waldumbau zu klimastabilen Waldgesellschaften sowie den Aufbau von Kohlenstoffvorräten durch Waldmehrung zuzüglich des langfristigen Aufbaus des Produktespeichers durch Holzbiomasse.

Neben dem Übereinkommen von Paris ist auf EU-Ebene die LULUCF-Verordnung eine Regelung, die auf die Anrechnung von CO₂ aus Grünland, Ackerland und Wäldern in der EU-Klimapolitik abzielt. Im Rahmen des „Fit for 55“-Programms der EU wurden verschiedene Optionen geprüft, wie die Zielsetzungen der LULUCF-Verordnung verschärft werden können und der gesamte Landnutzungsbereich bis 2035 Klimaneutralität erreichen kann. Dazu soll das bestehende Governance-System weiterentwickelt werden, um Strategien

zur Verringerung der THG-Emissionen und zur Erhöhung der Kohlenstofffestlegung im LULUCF-Sektor in integrierter Weise durch bestehende Politiken (z. B. Gemeinsame Agrarpolitik) und noch zu entwickelnde ökonomische Anreizinstrumente zur Umsetzung bringen zu können.

Auf Basis des übergeordneten Rahmens ist es eine zentrale Aufgabe der Mitgliedstaaten, geeignete Instrumente zu gestalten, die dann wiederum Anreize für freiwillige Maßnahmen für einzelwirtschaftliche Entscheidungsträger setzen können, um die nationalen Emissionsziele zu erreichen. Im Bundes-Klimaschutzgesetz wird vom LULUCF-Sektor eine im Zeitverlauf ansteigende Nettosenkenleistung gefordert.

Für die nachgeordneten Ebenen (Bundesländer und einzelwirtschaftliche Entscheidungsträger) wurden bisher noch keine Verpflichtungen formuliert. Solange dies im Detail nicht geregelt ist, sind alle Klimaschutzleistungen freiwillig. Hier besteht Regelungsbedarf.

5.8.2 Sektorspezifische Maßnahmenvorschläge

Die Maßnahmen im LULUCF-Sektor betreffen in Thüringen vor allem den Wald und die Holzprodukte und zielen darauf ab, die CO₂-Senkenwirkung zu sichern und im Idealfall zu erhöhen.

W1) Beschleunigter Waldumbau und Stabilisierung der Waldökosysteme (Produktive und klimastabile Wälder sichern); die Thüringens Landesregierung hat mit dem Sonderprogramm Waldumbau und Wiederbewaldung bereits einen Weg eingeschlagen, um den Wald möglichst rasch wieder in einen guten, klimawandelangepassten Zustand zu versetzen; insgesamt begrenzter und schwer zu quantifizierender Beitrag für die Zielerreichung im LULUCF-Sektor bis zum Jahr 2040, da sich die Baumartenanteile und Mischungen nur langsam verändern lassen

W2) Aufgabe der forstlichen Bewirtschaftung ausgewählter Teilflächen; zeitweilige Einstellung des Holzeinschlags bis Gleichgewicht zwischen Zuwachs und Verwitterung von Totholz und anderer Biomasse erreicht ist, Anreicherung des Holzvorrats und damit der Senkenleistung für Kohlenstoff; es kommt nur eine teilflächige Aufgabe der forstwirtschaftlichen Bewirtschaftung in Betracht; positive Nebeneffekte: Kohlenstoffanreicherung im Waldboden, Verbesserung weiterer Waldfunktionen

wie Biodiversität, Wasserhaushalt, (ggf. Erholungsfunktion); Umsetzbarkeit von Verwaltungsvereinbarungen sowie Verfügbarkeit von Flächen und Fördermitteln abhängig

W3) Schutz bestehender Waldflächen (vor Inanspruchnahme durch Siedlungs- und Infrastrukturentwicklungen), Waldflächenmehrung (vorwiegend auf ertragsarmen landwirtschaftlich genutzten Flächen)

W4) Klimaschutzpotenziale durch nachhaltige Holznutzung sichern beziehungsweise erhöhen (Holzproduktespeicher ist ein integrativer Bestandteil des Kohlenstoffkreislaufs); zu bevorzugen sind Holzverwertungen zu Produkten mit langer Lebensdauer (z. B. Bauholz, Massivmöbel)

W5) dauerhafte Erhöhung des Anteils gehölzartiger Strukturelemente (Feldgehölze, Hecken, Knicks, Baumreihen, Alleen)

Die Maßnahmen im LULUCF-Sektor haben oft eine zeitverzögerte Wirkung und entfalten ihre Wirkung erst über einen längeren Zeitraum. Für eine positive Auswirkung auf die Senkenleistung ist es wichtig, dass die Maßnahmen langfristig und konsistent umgesetzt werden.

5.8.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge

Die Bewertung der Maßnahmenvorschläge basiert auf einer vereinfachten Priorisierung, die sich an Kombination der Kriterien Stärke des Landeseinflusses und Relevanz für die THG-Minderung (relative Stärke der Minderung und Gewicht der betroffenen Emittenten)

orientiert (Tabelle 29). Die Maßnahme W1 hat keine direkte THG-Wirkung, ist aber eine notwendige Voraussetzung, damit der Wald als Kohlenstoffsenke fungieren kann. In diesem Fall wurde die Relevanz eines

guten, klimawandelangepassten Waldzustandes bewertet.

Die Ziffern der Matrix reichen von 0 (nicht zutreffend bzw. kein Einfluss, keine Relevanz) bis 4 (sehr stark), d. h. Ziffer 1 bedeutet eine geringe, Ziffer 2 eine mäßige und Ziffer 3 eine überdurchschnittliche Stärke.

Nr.	Titel der Maßnahme	Landes- einfluss	Relevanz der be- troffenen Emitten- ten	Minde- rungs- effekt im Einzel- fall	Relevanz der Minderung, de- ren Vorausset- zung damit ge- schaffen wird	sonstige Ein- flüsse	Priori- sierung
W1	Beschleunigter Waldumbau und Stabilisierung der Waldökosysteme	2	0	0	3	läuft be- reits	nein
W2	Aufgabe der forstlichen Bewirtschaftung ausgewählter Teilflächen	1	1	1	0		nein
W3	Schutz bestehender Waldflächen, Waldflächenmehrung	2	2	2	0		ja
W4	Sicherung einer nachhaltigen Holznutzung	2	2	2	0		ja
W5	Erhöhung des Anteils gehölzartiger Strukturelemente	1	1	1	0		nein

Tabelle 29 Maßnahmenpriorisierung im Sektor LULUCF
Quelle: Einschätzung und Darstellung IE Leipzig

Die priorisierten Maßnahmen W3 und W4 sind im Anhang in Form von Maßnahmenblättern ausführlicher dargestellt. Auch die Maßnahme W1 ist mit hoher

Relevanz einzustufen. Sie wurde jedoch nicht priorisiert, da Thüringen bereits das Sonderprogramm Waldumbau und Wiederbewaldung aufgelegt hat.

5.9 Sektorübergreifende Maßnahmen

5.9.1 Handlungsmöglichkeiten des Landes

Bei den sektorübergreifenden Maßnahmen gelten die Handlungsmöglichkeiten des Bundeslandes, wie in Kapitel 5.1 beschrieben. Je nach betroffenen Sektoren

sind zudem sektorspezifische Gegebenheiten zu beachten, wie im ersten Abschnitt des jeweiligen Sektors erörtert.

5.9.2 Sektorübergreifende Maßnahmenvorschläge

Sektorübergreifende Maßnahmenvorschläge sollen jene Maßnahmen ergänzen, die (vorwiegend) in einem Sektor wirken. Demnach umfassen sie unterschiedliche Themenfelder, die teils bereits in bestimmten Sektoren adressiert werden, zum Teil aber auch genuin übergreifend konstituiert sind (bspw. Strategien, Infrastruktur).

- Ü1) Kommunales Energiemanagement (KEM) mit automatisierter Verbrauchserfassung
- Ü2) Verankerung energie- und klimapolitischer Ziele Thüringens auf Ebene der regionalen Planungsgemeinschaften durch Vorgaben im Landesentwicklungsprogramm (LEP)
- Ü3) Fachkräftemangel aktiv mindern und langfristig vorbeugen: Fortführung und Weiterentwicklung von Qualifizierungsprogrammen zu Nachhaltigkeit, Klimaschutz, Dekarbonisierung, Erneuerbare Energie und Energieeffizienz
- Ü4) Koordinierungsstelle und Dialogforum Energiewende
- Ü5) Verbesserte Finanzierungsmöglichkeiten zur Entwicklung von Erneuerbaren-Energien-Projekten, Energieeffizienzprojekten, Kraft-Wärme-Kopplungs-Projekten und Projekten zur Nutzung von Abwärme

- Ü6) Verbreiterung und Verstetigung von Klimabildungsprojekten und -inhalten
- Ü7) Unterstützung sozialer Innovationen zur THG-Minderung, bspw. durch Forschung und Entwicklung zur Schaffung, Weiterentwicklung und Förderung sozialpolitischer Maßnahmen
- Ü8) Klimaschutzstrategien für Landkreise und Gemeinden
- Ü9) Bereitstellung von Biomasse zur stofflichen und energetischen Nutzung
- Ü10) Optimierung der Energieversorgung und Energieeffizienz in Kläranlagen
- Ü11) Kataster für Georisiken und Klimarisiken, zur Schaffung von mehr Transparenz für Bevölkerung, Unternehmen und Verwaltung
- Ü12) Aufbau eines öffentlichen Klimainformationssystems für Aufklärung und Ermöglichung von Planungssicherheit
- Ü13) Aufbau eines öffentlichen Zentrums für „Grüne Daten“, in dem Daten zur Transformation gesichtet, aufbereitet und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden, um Transparenz, Wissen und Akzeptanz zu fördern

- | | |
|--|---|
| <p>Ü14) Entwicklung eines Zentrums „KI für Klimaschutz und Klimaanpassung“</p> <p>Ü15) Direkte finanzielle Beteiligung Thüringens an Projekten der Energiewende, wie (lokale) Erzeugungsanlagen, Energie-Infrastrukturen etc. Dies kann derartige Projekte voranbringen, Anreize für private Investitionen schaffen und die Sichtbarkeit der Anliegen des Landes fördern.</p> <p>Ü16) Entwicklung einer bundeslandspezifischen Carbon-Management-Strategie (CCS/CCU-Strategie inkl. Transportinfrastruktur). Dadurch können u. a. Klarheit über die notwendigen Anstrengungen geschaffen, Möglichkeiten eruiert, Stakeholder zusammengebracht und Planungssicherheit gefördert werden.</p> <p>Ü17) Parallele Genehmigungsprozesse für H₂- und CO₂-Infrastruktur organisieren, damit Synergien genutzt werden können. Dadurch kann der Gesamtaufwand des Infrastrukturaufbaus (Genehmigung, Bau, Kosten etc.) reduziert werden.</p> | <p>Ü18) Neben den Klimaschutzverträgen (Bundesebene) CAPEX-Förderung auf Landesebene für Abscheidungsanlagen.</p> <p>Ü19) Nachhaltige und zirkuläre öffentliche Beschaffung (Schaffung „Grüner Märkte“)</p> <p>Ü20) Einrichtung eines Klimaforums für die Bevölkerung Thüringens: Maßnahme, um die Bürgerinnen und Bürger aktiv in den Klimaschutzprozess einzubinden und ihre Meinungen, Ideen und Anliegen zu berücksichtigen. Ein Klimaforum bietet eine Plattform zum Informationsaustausch, zur Diskussion und zur gemeinsamen Entwicklung von Lösungsansätzen. Insgesamt trägt die Einrichtung eines Klimaforums dazu bei, die Akzeptanz und Unterstützung für Klimaschutzmaßnahmen in der Bevölkerung zu erhöhen und die Wirksamkeit dieser Maßnahmen durch die Einbeziehung vielfältiger Perspektiven und Ideen zu steigern.</p> <p>Ü21) Schaffung verlässlicher Rahmenbedingungen in Kombination mit Bürokratievereinfachung und schlanken Gesetzen, bspw. über Digitalisierung / Einsatz von KI in der Verwaltung</p> |
|--|---|

5.9.3 Bewertung der Maßnahmenvorschläge

Für die Bewertung der Maßnahmenvorschläge wurde analog zum Vorgehen in den einzelnen Sektoren in einem ersten Schritt eine vereinfachte Priorisierung vorgenommen, die sich an den Kriterien der Stärke des Landeseinflusses und der Relevanz für die THG-Minderung (relative Stärke der Minderung und Gewicht der betroffenen Emittenten) orientiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse dieser ersten Bewertung. Sofern keine direkte THG-Wirkung abschbar

ist, die Maßnahme aber eine notwendige Voraussetzung für andere wirksame Maßnahmen darstellt, wurde die Relevanz der Emissionsminderung betrachtet, für die jeweils die Voraussetzung geschaffen wird.

Die priorisierten Maßnahmen sind in Anhang 1 in Form von Maßnahmenblättern ausführlicher dargestellt und bewertet.

Die Ziffern in der Matrix reichen jeweils von 0 (nicht zutreffend, bzw. kein Einfluss, keine Relevanz) bis 4 (sehr stark), d. h. Ziffer 1 bedeutet eine geringe, Ziffer

2 eine mäßige und Ziffer 3 eine überdurchschnittliche Stärke.

Nr.	Titel der Maßnahme	Landes- einfluss	Rele- vanz der be- troffe- nen Emit- tenten	Minde- rungs- effekt im Einzel- fall	Rele- vanz der Minde- rungs- derer Vo- raus- setzung damit ge- schaf- fen wird	sons- tige Ein- flüsse	Prio- risie- rung
Ü1	Kommunales Energiemanagement (KEM) mit automatisierter Verbrauchserfassung	2	0	0	2		nein
Ü2	Verankerung energie- und klimapolitischer Ziele Thüringens auf Ebene der regionalen Planungsgemeinschaften durch Vorgaben im Landesentwicklungsprogramm (LEP)	3	0	0	2		nein
Ü3	Fachkräftemangel aktiv mindern und langfristig vorbeugen	3	0	0	3		ja
Ü4	Koordinierungsstelle und Dialogforum Energiewende	2	0	0	3		nein
Ü5	Verbesserte Finanzierungsmöglichkeiten zur Entwicklung von EE -Projekten, Energieeffizienzprojekten, Kraft-Wärme-Kopplungs-Projekten und Projekten zur Nutzung von Abwärme	2	0	0	3		ja
Ü6	Verbreiterung und Verstetigung von Klimabilidungsprojekten und -inhalten	3	0	0	1		nein
Ü7	Unterstützung sozialer Innovationen zur THG-Minderung	2	0	0	1		nein

Ü8	Klimaschutzstrategien für Landkreise und Gemeinden	2	0	0	2		nein
Ü9	Bereitstellung von Biomasse zur stofflichen und energetischen Nutzung	1	3	3	0		nein
Ü10	Optimierung der Energieversorgung und Energieeffizienz in Kläranlagen	2	2	2	0		nein
Ü11	Kataster für Georisiken und Klimarisiken	2	0	0	1		nein
Ü12	Aufbau eines öffentlichen Klimainformationssystems	2	0	0	1		nein
Ü13	Aufbau eines öffentlichen Zentrums für „Grüne Daten“	2	0	0	1		nein
Ü14	Entwicklung eines Zentrums „KI für Klimaschutz und Klimaanpassung“	2	0	0	2		nein
Ü15	Direkte finanzielle Beteiligung Thüringens an Projekten der Energiewende	4	2	2	0		nein
Ü16	Carbon-Management-Strategie (CCS/CCU-Strategie inkl. Transportinfrastruktur)	2	0	0	3		nein
Ü17	Parallele Genehmigungsprozesse für H2- und CO2-Infrastruktur organisieren	3	0	0	1		nein
Ü18	CAPEX-Förderung auf Landesebene für Abseideungsanlagen	3	1	2	0		nein
Ü19	Nachhaltige und zirkuläre öffentliche Beschaffung (Schaffung „Grüner Märkte“)	3	2	2	0		nein
Ü20	Einrichtung eines Klimaforums für die Bevölkerung Thüringens	4	0	0	2		nein
Ü21	Schaffung verlässlicher Rahmenbedingungen in Kombination mit Bürokratievereinfachung und schlanken Gesetzen	1	0	0	3		nein

Tabelle 30 Priorisierung der sektorübergreifenden Maßnahmen
Quelle: Einschätzung und Darstellung Prognos AG

Im Großteil der Maßnahmenvorschläge lassen sich THG-Minderungen im Einzelfall kaum oder nur in

geringem Umfang erwarten oder werden als zu selektiv eingeschätzt. Zwar würde durch viele der

Maßnahmenvorschläge mit Landeseinfluss (≥ 2) eine relevante Menge an Emittenten erreicht, sie werden jedoch nicht als notwendige Voraussetzungen für THG-Minderungen erachtet.

Im Ergebnis wurden somit die zwei folgenden Maßnahmen priorisiert:

- Fachkräftemangel aktiv mindern und langfristig vorbeugen: Fortführung und Weiterentwicklung von Qualifizierungsprogrammen zu Nachhaltigkeit, Klimaschutz, Dekarbonisierung, Erneuerbare Energie und Energieeffizienz (Ü3)
- Verbesserte Finanzierungsmöglichkeiten zur Entwicklung von Erneuerbaren-Energien-Projekten, Energieeffizienzprojekten, Kraft-

Wärme-Kopplungs-Projekten und Projekten zur Nutzung von Abwärme (Ü5)

Die Ausarbeitung der priorisierten Maßnahmenvorschläge und damit die implizite inhaltliche Begründung ihrer Auswahl erfolgt im Anhang in Form von Maßnahmensteckbriefen.

Belastbare THG-Minderungen lassen sich hier nicht berechnen bzw. konkret abschätzen, da es sich um Voraussetzungen und Unterstützungen von bestehenden Maßnahmen und Trends handelt.

Die Priorisierung stellt keine Empfehlung dar, auf nicht-priorisierte Maßnahmen zu verzichten. Jede Maßnahme, die direkt oder indirekt zur Einsparung von THG-Emissionen führt, ist grundsätzlich sinnvoll.

6 Investitions- und Finanzierungsanalyse zur Zielerreichung

In diesem Kapitel werden die zum Erreichen von Klimaneutralität notwendigen Investitionen berechnet, analysiert und u. a. hinsichtlich Finanzierung, den Ebenen öffentlich/privat und unter Einordnung der Landesebene erörtert.

6.1 Investitionsanalyse

Die Transformation des Energiesystems hin zur Klimaneutralität erfordert, wie auch bereits in den vorhergehenden Abschnitten diskutiert und untersucht, einen starken Aus- und Umbau der Infrastrukturen. Dabei ist der Einsatz von Klimaschutztechnologien oftmals (noch) mit höheren Investitionen verbunden, im Vergleich zur Nutzung der herkömmlichen (fossilen) Technologien. Es ergibt sich – zumindest vorübergehend – ein höherer Investitionsbedarf. Den höheren Investitionen stehen geringere laufende Kosten gegenüber. Durch den Einsatz effizienterer Technologien verringern sich durch die Transformation in der Regel die Ausgaben für Energie.

Im nachfolgenden Unterkapitel wird zuerst untersucht, welcher zusätzliche Investitionsbedarf sich durch die Transformation in Thüringen ergibt. Anschließend wird diskutiert, welche Akteure in der Finanzierung dieser Investitionen eine Rolle spielen (könnten).

Die Betrachtung des Investitionsbedarfs fokussiert sich auf die **Klimaschutzinvestitionen**. Dabei werden folgende Definitionen verwendet: Als Klimaschutzinvestitionen werden diejenigen Investitionen aufgefasst, welche ohne Klimaschutz nicht getätigt würden. Es sind dies die Mehrinvestitionen gegenüber den

konventionellen (fossilen) Referenztechnologien, die ohnehin getätigt werden müssten, beispielsweise die Mehrkosten einer Wärmepumpe im Vergleich zu einer Gasbrennwertheizung. Zu den Klimaschutztechnologien zählen aber auch Investitionen in Güter, die ohne Klimaschutz nicht nachgefragt würden, beispielsweise CCS-Anlagen oder die H₂-Infrastruktur. Berücksichtigt werden sowohl Investitionen zur Erweiterung der Bestände an effizienten und emissionsarmen Anlagen²⁴, Fahrzeugen und Geräten, als auch Investitionen in den Ersatz bestehender Anlagen.

In einem ersten Schritt werden die Investitionsbedarfe auf Bundesebene detailliert nach Sektoren und Technologien ermittelt. Grundlage dazu bilden verschiedene Arbeiten, darunter eine Studie für die KfW zu Green Finance [Prognos et al. 2021a] und Studien für das BMWK mit Analysen verschiedener Pfade zur Zielerreichung [Prognos et al. 2021b], [Prognos 2024b], [Prognos et al. 2021c]. In diesen Studien wurde der Investitionsbedarf anhand des für die Zielerreichung benötigten Umfangs an Klimaschutzgütern (z. B. installierte Leistung an PV oder Wind in GW, Anzahl Elektro-Pkw, Wärmepumpen oder Anlagen mit CCS) und den jeweiligen spezifischen Technologiekosten berechnet (Kosten je installiertem GW, je Fahrzeug,

²⁴ Der Begriff „Anlagen“ wird in diesem Kontext im Sinne der VGRdL verwendet; demnach handelt es sich um produzierte Vermögensgüter, die dauerhaft oder wiederholt im

Produktionsprozess eingesetzt werden (mit Nutzungsdauer von mehr als einem Jahr).

usw.). Ausgehend vom abgeschätzten Investitionsbedarf auf Bundesebene werden anhand regionaler Strukturdaten (u. a. Bevölkerung, Wirtschaft) sowie der Mengengerüste und Technologieentwicklungen im Zielszenario 2045 (Kapitel 3) die Bundeswerte regionalisiert und der Investitionsbedarf in Thüringen herausgearbeitet. Alle Investitionen werden in realen Preisen mit dem Basisjahr 2022 ausgewiesen. Die Berechnung erfolgt auf Grundlage der zentralen Technologiefelder, unterschieden werden u. a.:

Private Haushalte:

- Wärmeerzeuger für Gebäude (inkl. Wärmepumpen)
- energetische Sanierungen des Gebäudebestands/Gebäudehülle
- Effizienz im Neubau
- Geräte und Beleuchtung

Gewerbe, Handel, Dienstleistungen:

- Wärmeerzeuger für Gebäude (inkl. Wärmepumpen)
- Gebäudehülle
- Klima, Lüftung, Haustechnik
- Geräte und Beleuchtung
- Prozesse

Industrie:

- Wärmeerzeuger (inkl. Wärmepumpen, verschiedene Öfen, Fernwärme)
- Effizienz bei Dämmung, Geräten, Öfen und Elektrolyse
- Effizienz bei sonstigen Querschnittstechnologien

- CCS
- Die Branchen Stahl, Zement, Grundstoffchemie werden gesondert auf Basis von Produktionsstandorten und Anlagen betrachtet.

Verkehr (jeweils unterschiedliche Antriebe):

- Pkw
- Nutzfahrzeuge
- Busse
- Schiene
- Ladeinfrastruktur

Energiewirtschaft:

- Stromerzeugung, u. a. nach Wind onshore, PV, Biomasse, Gas, Kohle
- Fernwärmeerzeugung, u. a. nach Erdgas, Großwärmepumpen, Elektrodenkessel, H₂
- H₂-Erzeugung/Elektrolyseure

Energie-Infrastrukturen/-Netze:

- Stromnetze
- Stromspeicher
- Wasserstoffnetze
- Wärmenetze
- Wärmespeicher
- CO₂-Netze

Am aktuellen Rand sind die abgeschätzten Klimaschutzinvestitionen mit Statistiken bzw. Publikationen des BMWK abgeglichen, u. a. in den Bereichen Erneuerbare Energien, Energieeffizienz in Gebäuden und Energieeffizienz in der Industrie [BMWK 2023b], [BMWK 2023c].

Zur Abbildung der Investitionen in Klimaschutztechnologien werden überwiegend verfügbare Investitionskostendaten in die jeweiligen Technologien aus den genannten Studien herangezogen. Für eine Technologie wird dabei die spezifische Investition mit der angenommenen Technologieverbreitung kombiniert. Bspw. wird bei Ersatz von Gasbrennwertheizungen mit Wärmepumpen die ent-

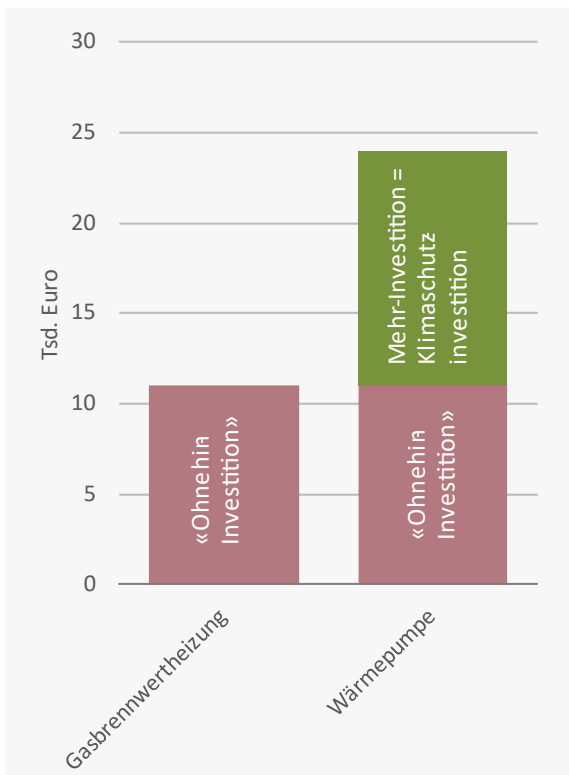


Abbildung 68 Schematische Darstellung der gewählten Abgrenzung von Klimaschutzinvestitionen
Quelle: Prognos AG

sprechende spezifische Mehrinvestition (siehe Abbildung 68) mit dem szenarischen Umfang dieses Ersatzes hochgerechnet. Bei Ergänzungen bzw. Neubauten wird z. B. die szenarische Menge an Anlagen zur CO₂-Abscheidung mit spezifischen Investitionen in Abscheidungsanlagen verknüpft.

Zur Abbildung von Energieeffizienz in der Industrie werden daneben für die jeweilige Technologie der Effizienzeffekt im Endenergieverbrauch über spezifische Investitionskosten auf eine Klimaschutzinvestition übertragen. Die spezifischen Größen stammen aus Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, unter Berücksichtigung von Lebens- und Amortisationsdauern, Energiekosten, Volllaststunden etc., bspw. aus Evaluationen. Für Energieeffizienz in der Industrie werden u. a. Öfen auf unterschiedlichen Temperaturniveaus und Querschnittstechnologien, wie Kompressoren, Mahlprozesse, Pumpen, Raumlüftung oder Walzen, unterschieden.

Die Investitionen für die oben erwähnten Technologiefelder werden anschließend auf Ebene der Sektoren zusammengefasst. Die Investitionen für die Energiewirtschaft und Energieinfrastrukturen integrieren die Ergebnisse aus Kapitel 4 (Entwicklungsnotwendigkeiten im Bereich der Energieversorgung und der öffentlichen Infrastrukturen). Die ausgewiesenen Investitionen im Sektor Energiewirtschaft beinhalten unter anderem die Investitionen in die erneuerbare Stromerzeugung (hauptsächlich PV und Wind) sowie in den Ausbau der Wärmeerzeugung (für Wärmenetze). Die Investitionen in Energieinfrastrukturen beinhalten die Komponenten Stromnetze, Fernwärmenetze, H₂-Netz und CO₂-Netz sowie Batteriespeicher. Nicht berücksichtigt wurden Klimaschutzinvestitionen in den Bereichen Land- und Forstwirtschaft.

Im Zeitraum 2015 bis 2020 lagen die jährlichen Klimaschutzinvestitionen in Thüringen gemäß den eigenen Abschätzungen im Bereich von 1,2 – 1,4 Mrd. Euro₂₀₂₂. Im Zielszenario nehmen die jährlichen Klimaschutzinvestitionen deutlich zu und steigen auf rund 3,4 – 3,6 Mrd. Euro₂₀₂₂ im Zeitraum 2030 bis 2040 (siehe Abbildung 69). Anfang der 2040er nehmen die

Klimaschutzinvestitionen wieder ab, im Jahr 2045 liegen sie bei rund 2,9 Mrd. Euro₂₀₂₂.

Vergleichsweise hohe Investitionen zeigen sich im Gebäudesektor (Haushalte, GHD). Im Gebäudesektor bleiben die Investitionen bis zum Jahr 2045 erhöht im Vergleich zum Zeitraum 2015 – 2020. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass der Umbau der Wärmeversorgung nicht vor 2045 abgeschlossen ist (Zubau Wärmepumpen und Anschlüsse an Wärmenetze als Ersatz der Öl- und Gasheizungen). Verstärkt wird der Anstieg durch die voraussichtlich weiter steigenden Baukosten, wodurch energetische Sanierungen, aber auch Neubauten teurer werden.²⁵ Die Zusatzinvestitionen betreffen im Gebäudesektor jedoch überwiegend langlebige Güter (u. a. Wärmepumpen, Bauteile der Gebäudehülle). Wärmeerzeuger können bis zu 25 Jahre oder länger betrieben werden und Bauteile an Gebäuden wie Dächer oder Außenwände können über 40 Jahre genutzt werden. Betrachtet über diese Zeitperioden sind die Klimaschutzinvestitionen in der Regel wirtschaftlich und die durch die Effizienzmaßnahmen eingesparten Energiekosten überwiegen die höhere Investition. Die Finanzierung der hohen Investition kann jedoch für Gebäudebesitzer herausfordernd sein.

Hohe Investitionsbedarfe zeigen sich bis zum Jahr 2035/2040 auch im Sektor Energiewirtschaft (EE-Erzeugung) und bei der Energieinfrastruktur. In diesem Technologiesegment ist der Umbau bis zum Jahr 2040 weitgehend abgeschlossen, die Klimaschutzinvestitionen nehmen dann wieder deutlich ab. Beim Ausbau der Erzeugung aus erneuerbaren Energien entfallen die

Investitionen hauptsächlich auf den Windenergieausbau, aber auch der PV-Zubau ist relevant. Bei der Energieinfrastruktur entfallen rund drei Viertel der Klimaschutzinvestitionen auf die Stromnetze.

Im Verkehrssektor zeigen sich bis zum Jahr 2030 mittlere jährliche Klimaschutzinvestitionen von rund 0,4 Mrd. Euro₂₀₂₂, danach sinken diese bis 2045 auf knapp die Hälfte ab. Mit über 40 % entfällt der größte Anteil der Klimaschutzinvestitionen im Verkehrssektor auf die Ladeinfrastruktur. Insgesamt fallen für den Ersatz der Fahrzeugflotte hohe jährliche Investitionen an. Da die Elektroantriebe im Zeitverlauf (deutlich) billiger werden, sind die Mehrkosten gegenüber den fossilen Antrieben begrenzt und es ergeben sich im Fahrzeugbereich (u. a. Pkw, Lkw) nur geringe Klimaschutzinvestitionen.

Im Industriesektor fallen im Vergleich zu den übrigen Sektoren die geringsten Klimaschutzinvestitionen an, diese verteilen sich jedoch auf wenige Akteure bzw. Unternehmen. Zudem können sich, wo Wasserstoff oder synthetische Energieträger eingesetzt werden, auch höhere laufende Energiekosten ergeben. Die Klimaschutzinvestitionen betreffen hauptsächlich den Einbau effizienterer und klimaverträglicherer Öfen im Bereich Prozesswärme.

Im Zeitraum 2025 bis 2030 ergibt sich für die Zielerreichung insgesamt ein Bedarf an Klimaschutzinvestitionen von rund 17 Mrd. Euro₂₀₂₂. Davon entfallen rund 50 % auf den Gebäudesektor (siehe Abbildung 70). Bis zum Jahr 2045 steigen die notwendigen Klimaschutzinvestitionen zum Umbau des Energiesystems und zur Erreichung der Klimaschutzziele in

²⁵ Im Mittel der Jahre 2007-2020 stieg der inflationsbereinigte Baupreisindex gemäß den Angaben des statistischen Bundesamtes in Deutschland um rund 1,3 %/Jahr, in den Jahren 2021-2023 war der Anstieg höher, flachte jedoch im

Verlauf des Jahres 2023 wieder ab. In der Fortschreibung wird eine inflationsbereinigte Steigerung der Baukosten um 1,1 %/Jahr unterstellt (Hochbau).

Thüringen insgesamt auf annähernd 70 Mrd. Euro₂₀₂₂. Bezogen auf das Jahr sind dies Klimaschutzinvestitionen im Umfang von rund 3 Mrd. Euro₂₀₂₂. Dies entspricht im Mittel der Jahre einem Anteil von 4,5 % an der jährlichen Bruttowertschöpfung (BWS) in Thüringen.²⁶ Im Zeitraum 2015 bis 2020 lag der Anteil der Klimaschutzinvestitionen an der BWS noch bei rund 2-2,5 %.

Die ausgewiesenen Klimaschutzinvestitionen bilden die Mehrinvestitionen gegenüber den ohnehin zu

tätigenden Investitionen ab. Der effektive Investitionsbedarf liegt entsprechend deutlich höher. Werden die Ohnehin-Investitionen der berücksichtigten Sachgüter bei der Betrachtung einbezogen, so zeigt sich für den Zeitraum 2025 – 2030 ein Investitionsbedarf von rund 60 Mrd. Euro₂₀₂₂ und bis zum Jahr 2045 ein Bedarf im Umfang von 200 Mrd. Euro₂₀₂₂. Davon sind rund 130 Mrd. Euro₂₀₂₂ Ohnehin-Investitionen, welche auch ohne Klimaschutzinvestitionen getätigt würden.

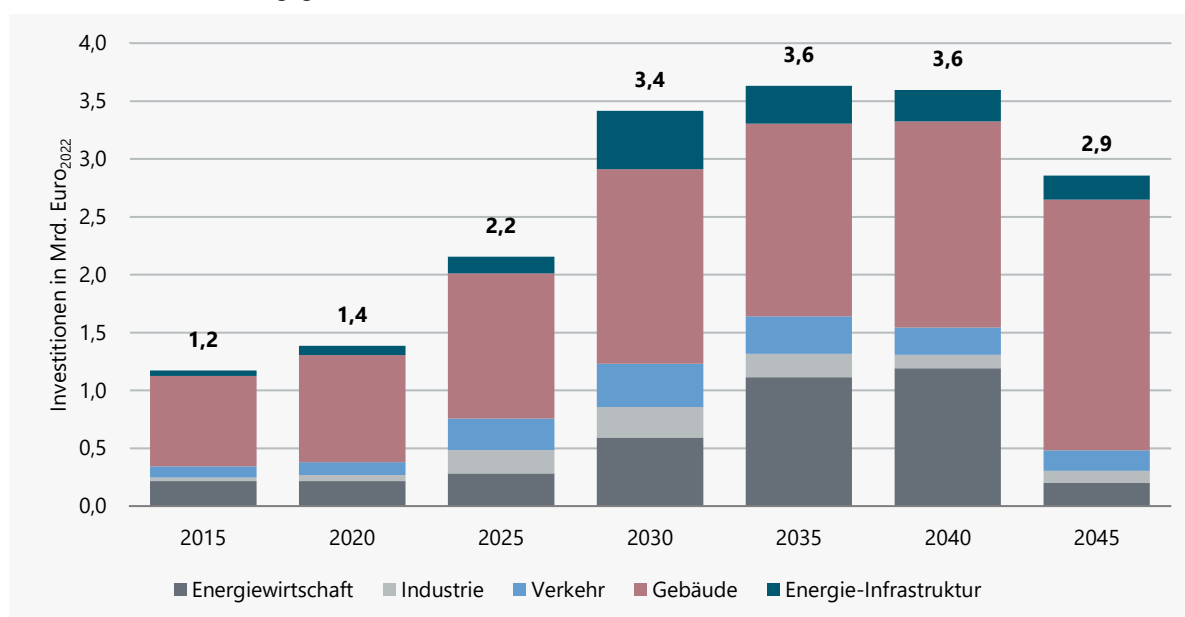


Abbildung 69 Mittlere jährliche Klimaschutzinvestitionen im Zielszenario nach Sektoren, in Mrd. Euro₂₀₂₂

Die Mittelwerte beziehen sich auf 5-Jahresperioden.

Quelle: Prognos AG

Hinweis: Die ausgewiesenen Investitionen im Umfang von rund 200 Mrd. Euro₂₀₂₂ berücksichtigen nur den Anteil der Investitionen, welcher direkt oder indirekt relevant für das Energiesystem ist. Nicht berücksichtigt sind beispielsweise Investitionen in Bildung, Forschung, Gesundheit oder in Straßen. Die gesamten

Investitionen der Volkswirtschaft sind entsprechend nochmals deutlich höher. Auf nationaler Ebene entsprechen die berechneten klimaschutz- und energiesystembezogenen Gesamtinvestitionen rund 40-50 % der Bruttoanlageninvestitionen der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung.

²⁶ Die für die Berechnung des Anteils verwendete Entwicklung der BWS bezieht sich auf die exogenen Rahmendaten

(vgl. Kapitel 2.5.3). Rückkoppelungen der Klimaschutzinvestitionen auf die BWS sind nicht explizit berücksichtigt.

6.2 Akteure und Finanzierung

Die ermittelten Investitionsbedarfe sind von sehr unterschiedlichen Akteuren zu tragen. Der öffentliche Sektor, für den der Staat direkt verantwortlich ist, macht nur eine Teilmenge an den notwendigen Klimaschutzinvestitionen aus. Für Thüringen belaufen sich die ermittelten Klimaschutzinvestitionen, die insgesamt im Zeitraum 2025 bis 2045 durch die Akteure des öffentlichen Bereichs getätigt werden müssen, auf um die 10 Mrd. Euro (siehe nachfolgende Ausführungen). Dies entspricht rund 15 % der ermittelten gesamten Klimaschutzinvestitionen von knapp 70 Mrd. Euro. Im Vergleich ermittelte Prognos zusammen mit der KfW 2022 einen Anteil von bundesweit rund 10 %, die direkt durch Akteure des öffentlichen Bereichs zu tragen sind [Prognos 2022].

Innerhalb der Zahlen sind nur die Investitionen enthalten, die direkt bei den öffentlichen Akteuren anfallen, jedoch keine weiteren Mittel wie beispielsweise Fördermittel im Rahmen von staatlichen Klimaschutzmaßnahmen. Der öffentliche Bereich umfasst dabei die Kernhaushalte (Bund, Länder, Kommunen), Extrahaushalte, aber auch öffentliche Einrichtungen und Unternehmen, welche ihre Umsätze überwiegend am Markt Erlösen. Die so abgegrenzten Investitionen des öffentlichen Bereichs belasten also nur zu einem (geringen) Teil die öffentlichen Haushalts-Budgets. Insbesondere in den Bereichen der Energieerzeugung und Infrastruktur werden die Investitionen durch öffentliche Unternehmen (u. a. kommunale Energieversorger) getätigt und v. a. über die Produkte an die Kunden überwältzt. Beispielsweise können Stadtwerke ihre Klimaschutz-Investitionen so auf ihre Produkte umlegen. Der Anteil der Klimaschutzinvestitionen, der aus den Haushalts-Budgets finanziert werden muss, lässt sich

in dieser Studie nicht näher bestimmen, u. a. da dieser stark von der Instrumentierung sowie Ausgestaltung der Instrumente abhängt.

Für Thüringen zeigt die aktuelle Studie (siehe Abbildung 70), dass mehr als die Hälfte des notwendigen Investitionsbedarfs der bis zum Jahr 2045 kumulierten Klimaschutzinvestitionen im Gebäudesektor anfällt. Innerhalb des Gebäudesektors entfallen fast zwei Drittel auf den Sektor Private Haushalte und gut ein Drittel auf den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD). In der oben zitierten KfW-Studie wurde auf nationaler Ebene ein Anteil von rund 20 % öffentlicher Gebäude an den Nichtwohngebäuden des GHD-Sektors geschätzt. Bezogen auf die Klimaschutzinvestitionen im Gebäudesektor ergäbe sich so ein öffentlicher Anteil von rund 8 % (2,9 Mrd. Euro bis 2045). Darin enthalten sind auch die staatlichen Liegenschaften der öffentlichen Verwaltung des Freistaats Thüringens, detailliert bestimmen lässt sich der Anteil in dieser Studie jedoch nicht.

Bei den Energie-Infrastrukturen gibt es Bereiche, die eindeutig dem Freistaat Thüringen bzw. seinen Kommunen zuzuordnen sind. Insgesamt müssen im Szenario bis 2045 rund 7 Mrd. Euro an Klimaschutzinvestitionen in Energie-Infrastrukturen getätigt werden. Der größte Teil hiervon entfällt mit 63 % auf die Stromverteilnetze. Für diese Investitionen sind die jeweiligen Energieversorger zuständig. Eine Hauptlast entfällt dabei auf die TEAG bzw. deren Tochter die Thüringer Energienetze GmbH, die mehrheitlich im Besitz von Thüringer Kommunen ist, sowie weiteren Stadtwerken und kommunalen Energieversorgern. Ebenfalls den kommunalen Energieversorgern zurechnen lässt sich der Ausbau der Wärmenetze, auf den rund 500 Mio.

Euro entfallen. Die weiteren Infrastrukturen im Bereich des Stromübertragungsnetzes, der Wasserstoffinfrastruktur sowie wahrscheinlich auch der CO₂-Infrastruktur fallen in die Zuständigkeit von Unternehmen, deren Anteilsstrukturen aus heutiger Perspektive nicht dem Land Thüringen zuzuordnen sind.

Im Bereich der Energieerzeugungstechnologien entfällt der überwiegende Anteil der Investitionen auf Stromerzeugungstechnologien. Diese Investitionen werden vor allen Dingen von privaten Unternehmen getätigt und über Strommarkterlöse sowie Bundesmittel refinanziert. Sofern kommunale Energieversorger aus Thüringen hieran beteiligt sind, ist daher keine Belastung der Thüringer öffentlichen Haushalte anzunehmen. Innerhalb der Erzeugungstechnologien lassen sich für Thüringer Kommunen bzw. kommunale Unternehmen allerdings die anstehenden Investitionen zur Fernwärmeerzeugung von rund 900 Mio. Euro bis 2045 zurechnen.

Im Verkehrsbereich fallen Investitionen im Umfang von rund 2,4 Mrd. Euro bis 2045 zur Errichtung von Ladestationen an. Dafür könnten teilweise Thüringer Kommunen aufkommen (Annahme rund 60 %). Kosten für den Ausbau des Schienenverkehrs werden größtenteils nicht dem Land Thüringen oder seinen Kommunen zugerechnet, sondern u. a. der Deutschen Bahn. Diese Investitionen liegen in einer Größenordnung von knapp 500 Mio. Euro. Weitere Kosten im Verkehrsbereich liegen bei elektrischen Fahrzeugen, wobei von den insgesamt Kosten von 3,0 Mrd. Euro hier vor allen Dingen die Investitionen für elektrifizierte Busse in Höhe von rund 300 Mio. Euro bei Thüringer Kommunen bzw. den Verkehrsgesellschaften der Landkreise liegen. Im Bereich der Pkw, die mit über 1,5 Mrd. Euro den größten Teil in diesem Bereich ausmachen, sind staatliche Fuhrparks wie z. B. Dienstfahrzeuge der Polizei enthalten. Der überwiegende Anteil dieser Investitionen wird jedoch bei Privaten Haushalten und Unternehmen liegen.

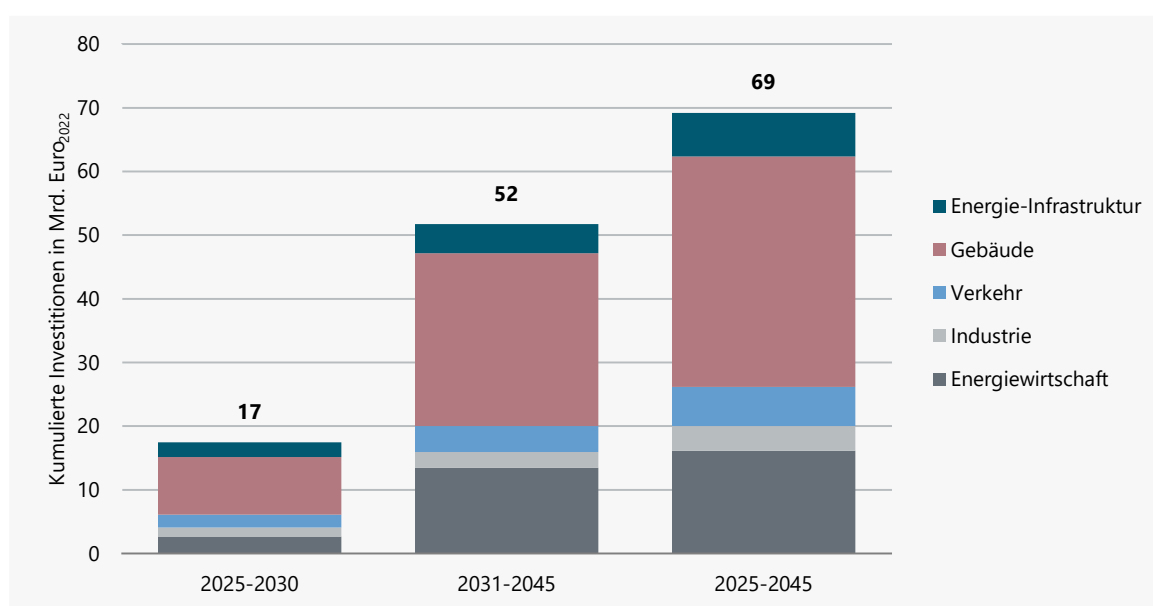


Abbildung 70 Kumulierte Klimaschutzinvestitionen im Zielszenario nach Sektoren, in Mrd. Euro₂₀₂₂
Quelle: Prognos AG

Die Investitionen im Bereich der Industrie werden vollständig privaten Unternehmen zugerechnet.

Diejenigen Klimaschutzinvestitionen, die explizit und direkt dem Landeshaushalt zugeordnet werden können, lassen sich, wie dargelegt, in dieser Studie nicht näher bestimmen. Dabei geht es vor allem um staatliche Liegenschaften und Fuhrparks sowie Dienstfahrzeuge. Durch Zusammenarbeit mit anderen Akteuren, wie über den Klimapakt mit den Kommunen, werden außerdem finanzielle Unterstützungen regionaler Akteure durch den Landesetat bewerkstelligt. Daneben laufen auch (indirekt) Bundes- und EU-Mittel über die Landesebene: Neben Eigenmitteln werden bspw. Regionalisierungsmittel zur Bereitstellung des Schienenpersonennahverkehrs eingesetzt und Thüringer Klima- und Naturschutzprojekte über Verbände, Kommunen, Stiftungen und Förderprogramme (ko-)finanziert bzw. gefördert.

Den Kommunen und Landkreisen lassen sich direkt (bspw. über TEAG/TEN) der Großteil der 500 Mio. Euro für Wärmenetze, der 900 Mio. Euro für Fernwärmerzeugung sowie der 4,2 Mrd. Euro für Stromverteilnetze zuordnen. Daneben sind auch die 300 Mio. Euro an Investitionen in elektrifizierte Busse und rund 1,5 Mrd. Euro für die Ladeinfrastruktur auf kommunaler Ebene zu verorten.

Auf Bundesebene ist hinsichtlich Finanzierung von Klimaschutzinvestitionen vor allem der Klima- und Transformationsfonds zu nennen. Dieser finanziert sich vorwiegend aus Erlösen des Europäischen und nationalen Emissionshandels sowie aus Bundeszuschüssen. Er sieht Investitionen und Förderungen in allen relevanten Bereichen vor, von Gebäuden über Elektromobilität und Eisenbahninfrastruktur bis hin zu Entlastungen energieintensiver Unternehmen. Über eine

Aufstockung waren für den Zeitraum 2024 bis 2027 knapp 212 Mrd. Euro vorgesehen, wobei Ende 2023 durch ein Urteil des Bundesverfassungsgerichts Kreditermächtigungen in Höhe von 60 Mrd. Euro gestrichen wurden. 2024 standen dennoch 49 Mrd. Euro zur Verfügung, Mittel für die Folgejahre sind in ähnlichem Umfang eingeplant. Zudem ist der Bund für Unternehmen, wie die Deutsche Bahn, mit erheblichen Investitionsbedarfen verantwortlich (siehe oben).

Übergeordnet werden auch auf EU-Ebene große Anstrengungen in Richtung THG-Neutralität unternommen, nicht zuletzt durch den Green Deal. Über diverse Programme und Fonds werden alle untergeordneten Ebenen dabei unterstützt, die genannten Investitionen zu tätigen. Zentral dabei sind der Innovationsfonds, inklusive Einkünfte aus dem EU-ETS, der Kohäsionsfonds sowie die Aufbau- und Resilienzfazilität. Für den Mehrjahreshaushalt von 2021 bis 2027 sind über 580 Mrd. Euro für Klimaschutzmaßnahmen berücksichtigt.

Im Überblick erstrecken sich die Finanzierungsmöglichkeiten für Klimaschutz von der Kapitalmarktfinanzierung, über Green Bonds und Fonds, bis hin zu grüner Kreditfinanzierung. Neben Eigenmitteln kann u. a. über Förder-/Preisgelder (unterschiedlicher Ebenen und Akteure), Rein-/Divestment, Contracting, Partnerschaften, sowie Crowdfunding und Sponsoring vorgegangen werden (vgl. [Prognos 2022]).

Festzuhalten ist, dass alle Ebenen eng zusammenarbeiten (müssen), um die notwendige Transformation zu stemmen und zu finanzieren. Außerdem sind die Mittel einer Ebene nicht (gänzlich) additiv mit jenen der anderen Ebenen, da es zu durchaus komplexen Finanzströmen und Wechselwirkungen der Haushalte und Budgets kommen kann. Auch dadurch lässt sich in

dieser Studie die genaue Höhe der Investitionen nicht abgrenzen, die über die jeweiligen Ebenen finanziert werden müssen. Vor allem langfristig bestehen hier u. a. über die stetige Veränderung und Ausgestaltung von Rahmenbedingungen, Maßnahmen und

Instrumenten sowie sich ggf. verändernde Eigentumsstrukturen auch erhebliche Unsicherheiten. Die vorgenommene grobe (vorwiegend qualitative) Abgrenzung zeigt aber Schwerpunkte der Investitionsbedarfe auf allen Ebenen.

6.3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Transformation des Freistaats Thüringen zur Erreichung der THG-Neutralität ist mit erheblichen Anstrengungen verbunden. Trotzdem ist festzuhalten: Diese Studie zeigt (erneut), dass die dafür notwendigen Technologien und Maßnahmen (größtenteils) vorhanden bzw. verfügbar sind. Die aufgezeigten Entwicklungsnotwendigkeiten in der gesamten Wirtschaft, inklusive öffentlicher Infrastrukturen, sind in Thüringen mit berechneten kumulierten Klimaschutzinvestitionen in der Höhe von knapp 70 Mrd. Euro₂₀₂₂ verbunden, die in den nächsten 20 Jahren getätigt werden müssen, um den skizzierten Transformationspfad zu beschreiten. Diese zusätzlichen Investitionen sind jedoch nicht mit den Kosten für den Freistaat Thüringen gleichzusetzen. Durch die zusätzlichen Investitionen können Arbeitsplätze geschaffen werden und die Investitionen der einen Akteure sind die Einnahmen anderer Akteure – bei diesen entsteht so zusätzliches Einkommen. Außerdem können durch die Effizienz- und Klimaschutzmaßnahmen die Ausgaben für Energie reduziert werden. Insgesamt kann sich so die Transformation positiv auf die Volkswirtschaft in Thüringen auswirken. Auf Bundesebene haben dies verschiedene Studien gezeigt (siehe z. B. [GWS, Prognos 2024]).

Damit die Transformation gelingen kann, müssen unterschiedliche Maßnahmen auf allen Ebenen zeitnah und entschlossen umgesetzt werden. Viele der Instrumente im Bereich Energie- und Klimaschutzpolitik wirken (bereits) auf europäischer und Bundesebene.

Für den Freistaat Thüringen werden in Kapitel 5 100 Maßnahmen vorgeschlagen. 28 von diesen werden zur vorrangigen Umsetzung empfohlen, da diese in Bezug auf den Einfluss des Landes und die erwarteten Effekte als besonders effektiv erscheinen. Da die Mehrzahl der

Maßnahmen im Rahmen der vorliegenden Studie nicht im Detail ausgestaltet werden konnte, stehen deren Kosten bisher oft noch nicht fest, in den Darstellungen im Anhang werden jedoch – wo möglich – Anhaltspunkte für Kostenschätzungen gegeben. Auch die THG-Minderungswirkung lässt sich nur für einen Teil der Maßnahmen seriös abschätzen, weil diese wesentlich vom Umfang und Zeitpunkt der Umsetzung abhängen – oder weil es sich um Maßnahmen handelt, die erst die Voraussetzungen für weitere Maßnahmen schaffen. Thüringen nimmt hier v. a. eine Ermöglichungs- und Unterstützungsposition ein: Die Maßnahmenumsetzung läuft vielfach lokal ab, wodurch Thüringen die Nähe zu den unterschiedlichen Akteuren suchen und nutzen kann. Durch Information und Wissenstransfer hat das Land die Möglichkeit, proaktiv und zusammen mit den Stakeholdern am Gelingen der Transformation zu arbeiten. Zusätzlich kann durch Monitoring und Evaluation des Umsetzungsstands die Zielerreichung sichergestellt und notfalls dezidiert nachgesteuert werden. In diesem Sinn muss der Freistaat Thüringen auch im Ausblick entschlossen an der Maßnahmenumsetzung arbeiten, damit die selbst gesetzten Ziele erreicht werden können. Eine der Voraussetzungen bleibt jedoch, dass auch die Maßnahmen der europäischen und der deutschen Ebene weiter konsequent umgesetzt werden können, denn ohne das Zusammenspiel dieser Ebenen könnte auch Thüringen seine Klimaziele nicht erreichen.

7 Verzeichnisse

Abkürzungsverzeichnis	193
Abbildungsverzeichnis	198
Tabellenverzeichnis	202
Glossar	204
Literaturverzeichnis	208

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (annus)
AK	Arbeitskreis
AFS	Agroforstsysteme
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
BECCS	Bio-energy with carbon capture and storage (energetische Biomassenutzung mit Kohlendioxid-Abscheidung und -lagerung)
BEV	Battery electric vehicle (batterieelektrisches Kraftfahrzeug)
BIK	Bundesförderung Energie und Klimaschutz
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BNetzA	Bundesnetzagentur
BVT	Beste verfügbare Technologie
BWI	Bundeswaldinventur
BWS	Bruttowertschöpfung
C	Kohlenstoff
CCS	Carbon Capture and Storage (Kohlendioxid-Abscheidung und Speicherung)
CCU	Carbon Capture and Utilization (Kohlendioxid-Abscheidung und Verwendung)
CH ₄	Methan
CMS	Carbon Management-Strategie
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO _{2äq}	CO ₂ -Äquivalente
CRF	Common reporting format (gemeinsames Berichtsformat gemäß IPCC)
DACCS	Direct Air Carbon Capture and Storage (Kohlendioxid-Abscheidung aus der Umgebungsluft und Speicherung)
DB	Deutsche Bahn AG
DDR	Deutsche Demokratische Republik

DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
Destatis	Statistisches Bundesamt
DüV	Düngeverordnung
EBS	Ersatzbrennstoff
EE	Erneuerbare Energie(n)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV	Endenergieverbrauch
EEW	Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity (Europäischer Verband der Übertragungsnetzbetreiber)
ETS	European Union Emissions Trading System (Europäisches Emissionshandelssystem)
EU	Europäische Union
EZFH	Ein- und Zweifamilienhäuser
Ew	Einwohner
F	Fluor
FFK	Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha
FGSV	Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen
FKW	vollständig halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
FSC	Forst Stewardship Council
Fz-km	Fahrzeugkilometer
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistung und übrige Verbraucher (Teilsektor des Gebäudesektors)
GW _{el}	Gigawatt elektrische Leistung
GWh	Gigawattstunde (Mio. kWh)
GWP	Erderwärmungspotenzial (Global Warming Potential)
ha	Hektar

HFKW	teilweise halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe
HH	Haushalte
H ₂	Wasserstoff
ICMS	Industrial Carbon Management Strategy (Industriestrategie zum Kohlenstoffmanagement)
IEKS	Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie
IE Leipzig	Leipziger Institut für Energie GmbH
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Weltklimarat)
kBv	koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung
Kfz	Kraftfahrzeug
km	Kilometer
KSpG	Kohlendioxid-Speicherungsgesetz
KSpTG	Kohlendioxid-Speicherungs- und -Transportgesetz
kt	Kilotonne
kW	Kilowatt
KW	Kohlenwasserstoffe
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kWh	Kilowattstunde
KSG	Klimaschutzgesetz
KUP	Kurzumtriebsanlage
LAK	Länderarbeitskreis Energiebilanzen
LAWP	Landesabfallwirtschaftsplan
LED	Light-emitting diode (Leuchtdiode)
Lkw	Lastkraftwagen
LN	Landwirtschaftlich genutzte Fläche
LNe	Langfriststrategie Negativemissionen
LULUCF	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft

MaStR	Marktstammdatenregister
MFH	Mehrfamilienhäuser
MID	Mobilität in Deutschland
MIV	Motorisierter Individualverkehr
Mt	Megatonnen
MVA	Müllverbrennungsanlage
MW	Megawatt
N ₂ O	Distickstoffmonoxid
NF ₃	Stickstofftrifluorid
NIR	Nationaler Inventarbericht
NMVO	Non-methane volatile organic compounds (flüchtige organische Verbindungen außer Methan)
NO _x	Stickoxide
NWG	Nichtwohngebäude
OGE	Open Grid Europe
ONS	Ortsnetzstationen
PJ	Petajoule
Pkw	Personenkraftwagen
PtG	Power-to-Gas (Gas auf Strombasis)
PtL	Power-to-Liquid (Flüssigkraftstoff auf Strombasis)
SF ₆	Schwefelhexafluorid
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr
TAB	Thermische Abfallbehandlung
THG	Treibhausgas
ThürKlimaG	Thüringer Klimagesetz
TLBV	Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr

TJ	Terajoule
tkm	Tonnenkilometer
TWh	Terrawattstunden (Mrd. kWh)
UGRdL	Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder
ÜvP	Übereinkommen von Paris 2015
vdz	Verein Deutscher Zementwerke
VGRdL	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Länder
VMT	Verkehrsverbund Mittelthüringen
WindBG	Windenergieflächenbedarfsgesetz
WInfra	Wärmeinfrastruktur-Modell der Prognos AG
Zug-km	Zugkilometer
ZÖL	Zukunftsstrategie Ökolandbau

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Beiträge der Sektoren zur Reduktion der THG-Emissionen im Zielszenario 2045	2
Abbildung 2	Einfluss von Maßnahmen auf Aktivitäten und Emissionsintensitäten	22
Abbildung 3	Schematische Modelldarstellung der Szenariengestaltung	23
Abbildung 4	Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in Thüringen in ausgewählten Jahren von 1990 bis 2020	24
Abbildung 5	Historie der Bevölkerungsentwicklung und Varianten der Bevölkerungsprojektion in Thüringen	26
Abbildung 6	Historie und Projektion des Bruttoinlandsproduktes (preisbereinigt, Basis 2015)	27
Abbildung 7	Historie und Projektion der Bruttowertschöpfung nach Sektoren (preisbereinigt, Basis 2015)	29
Abbildung 8	Historie und Projektion der Zahl der Erwerbstätigen im Inland nach Sektoren	30
Abbildung 9	Index zu den sozioökonomischen Rahmenbedingungen im Überblick (2020 = 100)	31
Abbildung 10	Entwicklung der THG-Emissionen der Energiewirtschaft in Thüringen	40
Abbildung 11	Entwicklung des Umwandlungseinsatzes der Energiewirtschaft im Referenzszenario in Thüringen	44
Abbildung 12	Entwicklung der THG-Emissionen der Energiewirtschaft im Referenzszenario in Thüringen	45
Abbildung 13	Entwicklung des Umwandlungseinsatzes der Energiewirtschaft im Zielszenario 2045 in Thüringen (ohne DACCS)	50
Abbildung 14	Entwicklung der THG-Emissionen der Energiewirtschaft im Zielszenario 2045 in Thüringen (ohne DACCS)	51
Abbildung 15	Entwicklung des Umwandlungseinsatzes der Energiewirtschaft im Zielszenario 2040 in Thüringen (ohne DACCS)	54
Abbildung 16	Entwicklung der THG-Emissionen der Energiewirtschaft im Zielszenario 2040 in Thüringen (ohne DACCS)	55
Abbildung 17	Entwicklung des Endenergieverbrauchs in der Industrie Thüringens	57
Abbildung 18	Entwicklung der THG-Emissionen in der Industrie Thüringens	58
Abbildung 19	Referenzszenario: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Industrie	60
Abbildung 20	Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Industrie	61

Abbildung 21	Zielszenario 2045: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Industrie	63
Abbildung 22	Zielszenario 2045: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Industrie	65
Abbildung 23	Zielszenario 2040: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Industrie	66
Abbildung 24	Zielszenario 2040: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Industrie	67
Abbildung 25	Entwicklung des Energieverbrauchs im Gebäudesektor Thüringens	69
Abbildung 26	Entwicklung der THG-Emissionen im Gebäudesektor Thüringens	70
Abbildung 27	Referenzszenario: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Gebäude	73
Abbildung 28	Referenzszenario: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude	74
Abbildung 29	Zielszenario 2045: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Gebäude	77
Abbildung 30	Zielszenario 2045: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Gebäude	78
Abbildung 31	Zielszenario 2040: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Gebäude	79
Abbildung 32	Zielszenario 2040: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Sektor Gebäude	80
Abbildung 33	Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr Thüringens	82
Abbildung 34	Entwicklung der THG-Emissionen aus dem Verkehr Thüringens	82
Abbildung 35	Referenzszenario: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Verkehr	85
Abbildung 36	Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Verkehr	86
Abbildung 37	Zielszenario 2045: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Verkehr	90
Abbildung 38	Zielszenario 2045: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Verkehr	91
Abbildung 39	Zielszenario 2040: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Sektor Verkehr	92
Abbildung 40	Zielszenario 2040: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Verkehr	93
Abbildung 41	Entwicklung der THG-Emissionen aus der Landwirtschaft Thüringens	95
Abbildung 42	Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft	97
Abbildung 43	Zielszenario 2045: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft	99
Abbildung 44	Zielszenario 2040: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Landwirtschaft	101
Abbildung 45	Entwicklung der THG-Emissionen aus dem Sektor Sonstige	103
Abbildung 46	Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor Sonstige	104
Abbildung 47	Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF in Thüringen	107

Abbildung 48	Referenzszenario: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF	109
Abbildung 49	Zielszenario 2045 und Zielszenario 2040: Entwicklung der THG-Emissionen im Sektor LULUCF	111
Abbildung 50	Entwicklung der THG-Emissionen aller Sektoren im Referenzszenario	112
Abbildung 51	Entwicklung der THG-Emissionen nach Gasen im Referenzszenario	114
Abbildung 52	Entwicklung der THG-Emissionen aller Sektoren im Zielszenario 2045	115
Abbildung 53	Entwicklung der THG-Emissionen nach Gasen im Zielszenario 2045	116
Abbildung 54	Entwicklung der THG-Emissionen aller Sektoren im Zielszenario 2040	117
Abbildung 55	Durchschnittlicher Nettozubau an Stromerzeugungskapazitäten im Szenario 2045	127
Abbildung 56	Kosten für den durchschnittlichen Nettozubau an Stromerzeugungskapazitäten im Szenario 2045	128
Abbildung 57	Wasserstoffleitungen in Thüringen (Kernnetz und mögliche Anschlussleitungen an Industriestandorte)	132
Abbildung 58	Aktuelle Vorschläge für ein CO ₂ -Netz in Deutschland links CO ₂ -Netz OGE / rechts CO ₂ -Netz vdz	133
Abbildung 59	CO ₂ -Netz für Thüringen (Option 1) EBS/MVA = Ersatzbrennstoff-/Müllverbrennungsanlagen, zählen zu den TAB-Anlagen	135
Abbildung 60	CO ₂ -Netz für Thüringen (Option 2)	136
Abbildung 61	Investitionsausgaben CO ₂ -Netz Thüringen (Option 1)	137
Abbildung 62	Verteilung des Fernwärmeverbrauchs als Anteil am Gesamtwärmebedarf nach Städten in Thüringen	139
Abbildung 63	Darstellung der Trassenlänge je Fernwärmenetz in Thüringen in km	140
Abbildung 64	Entwicklung der Bruttofernwärmeerzeugung im Zielszenario in Thüringen	141
Abbildung 65	Durchschnittlicher Nettozubau der Erzeugung nach Anlagen im Zielszenario 2045 in Thüringen	142
Abbildung 66	Mittlere jährliche Investitionen für Wärmenetze und Fernwärmeerzeugung im Zielszenario 2045 in Thüringen	143
Abbildung 67	Handlungsebenen für öffentlichen und privaten Klimaschutz	146

Abbildung 68	Schematische Darstellung der gewählten Abgrenzung von Klimaschutzinvestitionen	184
Abbildung 69	Mittlere jährliche Klimaschutzinvestitionen im Zielszenario nach Sektoren, in Mrd. Euro ₂₀₂₂ Die Mittelwerte beziehen sich auf 5-Jahresperioden.	186
Abbildung 70	Kumulierte Klimaschutzinvestitionen im Zielszenario nach Sektoren, in Mrd. Euro ₂₀₂₂	188

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Direkte Treibhausgase und deren Treibhausgaspotential (GWP) sowie Verweildauer in der Atmosphäre	10
Tabelle 2	THG-Bilanz: Sektoren und deren IPCC-Quellkategorien	11
Tabelle 3	Historie und Projektion der Bruttowertschöpfung nach Sektoren (preisbereinigt, Basis 2015)	29
Tabelle 4	Historie und Projektion der Zahl der Erwerbstätigen nach Sektoren	30
Tabelle 5	Entwicklung von Stromerzeugung und -verbrauch in Thüringen	37
Tabelle 6	Entwicklung von Fernwärmeerzeugung und -verbrauch in Thüringen	38
Tabelle 7	Entwicklung des Umwandlungseinsatzes der Energiewirtschaft in Thüringen	39
Tabelle 8	Entwicklung der Stromerzeugung und -verbrauch im Referenzszenario bis 2045 in Thüringen	42
Tabelle 9	Entwicklung der Fernwärmeerzeugung und -verbrauch im Referenzszenario bis 2045 in Thüringen	43
Tabelle 10	Entwicklung der Stromerzeugung und -verbrauch im Zielszenario 2045 in Thüringen	47
Tabelle 11	Entwicklung der Fernwärmeerzeugung und -verbrauch im Zielszenario 2045 in Thüringen	49
Tabelle 12	Entwicklung der Stromerzeugung und -verbrauch im Zielszenario 2040 in Thüringen	52
Tabelle 13	Entwicklung der Fernwärmeerzeugung und -verbrauch im Zielszenario 2040 in Thüringen	53
Tabelle 14	THG-Minderung nach Szenarien im Vergleich zum ThürKlimaG	119
Tabelle 15	Bilanzielle Deckung des Energiebedarfs durch EE-Stromüberschuss gemäß ThürKlimaG	120
Tabelle 16	Deckungsbeiträge der erneuerbaren Energien nach Szenarien im Vergleich zur IEKS	122
Tabelle 17	Endenergieverbrauch und Energieproduktivität nach Szenarien im Vergleich zu den Zielen der IEKS	124
Tabelle 18	Annahmen zu spezifischen Kosten für Stromerzeugungsanlagen	128
Tabelle 19	Aktuelle Leitungskilometer im Verteilnetz in Thüringen	129

Tabelle 20	Laufender Ausbau und Ausbaubedarf im Thüringer Verteilnetz	130
Tabelle 21	Laufende Investitionen und Investitionsbedarf im Thüringer Verteilnetz	130
Tabelle 22	Standorte mit schwer vermeidbaren Emissionen in Thüringen	134
Tabelle 23	Handlungsnotwendigkeiten für batterieelektrische Pkw in Thüringen	144
Tabelle 24	Maßnahmenpriorisierung im Sektor Energiewirtschaft	152
Tabelle 25	Maßnahmenpriorisierung im Sektor Industrie	157
Tabelle 26	Maßnahmenpriorisierung im Gebäudesektor	162
Tabelle 27	Maßnahmenpriorisierung im Sektor Verkehr	169
Tabelle 28	Maßnahmenpriorisierung im Sektor Landwirtschaft	173
Tabelle 29	Maßnahmenpriorisierung im Sektor LULUCF	176
Tabelle 30	Priorisierung der sektorübergreifenden Maßnahmen	180

Glossar

Bruttoinlandsprodukt:	Maß für die Produktion von Waren und Dienstleistungen im Inland nach Abzug der Vorleistungen. Es ist die Summe der Bruttowertschöpfung der einzelnen Sektoren bzw. Wirtschaftsbereiche abzüglich der unterstellten Entgelte für Bankdienstleistungen und zuzüglich der nichtabziehbaren Umsatzsteuer und der Einfuhrabgaben, die vom Staat oder von Institutionen der Europäischen Union auf eingeführte Güter erhoben werden [in Anlehnung an VGRdL 2024].
Bruttostromerzeugung:	Als Bruttostromerzeugung wird jene Menge an erzeugter elektrischer Arbeit bezeichnet, die in einem Kraftwerk direkt an den Generatorklemmen erzeugt wird. Die Brutto-Stromerzeugung einer Region entspricht der elektrischen Arbeit, die sämtliche Kraftwerke dort erzeugen. Stromimporte und -exporte über die Grenzen dieser Region sowie der Eigenverbrauch der Erzeuger werden nicht berücksichtigt [in Anlehnung an LAK 2023].
Bruttostromverbrauch:	Als Bruttostromverbrauch bezeichnet man den Stromverbrauch einer Region unter Berücksichtigung der Im- und Exporte (Stromaustauschsaldo) sowie dem Eigenstromverbrauch der Kraftwerke und dem Pumpstromverbrauch, nicht aber der Netzverluste. Der Brutto-Stromverbrauch lässt sich aus dem Netto-Stromverbrauch zuzüglich Verlusten durch den Transport durch das Stromnetz und Eigenverbrauch der Erzeugungsanlagen ermitteln [in Anlehnung an LAK 2023]. Im Gegensatz zum LAK Energiebilanzen und dem BMWK berücksichtigt der Bruttostromverbrauch gemäß der EU-Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie) nicht den Eigenstromverbrauch der Kraftwerke.
Bruttowertschöpfung:	Die Bruttowertschöpfung der Wirtschaftsbereiche wird in der Regel durch Abzug der Vorleistungen von den Produktionswerten ermittelt. Die

	Produktionswerte der Unternehmen stellen im Wesentlichen den Wert der Verkäufe von Waren und Dienstleistungen aus eigener Produktion sowie von Handelsware für andere Wirtschaftseinheiten dar [in Anlehnung an VGRdL 2024].
EE-Anteil am Primärenergieverbrauch:	Der Anteil der erneuerbaren Energieträger (EE) inklusive der biologisch abbaubaren Fraktionen der zur Energieerzeugung verbrannten Abfälle am Primärenergieverbrauch wird in der Energiestatistik nach einer international einheitlichen Methode ermittelt. Für Sonnen- und Windenergie sowie Wasserkraft wird der PEV gleichgesetzt mit der erzeugten Energiemenge. Nur bei der Biomasse ist - wie bei den konventionellen Energieträgern - der Energiegehalt des eingesetzten Rohstoffs bekannt [in Anlehnung an LAK 2023]. Der Indikator ist Gegenstand und Ziel der EU-Richtlinie 2001/77/EG.
EE-Anteil an der Bruttostromerzeugung:	Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EE) bezogen auf die gesamte Bruttostromerzeugung des Landes bzw. Region [in Anlehnung an LAK 2023].
EE-Anteil am Bruttostromverbrauch:	Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EE) bezogen auf den Bruttostromverbrauch des Landes bzw. Region [in Anlehnung an LAK 2023].
Endenergieverbrauch:	Der Endenergieverbrauch umfasst die Verwendung der Energieträger nach ihrer Umwandlung in eine Form (z. B. Strom oder Heizöl), die der Verbraucher zur Erzeugung seiner benötigten Nutzenergie (z. B. Licht oder Heizwärme) verwenden kann [in Anlehnung an LAK 2023]. Der Endenergieverbrauch wird nach Verbrauchergruppen aufgeschlüsselt.
Endenergiesektoren:	Systematik zur Kategorisierung des Endenergieverbrauchs nach Verbrauchsgruppen (Haushalte Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) Industrie Verkehr) [in Anlehnung an LAK 2023].

Fernwärme:

Die von Heizwerken und Heizkraftwerken über Rohrleitungen in Form von Dampf, Kondensat oder Heizwasser an Dritte abgegebene Wärme. Nicht enthalten ist die von Wohnungsbaugesellschaften in eigener Regie erzeugte und an eigene Objekte gelieferte Wärme (Nahwärme) [in Anlehnung an LAK 2023].

Klimaschutzinvestitionen:

Als Klimaschutzinvestitionen werden diejenigen Investitionen aufgefasst, welche ohne Klimaschutz nicht getätigt würden. Es sind dies die Mehr-Investitionen gegenüber den konventionellen (fossilen) Referenztechnologien, die ohnehin getätigt werden müssten, beispielsweise die Mehrkosten einer Wärmepumpe im Vergleich zu einer Gasbrennwertheizung. Zu den Klimaschutztechnologien zählen aber auch Investitionen in Güter, die ohne Klimaschutz nicht nachgefragt würden, beispielsweise CCS-Anlagen oder die H₂-Infrastruktur. Berücksichtigt werden sowohl Investitionen zur Erweiterung der Bestände an Anlagen, Fahrzeugen und Geräten, als auch Investitionen in den Ersatz bestehender Anlagen.

Nettostromerzeugung:

Insgesamt erzeugte elektrische Energie, vermindert um den Eigenverbrauch der Kraftwerke, der Netz- und Umspannverluste sowie der Pumparbeit in Pumpspeicherkraftwerken [in Anlehnung an LAK 2023].

Nettostromverbrauch:

Der Nettostromverbrauch bezeichnet die elektrische Energie, die Verbraucher nutzen, ohne den Eigenbedarf der Kraftwerke und die Übertragungs- bzw. Netzverluste zu addieren. Der Nettostromverbrauch einer Region berechnet sich aus dem zur Verfügung stehenden Stromaufkommen (Nettostromerzeugung zuzüglich der Stromimporte und abzüglich der Stromexporte) abzüglich Verluste durch den Transport durch das Stromnetz, Pumpstromverbrauch und

Primärenergieverbrauch:

Eigenverbrauch der Erzeugungsanlagen [in Anlehnung an LAK 2023].

Der Primärenergieverbrauch (PEV) umfasst die für Umwandlung und Endverbrauch benötigte Energie. Er ergibt sich aus der Summe der im Land gewonnenen Primärenergieträger, den Bestandsveränderungen sowie dem Saldo aus Bezügen und Lieferungen [in Anlehnung an LAK 2023].

Treibhausgasneutralität

Der Begriff Treibhausgasneutralität wird in der Wissenschaft für Aktivitäten aller Art verwendet, bei denen entweder keine Treibhausgase in die Atmosphäre emittiert werden oder bei denen die Emissionen vollständig durch negative Emissionen ausgeglichen werden, es also insgesamt zu keinem Konzentrationsanstieg der klimarelevanten Gase in der Atmosphäre kommt. Im Gegensatz zu „klimaneutral“ heißt das nicht, dass das Klima durch die menschliche Aktivität unbeeinflusst bleibt, da das Klima auch durch veränderte Bodennutzung (mehr oder weniger Vegetation, Änderung der Albedo) beeinflusst werden kann.

Umwandlungseinsatz:

Die Verbuchung des Umwandlungseinsatzes erfolgt nach dem Bruttoprinzip. Als Umwandlungseinsatz der Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung (ohne KWK), der Industriewärmekraftwerke wird ausschließlich der der Stromerzeugung dienende Brennstoffeinsatz verbucht, nicht jedoch der Verbrauch für die Wärmeerzeugung. Als Umwandlungseinsatz der Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung (nur KWK) wird der Brennstoffeinsatz für den gesamten KWK-Prozess ausgewiesen. In Heizkraftwerken wird ausschließlich der der Fernwärmeerzeugung dienende Brennstoffeinsatz verbucht, soweit er außerhalb von KWK-Prozessen stattfindet [in Anlehnung an LAK 2023].

Literaturverzeichnis

- ADV 2024 Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen (Hrsg.): ADV-Monatsstatistik, monatlich veröffentlicht, zuletzt für Januar 2024 am 19.02.2024. Berlin, jeweils 14 Seiten.
- Agora Ind 2022 Agora Industrie: Klimaschutzverträge für die Industrietransformation – Analyse zur Zementbranche. April 2022. Agora Industrie, FutureCamp, Wuppertal Institut und Ecologic Institut. Online unter https://www.agora-industrie.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_10_DE_KIT/A-EW_259_Klimaschutzvertraege-Industrietransformation-Zement_WEB.pdf, zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
- AGR 2024 Austria Glas Recycling GmbH: Umweltvorteile – Mehrwert für Umwelt und Klima. Online unter: <https://www.agr.at/glasrecycling/umweltvorteile>, zuletzt aufgerufen am 28.05.2024
- ALB Bayern 2023 Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.: Zielwert-Futter-Optimierung (Zifo2) – Vollversion, im Internet unter: https://www.alb-bayern.de/De/Einkaufen/Software/Zifo2/futtermischungen-tierart-zunahme_ZifoWINVollversion.html, zuletzt aufgerufen am 22.05.2024.
- BAFA 2023 Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Amtliche Mineralölkosten für die Bundesrepublik Deutschland, monatlich veröffentlicht, zuletzt für Oktober 2023 am 22.03.2023.
- BDEW 2021 Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: BDEW-Studie „Wie heizt Deutschland?“, „Wie heizt Thüringen?“, Studien zum Heizungsmarkt. Berlin, September 2019.
- BDEW 2022 Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft_ Energiewirtschaft in Thüringen, Januar 2022. Online unter <https://www.bdew.de/energie/karten-der-energiewirtschaft/thueringen/#Netzkennzahlen>, zuletzt aufgerufen am 28.05.2024
- BKI 2023 Baupreisindex. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern (BKI). Online unter <https://bki.de/baupreisindex>, zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
- BMDV 2024 Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hrsg.): Bekanntmachung der Förderrichtlinie „Betriebliches Mobilitätsmanagement“ vom 10. April 2024. 13 Seiten, Berlin, 2024.
- BMWK 2023a Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Roadmap Energieeffizienz 2045. Dialogforum in Arbeit. Online unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/Energieeffizienz/roadmap-energieeffizienz-2045.html>, zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
- BMWK 2023b Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hrsg.): Erneuerbare Energien in Zahlen Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2022. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2022.html>

- BMWK 2023c Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hrsg.): Energieeffizienz in Zahlen Entwicklungen und Trends in Deutschland 2022. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=7
- BMWK 2024a Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Eckpunkte der Bundesregierung für eine Carbon Management-Strategie. Online unter https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/E/240226-eckpunkte-cms.pdf?__blob=publicationFile&v=12, zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
- BMWK 2024b Leitfaden und Technikkatalog Wärmeplanung des BMWK/BMWSB (Entwurfssfassung 04/2024, noch unveröffentlicht)
- BMWK 2024c Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Dekarbonisierung für den industriellen Mittelstand. Online unter <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2024/04/20240410-dekarbonisierung-fuer-den-industriellen-mittelstand.html>, zuletzt aufgerufen am 28.05.2024
- BMWK/BMF 2023 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz und Bundesministerium der Finanzen: Gesamtwirtschaftliches Produktionspotenzial und Konjunkturkomponenten; Datengrundlagen und Ergebnisse der Schätzungen der Bundesregierung; Berlin; 11.10.2023.
- BN 2024 Battery-News.com: Batterieproduktion in Europa. Online unter <https://battery-news.de/batterieproduktion/>, zuletzt aufgerufen am 14.03.2024.
- CEEC 2019 Center for Energy and Environmental Chemistry Jena (CEEC Jena): Forschungs- und Entwicklungspotenziale der Thüringer Energiespeicherbranche, Jena, 2019. Online unter: zuletzt aufgerufen am 23.05.2024
- DBI 2022 DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH: Wasserstoff speichern – soviel ist sicher, Transformationspfade für Gasspeicher. 222 Seiten, Juni 2022
- DEHSt 2023 Deutsche Emissionshandelsstelle: Anlagenregister zu emissionshandelspflichtigen Anlagen in Deutschland 2022. (Stand 02.05.2023).
- Dena 2010 Deutsche Energie-Agentur GmbH (Hrsg.): effizient mobil. Das Aktionsprogramm für Mobilitätsmanagement. Programmdokumentation 2008 – 2010. 88 Seiten, Berlin, 2010.
- Destatis 2008 Bauen und Wohnen. Mikrozensus - Zusatzerhebung 2006. Bestand und Struktur der Wohneinheiten. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2008.
- Destatis 2012 Bauen und Wohnen. Mikrozensus - Zusatzerhebung 2010. Bestand und Struktur der Wohneinheiten. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2012.

- Destatis 2019 Wohnen in Deutschland. Zusatzprogramm des Mikrozensus 2018. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2019.
- Destatis 2023a Statistisches Bundesamt: Holzeinschlagsstatistik (forstl. Erzeugerbetriebe) Deutschland, 2023.
- Destatis 2023b Wohnen in Deutschland. Zusatzprogramm des Mikrozensus 2022. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2023.
- Destatis 2023c Wohnungsbestand im Zeitvergleich, <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Wohnen/Tabellen/liste-wohnungsbestand.html#115202>, Stand 28. Juli 2023.
- Destatis 2024 Vorausberechneter Bevölkerungsstand: Bundesländer, Stichtag, Varianten der Bevölkerungsvorausberechnung; Statistisches Bundesamt, Wiesbaden; 2024.
- EC 2024 European Commission: Commission approves €2.2 billion German State aid scheme to support the decarbonisation of industrial processes to foster the transition to a net-zero economy. Online unter https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_24_1889, zuletzt aufgerufen am 28.05.2024
- EEA 2023 European Energy Agency: Hydrofluorocarbon phase-down in Europe. November 2023. Online unter <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/hydrofluorocarbon-phase-down-in-europe?activeAccordion=ecdb3bcf-bbe9-4978-b5cf-0b136399d9f8>, zuletzt aufgerufen am 18.03.2024.
- emobicon 2024 emobicon - Die eMobil Experten! (Hrsg.): Ladeinfrastruktur: Was kostet der Betrieb einer öffentlichen Ladestation? <https://emobicon.de/ladeinfrastruktur-was-kostet-der-betrieb-einer-oeffentlichen-ladestation/> Abruf vom 27.05.2024, Sundern, Januar 2024.
- EnEfG 2023 Gesetz zur Steigerung der Energieeffizienz in Deutschland /Energieeffizienzgesetz - EnEfG. Online unter <https://www.gesetze-im-internet.de/enefg/BJNR1350B0023.html>, zuletzt aufgerufen am 28.05.2024
- EVN 2023 Eisenbahn Verkehrs Nachrichten (EVN): Entwurf zum Nahverkehrsplan – So sollen Züge durch Thüringen rollen. Meldung in “Bahnblogstelle”. Unterföhring, 09.10.2023. online unter: https://bahnblogstelle.com/207952/entwurf-zum-nahverkehrsplan-so-sollen-zuege-durch-thueringen-rollen/#google_vignette
- Fernbahn 2024 Grahnert, M. (Hrsg.): Fernverkehrsseiten, Fernbahn aktuell, Fahrplanmodell Deutschlandtakt. <https://www.fernbahn.de/datenbank/?projektmanagement=deutschlandtakt>, letzter Aufruf am 20.02.2024.

- FFK, TMIL 2017 Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha (FFK) und Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (TMIL): Rohdaten zur jährlichen Senkenleistung von Wald in LULUCF zwischen 2002 und 2050, 11.10.2017.
- FGSV 2018 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe Verkehrsplanung (Hrsg.): Empfehlungen zur Anwendung von Mobilitätsmanagement (EAM). 50 Seiten, Köln, 2018.
- FNB 2023 Vereinigung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e.V.: Entwurf des gemeinsamen Antrags für das Wasserstoff-Kernnetz. Berlin. Online unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Fachthemen/ElektrizitaetundGas/Wasserstoff/Kernnetz/Downloads/Antragsentwurf_FNB.pdf?__blob=publicationFile&v=3, zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
- FZJ 2018 Forschungszentrum Jülich GmbH: Forschungsprojekt Abwärmeatlas – Wo die ungenutzte Wärmeenergie der deutschen Industrie schlummert. Online unter https://www.industrie-energieforschung.de/projekte/de/abwaermeatlas_ungenutzte_waermeenergie_industrie, zuletzt aufgerufen 28.05.2024
- GeotIS 2024 Geothermisches Informationssystem, Aktuelle Forschungsdaten zu Potential und Nutzung geothermischer Energie, LIAG Institut für angewandte Geophysik, Hannover, 2024
- GWS, Prognos 2024 Auswirkungen der veränderten Klimaschutzbemühungen der vergangenen Jahre in Deutschland und Europa auf die gesamtwirtschaftliche Entwicklung in Deutschland – Kurzbericht im Rahmen eines Forschungsauftrags des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz, GWS, Osnabrück 2024.
- HB 2023 Handelsblatt: CATL eröffnet in Thüringen Werk für Millionen von Batteriezellen. Januar 2023. Online unter <https://www.handelsblatt.com/technik/it-internet/batteriehersteller-catl-eroeffnet-in-thueringen-werk-fuer-millionen-von-batteriezellen/28946534.html>, zuletzt aufgerufen am 14.03.2024.
- IE AV 2015 Leipziger Institut für Energie GmbH in Kooperation mit AVISO GmbH: Thüringer Emissionskataster und Treibhausgasbilanz – Emissionskataster 2012, Treibhausgasbilanz 2012, 2015 und 2020, lokale Emissionskataster für sechs Städte, Leipzig, Aachen, 2015.
- IE Leipzig 2018 Leipziger Institut für Energie: Gutachten zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie für Thüringen. Überarbeitete Fassung vom 13.03.2018, Leipzig.
- IPCC 1996 Panel on Climate Change: Climate Change 1995: The Science of Climate Change, Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K.

Maskell] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 588 pp.

- IPCC 2007 Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC 2013 Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stock-er, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- ISE 2021 Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE: Cost forecast for low temperature electrolysis – technology driven bottom-up prognosis for pem an alkaline water electrolysis systems. Freiburg, 2021
- ISI 2022 Wietschel, M.; Gnann, T. (Fraunhofer ISI): Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland, Treibhausgasneutrale Szenarien T45, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz. Webinar Verkehr vom 21.11.2022, Präsentationsfoliensatz. 37 Folien, Karlsruhe, 2022.
- IWU 2018 Institut Wohnen und Umwelt: Wissenschaftlicher Jahresbericht 2018. Darmstadt. Online unter https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/jahresberichte/IWU_Jahresbericht_2018.pdf, zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
- KP 1997 Vereinte Nationen (UN): Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Kyoto, 1997
- KV 2014 Die Linke, SPD, Bündnis 90/Die Grünen: Koalitionsvertrag zwischen den Parteien Die Linke, SPD, Bündnis 90/Die Grünen für die 6. Wahlperiode des Thüringer Landtages, Erfurt, 2014.
- KWW 2024 Kompetenzzentrum Kommunale Wärmewende (KWW): KWW-Kommunenbefragung 2023, Halle, 2023. Online unter: <https://www.kww-halle.de/wissen/kww-kommunenbefragung>, zuletzt aufgerufen am 23.05.2024
- KSG 2019 Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG). Online unter: <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf>, zuletzt aufgerufen am 23.05.2024
- LAK 2023 Länderarbeitskreis (LAK) Energiebilanzen: Online-Datenbanken Energie- und CO2-Bilanzen, Bremen, 2023. online unter: <https://www.lak-energiebilanzen.de/>, letzter Zugriff am

- 19.01.2024.LAWP 2018 Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie: Landesabfallwirtschaftsplan Thüringen 2018, April 2018.
- Leopoldina 2022 Leopoldina/acatech/Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (2022): Was sind negative Emissionen, und warum brauchen wir sie? (Kurz erklärt!)“, Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS),
https://doi.org/10.48669/ESYS_2022-2. 17 Seiten, München/Halle (S.)/Mainz, Mai 2022.
- LWF 2012 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft: Die Kohlenstoffbilanz der Bayerischen Forst- und Holzwirtschaft, Abschlussbericht 09/2012, Freising, 2012.
- MID 2017 Bäumler, M.; Hautzinger, H. und Pfeiffer, M.: Mobilität in Deutschland 2017 – Ergebnisse der regionalstatistischen Schätzung. Studie von infas, DLR, IVT und infas 360 im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und digitale Infrastruktur (FE-Nr. 70.904/15). Excel-Datei, Bonn, Berlin, 2019, online unter: www.mobilitaet-in-deutschland.de
- Mundt et al. 2015 Mund, M.; Frischbier, N.; Profft, I.; Raacke, J.; Richter, F.; Ammer, C., 2015: Klimaschutzwirkung des Wald- und Holzsektors: Schutz- und Nutzungsszenarien für drei Modellregionen in Thüringen. BfN-Skripten 396, Bonn-Bad Godesberg, 168 S.
- NWR 2021 Nationaler Wasserstoffrat: Die Rolle der Untergrund-Gasspeicher zur Entwicklung eines Wasserstoffmarktes in Deutschland. 2021
- Oeko/ISI 2015 Öko-Institut e. V., Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. 467 Seiten, Berlin, Dezember 2015.
- OGE 2024 Open Grid Europe: Unser CO₂-Transportnetz startet. Online unter: <https://oge.net/de/co2/co2-netz>, zuletzt aufgerufen am 28.05.2024
- Prognos 2021 Prognos AG: Technische CO₂-Senken – Techno-ökonomische Analyse ausgewählter CO₂-Negativemissionstechnologien. Kurzgutachten zur dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Herausgegeben von der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena). Online unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/211005_DLS_Gutachten_Prognos_final.pdf, zuletzt aufgerufen am 22.03.2024.
- Prognos et al. 2021a Prognos AG, Öko-Institut e. V., Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045. Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann. Erstellt im Auftrag von Stiftung Klimaneutralität, Agora Energiewende, Agora Verkehrswende, Berlin, 2021.
- Prognos et al. 2021b Prognos AG, Nextra Consulting, NKI (2021): Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland. Erstellt im Auftrag der KfW, 2021.

- Prognos et al. 2021c Prognos AG, Fh ISI, I-INAS und GWS: Energiewirtschaftliche Projektionen und Folgeabschätzungen 2030/2050, im Auftrag des BMWK.
- Prognos 2022 Prognos AG: Beitrag von Green Finance zum Erreichen von Klimaneutralität in Deutschland. Öffentlicher Anteil an Klimaschutzinvestitionen. Im Auftrag der KfW. 2022
- Prognos 2023 Prognos AG: Fachkräfte- und Qualifizierungsbedarf zur Industriedekarbonisierung. Online unter: <https://www.prognos.com/de/projekt/fachkraefte-qualifizierungsbedarf-industrie-dekarbonisierung>, zuletzt aufgerufen am 28.05.2024
- Prognos 2024a Prognos et al.: Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2024. 239 Seiten, Düsseldorf, 2024
- Prognos 2024b Klimaschutzinvestitionen für die Transformation des Energiesystems. nach Sektoren und Anwendungen. Im Auftrag des BMWK, 2024
- Rüter 2017 Rüter, S. (2017): Der Beitrag der stofflichen Nutzung von Holz zum Klimaschutz - Das Modell WoodCarbonMonitor. TU München. SAGNE 2023 Staatssekretärsarbeitsgruppe Nachhaltige Entwicklung der Thüringer Landesregierung: 4. Indikatorenbericht zur nachhaltigen Entwicklung in Thüringen. Erfurt, 99 Seiten, Stand 23.10.2023 (unveröffentlicht).
- Seibert et al. 2022 Seibert, D.; Bolz, M.; Koch, N.; Baldenius, T.: Klima- und Verteilungswirkung eines Verbrenner-Neuzulassungsverbots von Pkw in Deutschland und die Rolle des CO₂-Preises. Kopernikus-Projekt Ariadne. 42 Seiten, Potsdam, 2022.
- TEN 2024 Thüringer Energienetze: Netzausbauplan 2024, nach § 14d EnWG, Erfurt, April 2024.
- ThEGA/TMUEN 2021 Thüringer Energie- und GreenTech-Agentur GmbH (ThEGA), Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (TMUEN): Thüringer Landesstrategie Wasserstoff. Erfurt. Online unter https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001_TMUEN/Aktuelles/2021/0906_Thueringer_Wasserstoffstrategie_mit_Deckblatt.pdf, zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
- Thünen 2023a Rösemann C., Vos C., Haenel H-D., Dämmgen U., Döring U., Wulf S., Eurich-Menden B., Freibauer A., Döhler H., Steuer B., Osterburg B., Fuß R. (2023) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2021: Report on methods and data (RMD) Submission 2023.
- Thünen 2023b Thünen – Institut für Agrarklimaschutz: Daten des LULUCF-Inventars für Thüringen, Persönliche Mitteilung, Braunschweig 2023.
- ThüringenForst 2015 ThüringenForst (Hrsg.): Bundeswaldinventur 3 im Freistaat Thüringen, Mitteilungen 34/2015, Erfurt, 2015.

ThürKlimaG 2018	Freistaat Thüringen: Thüringer Gesetz zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (Thüringer Klimagesetz - ThürKlimaG -) vom 18. Dezember 2018. Erfurt, 2018.
TLBV 2024	Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr: Persönliche Mitteilung zur Bestellung von SPNV-Leistungen nach Traktionsarten in Thüringen von 2015 bis 2043. Erfurt, 20.02.2024.
TLS 2020	Thüringer Landesamt für Statistik: Holzeinschlag in Thüringen 2019, Erfurt, 2020.
TLS 2023a	Thüringer Landesamt für Statistik: Viehbestand und tierische Erzeugung in Thüringen 2022, Heft-Nr.: 45/23, Erfurt, 2023.
TLS 2023b	Thüringer Landesamt für Statistik: Bodennutzung in Thüringen 2023, Heft-Nr.: 119/23, Erfurt, 2023.
TLS 2023c	Thüringer Landesamt für Statistik: Produktion ausgewählter Erzeugnisse in Thüringen 2021 (und andere Jahre), Erfurt, 2023.
TLS 2023d	Thüringer Landesamt für Statistik: Entwicklung der Bevölkerung Thüringens 2022 bis 2042 nach Kreisen - Bevölkerungsvorausberechnung -. Online unter https://statistik.thueringen.de/webshop/webshop.asp?Stichwort=01113&Suchen.x=0&Suchen.y=0&ansicht=suche , zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
TLS 2023e	Thüringer Landesamt für Statistik: Entwicklung der Gemeinden, erfüllenden Gemeinden und Verwaltungsgemeinschaften nach Geschlecht in Thüringen. Online unter: https://statistik.thueringen.de/datenbank/TabWMAnzeige.asp?ListeWM=129040%7C%7C1&GGTabelle=gem&tabelle=GG000102&startpage=99&wmid=129040%7C%7C1&JahresReihe=&auswahlnr=&datcsv=&vorspalte=0&umsort=&SZDT=&anzahlH=1&fontgr=12&sortiere=0&richtung=ab&AnzeigeAuswahl=&XLS=&anzahlZellen=38541
TLS 2024a	Thüringer Landesamt für Statistik: Gesamtstromerzeugung nach Energieträgern in Thüringen bis 2022, Nettowärmeerzeugung der Kraftwerke der allg. Versorgung bis 2022, Wärmeerzeugung, Bezug und Abgabe nach Abnehmergruppen der Kraftwerke der allg. Versorgung sowie der Heizwerke in Thüringen bis 2022, Erfurt, 2024.
TLS 2024b	Thüringer Landesamt für Statistik: Energieverbrauch im Bergbau und Verarbeitenden Gewerbe in Thüringen 2022 (und andere Jahre). Erfurt, 2024. Excel-Dateien zum Herunterladen unter https://statistik.thueringen.de/datenbank/TabAnzeige.asp?tabelle=ld000604 , zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
TLS 2024c	Thüringer Landesamt für Statistik: Wohnungsbestand am 31.12. - Fortschreibung auf Basis der endgültigen Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungszählung 2011 in Thüringen. Excel-Datei

zum Herunterladen unter <https://statistik.thueringen.de/datenbank/Portrait-Zeitreihe.asp?ta-belle=zh000713>, zuletzt aufgerufen am 22.03.2024, Erfurt, 2024.

- TLUBN 2022 Thüringer Landesamt für Umwelt, Bergbau und Naturschutz (TLUBN): Abfallbilanz 2021 Daten und Informationen zur Abfallwirtschaft, Jena, Dezember 2022.
- TMBLV 2014 Thüringer Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Verkehr (Hrsg.): Landesentwicklungsprogramm Thüringen 2025. Thüringen im Wandel; Herausforderungen annehmen – Vielfalt bewahren – Veränderungen gestalten. 177 Seiten, Erfurt, 2014.
- TMIL 2018 Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (Hrsg.): Thüringen steigt auf – Radverkehrskonzept 2.0 für den Freistaat Thüringen. 60 Seiten, Erfurt, Juni 2018.
- TMIL 2019a Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (Hrsg.): Landesstraßenbedarfsplan 2030. 188 Seiten, Erfurt, August 2019.
- TMIL 2019b Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft: Grünes Herz Thüringen. Aktionsplan Wald 2030 ff., Erfurt, 2019.
- TMIL 2023a Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (Hrsg.): Masterplan – Perspektiven für die Entwicklung der Eisenbahn-Schieneninfrastruktur in Thüringen. 73 Seiten, Erfurt, Dezember 2023.
- TMIL 2023b Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft (Hrsg.): Radverkehrskonzept 2.0 für den Freistaat Thüringen, 1. Bericht zur Umsetzung. 16 Seiten, Erfurt, Dezember 2023.
- TMIL 2023c Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft: Waldzustandsbericht 2023 - Forstliches Umweltmonitoring in Thüringen. 69 S.
- TMIL 2023d Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft: Positionspapier zur Weiterentwicklung des ökologischen Landbaus in Thüringen, Erfurt, Mai 2023.
- TMUEN 2019 Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (TMUEN): Integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie. Erfurt. Online unter https://umwelt.thueringen.de/fileadmin/001_TMUEN/Unsere_Themen/Klima/Klimastrategie/20191015_Klimaschutzstrategie.pdf, zuletzt aufgerufen am 20.03.2024.
- TMUEN 2024 Auswertung der Fernwärme-Dekarbonisierungsstrategien laut Thüringer Klimagesetz (§ 8), 06.03.2024 (nicht öffentlich).
- UBA 2023a Umweltbundesamt (Hrsg.): Harthan, R., Förster, F. et al.: Projektionsbericht für die Bundesrepublik Deutschland. Climate Change 39/2023. 274 Seiten sowie Datei in MS Excel zu Kernindikatoren, Dessau-Roßlau, September 2023.

- UBA 2023b Umweltbundesamt (Hrsg.): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2023. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2021. Climate Change 28/2023. 981 Seiten, Dessau-Roßlau, Juni 2023.
- UBA 2023c Umweltbundesamt: Papier und Druckerzeugnisse. Online unter: <https://www.umweltbundesamt.de/papier-druckerzeugnisse#vorteile-von-recyclingpapieren>, zuletzt aufgerufen am 28.05.2024
- UBA 2024a Umweltbundesamt: EU-Verordnung über fluorierte Treibhausgase. Februar 2024. Online unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/fluorierte-treibhausgase-fckw/rechtliche-regelungen/eu-verordnung-ueber-fluorierte-treibhausgase#aktuelles>, zuletzt aufgerufen am 18.03.2024.
- UBA 2024b Umweltbundesamt (Hrsg.): Treibhaus-Projektionen 2024 – Ergebnisse kompakt. 26 Seiten, Dessau-Roßlau, März 2024.
- UGRdL 2022 Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder im Auftrag der Statistischen Ämter der Länder (Hrsg.): Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, Düsseldorf, 08.04.2022.
- UGRdL 2023 Arbeitskreis Umweltökonomische Gesamtrechnungen der Länder im Auftrag der Statistischen Ämter der Länder (Hrsg.): Umweltökonomische Gesamtrechnung der Länder, Düsseldorf, Januar 2024.
- UGRdL 2024 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg Referat 33 Umweltbeobachtung, Energie, Umweltökonomische Gesamtrechnung, Detailangaben BL Thüringen Sektor Abfall & Abwasser CRF 5 nach UGRdL.
- UM BW 2023 Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg: R-Beton klimafreundlicher und ressourcenschonender – Leitfaden für Aufbereiter mineralischer Bauabfälle, 12 Seiten, 2023
- vdz 2024 Verein Deutscher Zementwerke: Anforderungen an eine CO₂-Infrastruktur in Deutschland, Voraussetzungen für Klimaneutralität in den Sektoren Zement, Kalk und Abfallverbrennung, Düsseldorf, 2024.
- Viebahn et al. 2019 Viebahn, P./Scholz, A./Zelt, O.: Entwicklungsstand und Forschungsbedarf von Direct Air Capture – Ergebnis einer multidimensionalen Analyse. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 69:12, 2019.
- virta 2024 Virta international GmbH (Hrsg.): Schnellladesäulen, ein Ratgeber, Kapitel 3 – Kosten. Im Internet unter: virta.global/de/das-a-und-o-zu-schnellladesaulen, Abruf vom 27.05.2024, Berlin, 2024.

- VGRdL 2024 Arbeitskreis "Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder" im Auftrag der Statistischen Ämter der 16 Bundesländer, des Statistischen Bundesamtes und des Bürgeramtes, Statistik und Wahlen, Frankfurt a.M. (Hrsg.): Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung und Erwerbstätige nach Wirtschaftsbereichen in Thüringen 1991 bis 2022. Excel-Datei, Stuttgart, Januar 2024.
- WBAE & WBW 2016 Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz und Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (Hrsg.): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Berlin, 2016.
- ZDB 2023 Zentralverband Deutsches Baugewerbe: Baukonjunktur 2023/2024: Zwischen Fachkräftemangel und Kurzarbeit. Pressemeldung. Online unter <https://www.zdb.de/meldungen/baukonjunktur-2023-2024-zwischen-fachkraeftemangel-und-kurzarbeit-1>, zuletzt aufgerufen am 14.03.2024.
- ZKL 2021 Zukunftskommission Landwirtschaft (2021): Zukunft Landwirtschaft. Eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Empfehlungen der Zukunftskommission Landwirtschaft, Berlin, 2021.

Anhang: Vorrangige Maßnahmen

Nachfolgend werden die vorrangigen Maßnahmen aller Sektoren, die im Rahmen von Kapitel 5 priorisiert wurden, in Form von Maßnahmensteckbriefen genauer dargestellt.

Sektor Energiewirtschaft

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045		
KSG-Sektor	Maßnahme	
1	E2	
Energiewirtschaft	Ausbau von Speicherkapazitäten im energiewirtschaftlichen Maßstab	
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none"> ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch 	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none"> ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Ein Ausbau der Speicherkapazitäten ist unabdingbar, um das Erreichen der Klimaziele sowie die Versorgungssicherheit gleichermaßen gewährleisten zu können. Sie unterstützen die Reduktion des Einsatzes fossiler Brennstoffe und ermöglichen die zeitliche Entkopplung von Energieerzeugung und deren Nutzung.</p> <p>Im Kontext dieser Maßnahme wird zunächst eine Neuauflage zu der bestehenden Energiespeicherstudie für das Bundesland Thüringen empfohlen [CEEC 2019]. Inhaltliche Schwerpunkte für eine Fortschreibung sollte die Bewertung neuartiger Speicherkonzepte sein, da die Forschung im Bereich der Energiespeicher sehr dynamisch ist und konstant neue Patente eingereicht werden. Darüber hinaus sollte ein Konzept entwickelt werden, an welchen Standorten der Aufbau von Stromspeicherkapazitäten im energiewirtschaftlichen Maßstab prioritär erfolgen sollte bzw. welche Standorte besonders gut geeignet wären (z. B. in der Nähe von Umspannwerken oder ehemaligen Kraftwerksstandorten).</p> <p>Um flächendeckenden Ausbau von Stromspeichern voranzutreiben, wird ein Förderprogramm empfohlen. Hierbei sollte es sich jedoch lediglich um ein Instrument zur Anschubfinanzierung für den Markthochlauf handeln, welches sich nur auf größere Speicherkonzepte mit einer entsprechend hohen Speicherkapazität beschränkt.</p> <p>Insbesondere Unternehmen mit einem hohen Stromverbrauch können durch den Zubau von Batteriespeichern langfristig Kosten sparen und gleichzeitig das Stromnetz entlasten. Im Zuge des sogenannten Peak-Shaving (Spitzenlast-Kappung) können flexible Energiereserven zur Deckung von Lastspitzen durch stromintensive Prozesse, die im Zuge der Unternehmenstätigkeiten regelmäßiger auftreten, genutzt werden und somit die Strombezugskosten teilweise signifikant gesenkt werden. In diesem Kontext kann ein Speicher-Förderprogramm initiiert werden, welches durch einen Schwellenwert im Hinblick auf den gesamten Stromverbrauch der Unternehmen limitiert werden könnte.</p> <p>Im Zuge dieser Maßnahme wird außerdem empfohlen, das erhebliche Potenzial Thüringens im Hinblick auf die Energiespeicherung mittels Pumpspeicherkraftwerken perspektivisch vermehrt auszuschöpfen. Neben dem direkten Einfluss auf die Transformation des Energiesystems in Deutschland besteht so für Thüringen auch die Option im Kontext der Pumpspeichertechnologie als „Know-how-Träger“ aufzutreten. Gemäß Stromspeicher-Strategie des BMWK soll ein vertiefter Dialog mit den Akteuren der Branche aufgenommen werden, um</p>	

	die bisherigen Hemmnisse zu erörtern. Es wird empfohlen die Hemmnisse in Kooperation mit dem BMWK abzubauen. Die Ausweitung der Speicherkapazitäten innerhalb privater Haushalte beispielsweise durch kleinere Solarstromspeicher in Kombination mit der hauseigenen PV-Anlage oder bidirektionales Laden von Elektroautos sind in dieser Maßnahme explizit nicht angedacht.					
Zielgruppe (Akteure)	Projektentwicklerinnen und Projektentwickler Energieversorgungsunternehmen Unternehmen					
Wirkungsrichtung	<div><div></div> direkte (berechenbare) THG-Einsparung</div> <div><div></div> indirekte THG-Einsparung</div> <div><div></div> flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen</div> <div><div></div> Senkenerhalt und -aufbau</div>					
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)		mittelfristig (5 bis 10 Jahre)		langfristig (ab 10 Jahre)	
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	-		t CO ₂ eq/a			
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Direkte THG-Emissionsminderungen sind nicht unmittelbar zu erwarten, aber möglich, wenn es aufgrund des Ausbaus der Speicherkapazitäten zu einem vermehrten Ausbau sowie unterbrechungsfreierem Betrieb – insbesondere fluktuierender erneuerbarer Energien kommt und gleichzeitig die Stromerzeugung aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen in Kraftwerken verdrängt wird.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	-	Euro/a	kumuliert insgesamt:	10.150.000	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	<p>Für die Kosten zur Fortschreibung der Energiespeicherstudie werden pauschal 150.000 Euro angesetzt.</p> <p>Die Förderung von Stromspeichern sollte erst ab einer angestrebten Speicherkapazität von 1 MWh erfolgen. Gleichermaßen wird eine geringere Förderquote mit 70-80 Euro je kWh angesetzt. Dieses Instrument sollte ebenfalls nur als Anschubfinanzierung dienen und das Förderbudget bei 5 Mio. Euro gedeckelt werden.</p> <p>Die Kosten für ein Förderprogramm von Stromspeichern in energieintensiven Unternehmen sind maßgeblich davon abhängig, welcher Schwellenwert für die Förderung festgelegt wird. Es wird empfohlen, hierzu einen Kreis von Expertinnen und Experten zu befragen. Pauschal wird auch hier ein Förderbudget von 5 Mio. Euro benannt.</p> <p>Von einer Berechnung der jährlichen Kosten wird abgesehen, da diese maßgeblich davon abhängig wären, wie schnell die relevanten Akteure die jeweiligen Förderungen in Anspruch nehmen.</p>					

Zielkonflikte	<p>Im Hinblick auf den flächendeckenden Ausbau von Batteriespeichern wird oft der Bedarf an wertvollen Rohstoffen z. B. Lithium kritisiert. Die Bereitstellung dieser Ressourcen kann mit sehr großen Umweltauswirkungen im Herkunftsland einhergehen. Eine Alternative kann hierbei durch neuartige Batteriekonzepte entstehen, die einen geringeren Bedarf von entsprechenden Ressourcen erzeugen.</p> <p>Der Bau von Pumpspeicherkraftwerken ist immer auch mit einem sehr gravierenden Eingriff in die Natur gleichzusetzen. In diesem Zusammenhang müssen die Umweltauswirkungen umfangreich betrachtet werden.</p>
Handlungsalternative	-

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor		Maßnahme	
1		E4	
Energiewirtschaft		Strategie und Förderprogramm für den Einsatz von Wasserstoff (Schaffung tragfähiger Geschäftsmodelle für den Aufbau der Wasserstoffwirtschaft)	
		Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit		<p>Grüner Wasserstoff ist als saubere und speicherbare Alternative zu fossilen Brennstoffen eine wichtige Stütze in der Energiewende. Für den nachhaltigen Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft ist die Etablierung tragfähiger Geschäftsmodelle sowie entsprechender Förderprogramme von zentraler Bedeutung.</p> <p>Folgende Instrumente für den Hochlauf der grünen Wasserstoffwirtschaft können konkret benannt werden:</p> <ul style="list-style-type: none">- Landeszuschüsse für den Aufbau von Elektrolyseuren- Integration ausgewählter Standorte für Elektrolyseure in die Landes- und Regionalplanung (Zusammenführung von räumlichen Informationen zum prognostischen Wasserstoffbedarf, zur Leistungsfähigkeit des Stromnetzes und zum Wärmebedarf)- Abnahmegarantien für Betreiber von Wasserstoff-Elektrolyseuren zu Festpreisen- Förderprogramm für den Ausbau von Wasserstoffspeichern- Entwicklung von Standard-Verfahren in Bezug auf Genehmigungen und werkstoffliche Prüfungen zur Beschleunigung von Genehmigungsprozessen- Erstellung eines Gutachtens zur Evaluation der bisherigen Fortschritte in Bezug auf die Thüringer Wasserstoffstrategie <p>Der Umsetzungszeitrahmen sollte möglichst kurzfristig gewählt werden, um dem Wasserstoffbedarf zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität frühzeitig gerecht zu werden.</p>	
Zielgruppe (Akteure)		Industrieunternehmen mit Wasserstoffbedarf (stofflich und energetisch) Energieversorgungsunternehmen Verteilnetzbetreiber	
Wirkungsrichtung		■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau	
Zeitraum der Wirksamkeit		kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre) langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)		-	t CO _{2äq} /a
THG-Minderungswirkung (qualitativ)		■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch

Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Die THG-Minderungswirkung dieser Maßnahme entsteht in erster Linie dadurch, dass die Erzeugung von grünem Wasserstoff die Substitution fossiler Energieträger (vorrangig Erdgas) in den verschiedenen Anwendungsbereichen ermöglicht.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:		Euro/a	kumuliert insgesamt:	21.450.000	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kosten- aufwandes	<p>In der Szenarienmodellierung zeigt sich für die Wasserstoff­erzeugung in Thüringen ein Bedarf von 1.542 GWh für das Jahr 2045. Unter Berücksichtigung der Annahme von 5.000 Vollbenutzungsstunden, die für den wirtschaftlichen Betrieb von Elektrolyseuren notwendig wären und einem Wirkungsgrad von 95,5 %, ergibt sich somit eine zu installierende Elektrolysekapazität von 323 MW. Die Kosten für den Zubau der Elektrolyseure werden basierend auf einer Studie des Fraunhofer ISE abgeschätzt [ISE 2021]. In dieser Studie wurden die Kosten für alkalische als auch PEM-Wasserelektrolyse für die Anlagengröße 5 MW und 100 MW ermittelt. Im Rahmen der Kostenabschätzung wurden diese Angaben gemittelt. Es wird von ca. 500 Euro je kW Leistung ausgegangen. Bezogen auf die erforderliche Elektrolyseleistung in Thüringen ergeben sich somit Kosten von 161,5 Mio. Euro.</p> <p>Es wird empfohlen, dass durch die Landeszuschüsse die Marktentwicklung der Wasserstoffelektrolyse gewährleistet wird. Dies dürfte erreicht sein, wenn 10 % der erforderlichen Elektrolyseleistung installiert worden sind. Darüber hinaus wird eine Förderquote von 50 % empfohlen. Daraus ergibt sich für dieses Instrument ein finanzieller Bedarf von ca. 8,1 Mio. Euro.</p> <p>Im Hinblick auf eine Integration der Standorte für Elektrolyseure in die Landes- und Regionalplanung wird die Finanzierung einer Überblicksstudie empfohlen. Den finanziellen Bedarf für eine entsprechende Studie nimmt das Leipziger Institut für Energie mit 250.000 Euro an.</p>					
	<p>Durch die Etablierung von Abnahmegarantien für Betreiber von Elektrolyseuren entstehen abseits vom Erarbeiten des Gesetzesentwurfes zur Wasserstoffabnahme keine Kosten für die öffentliche Hand. Die für eine Abnahmegarantie erforderlichen finanziellen Mittel könnten bei den Letztverbrauchern erhoben werden.</p>					
	<p>Die Kosten für ein Gutachten zu den bisherigen Fortschritten in Bezug auf die Thüringer Wasserstoffstrategie nimmt das Leipziger Institut für Energie mit 100.000 Euro an.</p>					
	<p>Gemäß dem Grundlagenpapier zur Wasserstoffspeicherung des Nationalen Wasserstoffrats wird empfohlen, Speicherkapazitäten in Höhe von 10 % des jährlichen Wasserstoffbedarfs bereitzustellen [NWR 2021]. Angesichts des Bedarfs an wasserstoffbasierten Energieträgern aus dem Szenario ergibt sich somit eine angestrebte Speicherkapazität von ca. 308 GWh in Thüringen.</p> <p>In einer Studie der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH wurden die Kosten anhand eines Beispielkavernenspeichers mit einer Kapazität von 1 TWh Wasserstoff ermittelt [DBI 2022]. Aktuell werden in Thüringen nur Porenspeicher betrieben, für diese besteht noch ein signifikanter Forschungsbedarf, in welchem Ausmaß Wasserstoff gespeichert bzw. beigemischt werden kann und welche Kosten mit der Umstellung auf Wasserstoff verbunden sind.</p> <p>Für die Anpassung eines Erdgaskavernenspeichers mit dieser Kapazität wäre eine Investition von 46,4 – 82,6 Mio. Euro notwendig [DBI 2022]. Für die weitere Betrachtung wird aufgrund der Unsicherheit bzgl. der Umrüstung von Porenspeichern der Maximalwert von rund</p>					

	<p>83 Mio. Euro angenommen. Bezogen auf die erforderliche Speicherkapazität in Thüringen ergeben sich für die Umrüstung von Porenpeichern Kosten von etwa 26 Mio. Euro. Unter Annahme einer Förderquote von 50 % ist dieses Instrument demnach mit einem finanziellen Aufwand von 13 Mio. Euro verbunden.</p> <p>Die Kosten für die Entwicklung von Standard-Verfahren sind nicht quantifizierbar. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass diese Entwicklung insbesondere von Akteuren in Industrie und Forschung auf Bundesebene vorangetrieben wird.</p>
Zielkonflikte	<p>Proportional zu den Erzeugungskapazitäten der Elektrolyseure in Thüringen steigt auch der Wasserbedarf für die Erzeugung von Wasserstoff. In diesem Zusammenhang müssen die Positionen der Thüringer Wasserwirtschaft berücksichtigt werden.</p> <p>Darüber hinaus könnte ein Mangel an Fachkräften die Umsetzung der vorliegenden Maßnahmen verlangsamen.</p>
Handlungsalternative	<p>Eine Alternative bzw. Erweiterung der vorliegenden Maßnahme ergibt sich aus der Fragestellung, inwieweit die Methanisierung des erzeugten grünen Wasserstoffs in Betracht gezogen wird. Die Vor- und Nachteile des Power-to-Gas-Verfahrens gegenüber der direkten Nutzung des Wasserstoffs (Nutzung bestehender Erdgasinfrastruktur, geringerer Wirkungsgrad u.a.) müssen sorgfältig abgewogen werden.</p>

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
1	E5		
Energiewirtschaft	Risikoabsicherung bei der verpflichtenden Abwärmenutzung		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Im Kontext der Wärmewende stellt die Abwärmenutzung ein sehr relevantes Potenzial dar. Gemäß Wärmeplanungsgesetz sind diese Potenziale im Zuge der kommunalen Wärmeplanung zu berücksichtigen. Darüber hinaus sind energieintensive Unternehmen gemäß Energieeffizienzgesetz ab 2025 verpflichtet, ihre Abwärmepotenziale nach aktueller Gesetzeslage ab einem Gesamtendenergieverbrauch von 2,5 GWh/a (ggf. nach geplanter Gesetzesänderung 2,77 GWh) in einer öffentlichen Datenbank aufzuführen. Wärmenetzbetreiber und sonstige Akteure, die einen entsprechenden Wärmebedarf aufweisen, sind dazu angehalten, diese Potenziale perspektivisch noch stärker zu nutzen.</p> <p>Die Nutzung dieser energetischen Potenziale ist jedoch für den Betreiber des Wärmenetzes mit Risiken verbunden. So kann der ungeplante Wegfall eines Kunden oder einer Quelle zu Vermögensschäden bei dem Wärmenetzbetreiber führen. Dieser Umstand ist ein Hemmnis für den weiteren Ausbau der Abwärmenutzung.</p> <p>Aus diesem Grund sollte eine Studie in Auftrag gegeben werden, die die Möglichkeiten zum Abbau dieser Risiken evaluiert. Eine Option wäre, im Zuge eines umfassenden Beteiligungsprozesses Versicherungen zu konsultieren und gemeinsam ein entsprechendes Versicherungsmodell zu erarbeiten. Eine weitere Option könnte sein, dass das Land den Wärmenetzbetreibern eine Absicherung zur Verfügung stellt. Diese kann dahingehend limitiert sein, dass nur für einen bestimmten Zeitraum eine Risikoabdeckung gewährt wird und die bereits erfolgte Wärmeauskopplung und dementsprechend auch teilweise Amortisation der Projektkosten bei einer Bezifferung der Absicherung berücksichtigt werden.</p> <p>Unabhängig von einer möglichen Risikoabsicherung im ökonomischen Sinne, sollten entsprechende Abwärmeprojekte in kleineren Wärmenetzen erzeugungsseitig weitgehend redundant geplant werden, um die Versorgungssicherheit gewährleisten zu können.</p>		
Zielgruppe (Akteure)	Unternehmen (als Wärmequelle und als Wärmesenke) Wärmenetzbetreiber Projektentwicklerinnen und Projektentwickler		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)

THG-Minderungspoten- zial (Schätzung falls möglich)	ca. 266.000		t CO _{2äq} /a			
THG-Minderungswir- kung (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des THG-Min- derungspotenzials	Im Thüringer Abwärme-Atlas ist derzeit ein Abwärmepotenzial von 4 TWh erfasst, Unter der Annahme, dass unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten (vor allem Invest für Infrastrukturan- bindung) ein Drittel der Abwärme genutzt werden könnte, ergäbe sich ein erhebliches Ein- sparungspotenzial. Würde diese Abwärme im Wesentlichen Erdgas ersetzen (202 g CO ₂ pro kWh), könnten jährlich rund 266.000 Tonnen CO2 eingespart werden.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	-	Euro/a	kumuliert insgesamt:	150.000	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kosten- aufwandes	Studie: Der Kostenaufwand für eine Studie, die Lösungsoptionen für die Risikoabsicherung der Abwärmenutzung erarbeitet wird pauschal auf 150.000 Euro geschätzt. Projektkosten: Die Kosten für die projektbezogene Nutzbarmachung von Abwärme sind sehr von den individuellen Vorortbedingungen abhängig und bedürfen einer Einzelfallbetrach- tung. Diese Kosten sind im Kostenaufwand demnach nicht berücksichtigt.					
Zielkonflikte	-					
Handlungsalternative	-					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
1	E9		
Energiewirtschaft	Masterplan Geothermie mit Pilot- bzw. Leuchtturmprojekten		
	Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Unter einem Masterplan Geothermie wird eine in Auftrag zu gebende Studie verstanden, die den konkreten Unterstützungsbedarf für die Entwicklung von Geothermieprojekten im energiewirtschaftlichen Maßstab in Thüringen umfassend beleuchtet.</p> <p>Im Rahmen dieser Studie sollte ein Überblick über bereits realisierte oder in der Planung befindlichen Geothermieprojekte in Thüringen gegeben werden. Die Entwicklung von Projekten in den bekannten hydrothermischen Potenzialgebieten (nördlich von Erfurt, südlich Hildburghausen) [GeotIS 2024] soll durch Maßnahmen wie Machbarkeitsanalysen sowie seismische Untersuchungen unterstützt werden.</p> <p>Dabei ist das hydrothermale Potenzial zu analysieren und der Bedarfsstruktur gegenüber zu stellen, um zu klären inwieweit das Potenzial in vorhandene oder noch zu errichtende Verteilstrukturen eingebunden werden kann bzw. muss.</p> <p>Die im Kontext tiefer Geothermie vorhandenen petrothermalen Potenziale können separat und eher in einer längerfristigen Analyse betrachtet werden.</p> <p>Der Schwerpunkt der Betrachtung sollte auf die hydrothermalen Gebiete, ggf. mit zusätzlicher Anwendung von Großwärmepumpen gelegt werden.</p> <p>Konkrete Vorschläge für Instrumente in diesem Zusammenhang sind beispielsweise:</p> <ul style="list-style-type: none">- Landesförderung zu Voruntersuchungsmaßnahmen (Machbarkeitsstudie, seismische Untersuchungen)- Genehmigungsverfahren beschleunigen (Digitalisierung) <p>Damit sind zeitnah konkrete Pilot- bzw. Leuchtturmprojekte umzusetzen, die als Best-Practice-Beispiele für weitere tiefe Geothermieprojekte in Thüringen dienen sollen.</p>		
Zielgruppe (Akteure)	Landesregierung / Projektentwicklerinnen und Projektentwickler		
Wirkungsrichtung	■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	- t CO _{2äq} /a		
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	

Herleitung des THG-Minderungs­potenzials	Diese Maßnahme kann als Voraussetzung für eine direkt wirksame Maßnahme begriffen werden. Wird diese Maßnahme gemäß der beschriebenen Vorgehensweise umgesetzt, ist davon auszugehen, dass Geothermieprojekte entstehen und umgesetzt werden, die fossile Energieträger aus der Wärmeerzeugung verdrängen und dementsprechend auch eine direkte Minderungswirkung nach sich ziehen.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	-	Euro/a	kumuliert insgesamt:	5.300.000	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kosten­aufwandes	<p>Der finanzielle Aufwand für die Erstellung eines Masterplans Geothermie wird pauschal mit 200.000 Euro angegeben.</p> <p>Um Anreize für die zügige Umsetzung neuer Projekte zu schaffen, sollen Voruntersuchungs­maßnahmen (z. B. Machbarkeitsstudien) umfassend gefördert werden. Hierfür wird ein För­derbudget von 5 Mio. Euro angesetzt.</p> <p>Die Kosten für die Digitalisierung von Genehmigungsverfahren können nicht beziffert wer­den. Die Kosten für ein Rechtsgutachten hinsichtlich potenzieller Verkürzungen und Verein­fachungen der Verfahren werden pauschal mit 100.000 Euro beziffert.</p>					
Zielkonflikte	Bei der Erschließung hydrothermaler Energiequellen sind aufgrund der Tiefe keine Zielkon­flikte absehbar. Im Fall von notwendigen Stimulationsmaßnahmen (zur Vergrößerung der Fließrate) oder der Erschließung petrothermalen Quellen kann es sein, dass es zu induzierten seismischen Ereignissen kommt (Mikrobeben). Über diesen Umstand müssen Informati­onen proaktiv kommuniziert werden, um Akzeptanzproblemen vorzubeugen.					
Handlungsalternative	-					

Sektor Industrie

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
2	I6		
Industrie	Programm zur Kofinanzierung der Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK)		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Die BIK fördert ausschließlich Umstellungen zu THG-armen oder -freien Produktionstechnologien (inkl. CCS/CCU) bei energieintensiven Industrieunternehmen. Das Programm zur Kofinanzierung der Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK) begleitet die BIK. Obligatorisch bei Fördersummen über 15 Mio. Euro ist eine Kofinanzierung der Bundesländer im Umfang von 30 % [BMWK 2024c]. Die Richtlinie des BIK ist noch nicht öffentlich verfügbar. Die Obergrenze bei Einzelförderungen beträgt 200 Mio. Euro. Jedoch besteht ab Fördersummen von 20 Mio. Euro die Notwendigkeit zur Einzelnotifizierung bei der Europäischen Kommission. Das BIK ist derzeit mit einem Budget von 2,2 Mrd. Euro bis 2030 ausgestattet [EC 2024].</p> <p>Das Programm zur Kofinanzierung der Bundesförderung Industrie und Klimaschutz (BIK) bewirkt (zusammen mit der BIK) eine Umstellung der schwer zu dekarbonisierenden Produktionsprozesse bei der energieintensiven Industrie. Damit adressiert sie eine Zielgruppe, die bislang nicht/kaum über Förderprogramme adressiert wurde.</p>		
Zielgruppe (Akteure)	Unternehmen, die eine Förderung im Rahmen des BIK anstreben. Dies sind laut Förderrichtlinie überwiegend Unternehmen der energieintensiven Industrie.		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	10.000	t CO_{2äq}/a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	<p>Die Herleitung kann nur sehr rudimentär stattfinden, denn es ist von großem Einfluss, welche Branchen bzw. Prozessumstellungen tatsächlich gefördert werden. Ziel der BIK sind THG-Einsparungen von 4 Mt CO_{2äq} bis 2030 [UBA 2024b]. Der Anteil Thüringens an den Emissionen, die im EU-ETS erfasst sind (diese Unternehmen stellen die Zielgruppe der BIK dar), beträgt 1,5 % im Mittel der Jahre 2005 bis 2021. Wenn dieser Faktor zugrunde gelegt wird, so betragen die Einsparungen in Thüringen geschätzt 60 kt CO_{2äq} bis 2030.</p>		

Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	1,7 Mio.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	10 Mio.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kosten- aufwandes	Nach derselben überschlägigen Überlegung wie bei der THG-Minderung kommt Thüringen bei einem bundesweiten Aufwand von 2,2 Mrd. Euro im Förderprogramm auf 33 Mio. Euro. Davon sind jedoch laut Richtlinie nur bei großen Projekten (>15 Mio. Euro) 30 % vom Land selbst zu tragen (70 % übernimmt der Bund), was (maximal) 10 Mio. Euro entspricht.					
Zielkonflikte	Möglichkeiten der Defossilisierung der Produktionsweisen im Rahmen der BIK sind Elektrifi- zierung, Umstellung auf Wasserstoff und CCS/CCU. Diese wahrscheinlich wenigen, aber großen Einzelförderungen wechselwirken zwingend mit den entsprechenden Netzplanungen (Strom, H ₂ , CO ₂). Hier ist auf Konsistenz zu achten.					
Handlungsalternative	Keine, da in der Bundesförderung eine Beteiligung der Länder obligatorisch ist.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
2	I9		
Industrie	Stärkung der Sekundärrouten durch verbesserte Sammlung und Trennung von Abfallstoffen und deren Einsatz in der Produktion		
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch		Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)
	Dieser Maßnahmenvorschlag hat die Stärkung der Sekundärrouten, also die Produktion von Gütern aus einem recycelten Rohstoff durch eine verbesserte Sammlung und Trennung von Abfallstoffen und deren tatsächlicher Einsatz in der Produktion zum Ziel. Insbesondere für Thüringen sind die Abfallstoffe Altglas und Altpapier sowie Altbeton von Interesse, denn diese Produkte werden im Land hergestellt und haben einen großen Anteil an den industriellen Emissionen. ²⁷ Diese Emissionen werden durch Steigerung der Sekundär- ggü. der Primärroute gemindert.		
	Die deutschen Recyclingquoten für Glas schwanken zwischen 82 und 89 %, für Papier/Karton liegt sie 2021 bei 79 % und für Altbeton nahezu bei 0 %.[Prognos 2024a] Eine erhöhte Sammelquote für Altglas und Altpapier/Altkarton führt implizit zu einer höheren Einsatzquote in der Produktion von neuen Gläsern und Papieren/Kartonagen. Ersteres wird durch eine optimierte Sammlung und Trennung des Abfalls erreicht. Auf Produktionsseite werden mögliche Restriktionen hinsichtlich der Qualität und der maximalen Einsatzquote der Rezyklate abgebaut.		
	Beim Bauschutt bietet sich eine andere Herangehensweise an: Zu einer Gesteinskörnung vermahlener Altbeton sowie altes Mauerwerk substituiert Kies und gebrochenen Naturstein als Füllstoff für Betone und spart so Ressourcen ein. Speziell zerkleinerter Altbeton kann mit CO ₂ beaufschlagt werden und so als CO ₂ -Speicher bzw. -Senke dienen [UM BW 2023].		
Zielgruppe (Akteure)	Sammeln: Bürger, Kreis/Gemeinde; Sammeln und Trennen: Abfallversorgungsunternehmen; Produktion: Unternehmen der Papier-, Glas- und Zementproduktion		
Wirkungsrichtung	■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	55.000	t CO _{2äq} /a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Der THG-Vorteil beim Einsatz von Altglas in der Glasproduktion beträgt etwa 0,7 % je 1 % Altglas-Anteil [AGR 2024]. Durchschnittlich spart die Produktion von Recyclingpapier im		

²⁷ Das Elektrostahlwerk in Unterwellenborn nutzt bereits 100 % Schrott und wird darum hier nicht betrachtet.

	Gegensatz zum Frischfaserpapier 15 % THG-Emissionen ein[UBA 2023c]. Der Bindungserfolg liegt bei 7 kg CO ₂ je Tonne Beton [UM BW 2023]. Verrechnet man diese spezifischen Einsparungen mit den mittleren Produktionsmengen unter Berücksichtigung der derzeitigen Rezyklat-Einsatzraten für die jeweiligen Güter in Thüringen, ergeben sich geschätzte Einsparungen von 34, 2 und 20 kg pro Jahr bei Glas, Papier und Beton (bei einem Klinkerfaktor von 77 %). In dieser Rechnung wird angenommen, dass Glas dann zu 100 % aus Altglas und Papier zu 95 % aus Altpapier hergestellt werden.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	-	Euro/a	kumuliert insgesamt:	-	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch					
Herleitung des Kostenaufwandes	Nicht möglich, da zu vielschichtig: Einerseits ist auf Erzeugerseite (bei den Konsumenten) via Informations- und Aufklärungsarbeit - zu sensibilisieren. Weiter müssen die Kommunen bzw. Recyclingbetriebe informatorisch, hinsichtlich der technischen Möglichkeiten und evtl. über einen Anreiz-/Fördermechanismus eingebunden werden. Schließlich müssen die Unternehmen beim vermehrten Einsatz von Sekundärmaterialien für die Produktion unterstützt werden, entweder über Informationsveranstaltungen, Netzwerke oder über einen Anreiz-/Qutoen-/Fördermechanismus.					
Zielkonflikte	Wechselwirkungen mit CCS (Abtransport) und CCU (Karbonatisierung)					
Handlungsalternative	Der Maßnahmenvorschlag ist prinzipiell auch auftrennbar in die Aspekte Sammlung, Trennung und Produktion. Letzteres, falls nur die Industrie adressiert werden soll.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045				
KSG-Sektor		Maßnahme		
2		I11		
Industrie		Unterstützung der Elektrifizierung von Produktionsprozessen		
		Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit		<p>Flankierend zu den Bundesförderprogrammen EEW und BIK unterstützt dieser Maßnahmenvorschlag die Elektrifizierung von Produktionsprozessen. Zielgruppe sind KMU, denen Unterstützung gegeben werden soll hinsichtlich heute verfügbarer Anlagen zur Elektrifizierung ihres jeweiligen Produktionsprozesses (a: technische Optionen), Integration in den Produktionsablauf und notwendige Anpassungen auf dem Werksgelände (b: organisatorische Optionen), Abstimmung mit dem örtlichen Energieversorger bzgl. Anschlussleistung, Grünstrombezug und Flexibilität (c: systemische Optionen) sowie Finanzierung und Förderung (via EEW, BIK und eigener Landesförderung) des Vorhabens (d: Finanzierungsoptionen).</p> <p>Nach heutigem Stand der Technik sind die allermeisten Prozesse in der industriellen Produktion elektrifizierbar. Übliche Hindernisse, die mit einer Elektrifizierung einhergehen, wie bspw. passgenauer Ersatz der bestehenden Anlagen hinsichtlich Fahrweise und Produktqualität sowie Anforderungen an das (werkseigene und örtliche) Stromnetz, sollen durch den Maßnahmenvorschlag überwunden werden. Ein impliziter Vorteil der direkten Elektrifizierung ist die bessere (Primär-)Energieeffizienz.</p>		
Zielgruppe (Akteure)		KMU-Unternehmen mit Prozesswärmebedarf (mittlerer und hoher Temperaturen)		
Wirkungsrichtung		■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit		kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)		-	t CO_{2äq}/a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)		■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials		Aufgrund der vielfältigen technischen Optionen und den Wechselwirkungen mit den Bundesförderprogrammen (EEW, BIK) ist keine Abschätzung möglich.		
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)		jährlich:	-	Euro/a kumuliert insgesamt: - Euro
Kostenaufwand (qualitativ)		■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	

Herleitung des Kosten- aufwandes	Aufgrund der vielfältigen technischen Optionen und den Wechselwirkungen mit den Bundesförderprogrammen (EEW, BIK) ist keine Abschätzung möglich. Zu den Einflussfaktoren siehe „Herleitung des THG-Minderungspotenzials“. Die Kosten hängen überdies von den gewählten Klimaschutztechnologien ab.
Zielkonflikte	Wechselwirkungen mit den Bundesförderprogrammen EEW und BIK: Eine Doppelförderung ist ausgeschlossen. Eine umfassende Elektrifizierung der industriellen Prozesswärme hat erheblichen Einfluss auf das Stromsystem, weshalb eine Abstimmung mit entsprechenden Plänen im Stromsektor erforderlich ist.
Handlungsalternative	Die Optionen (technisch, organisatorisch, systemisch, Finanzierung) ließen sich auch auf-trennen bzw. jeweils streichen. Weiter könnten Energieagenturen (die ThEGA) Teile des Maßnahmenvorschlages übernehmen, ohne dass ein explizites Förderprogramm aufgelegt wird.

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
2	I12		
Industrie	Zu-/Ausbau lokaler Wärmespeicher (zur Erhöhung der internen Abwärmenutzung)		
	Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Laut aktuellem Energieeffizienzgesetz (EnEfG) sind Unternehmen (mit einem EEV ≥ 2,5 GWh/a, ggf. nach geplanter Gesetzesänderung 2,77 GWh/a) verpflichtet, „die in ihrem Unternehmen entstehende Abwärme nach dem Stand der Technik zu vermeiden und die anfallende Abwärme auf den Anteil der technisch unvermeidbaren Abwärme zu reduzieren und ihre Abwärmedaten auf einer öffentlichen Plattform bereitzustellen [EnEfG 2023]. Im Rahmen dieser Verpflichtung ist es angezeigt, dass betroffene Unternehmen ein Abwärmekonzept entwickeln: Das Konzept umfasst mindestens die Aspekte Abwärmevermeidung, direkte (Prozess-interne) Abwärmenutzung, Werk-interne Abwärmenutzung sowie externe Abwärmenutzung (Einspeisung ins Nah- oder Fernwärmenetz). Eine wesentliche Komponente zur Steigerung der internen Abwärmenutzung ist der Zu-/Ausbau lokaler Wärmespeicher. Wiedergenutzte Abwärme reduziert die Erzeugung von Wärme und die dafür notwendigen Energieträger bzw. entstehenden THG-Emissionen. Die Landesregierung kann bei der Konzeption und Installation eines Abwärmekonzepts auf Unternehmensebene sowie der Abstrahierung und Skalierung allgemeiner Abwärmekonzepte auf Unternehmensgruppen unterstützen sowie verschiedene einzelne Abwärmekonzepte in ein kleinräumiges/lokales bzw. kommunales Wärmekonzept zusammenführen und aufeinander abstimmen. Zudem ist eine Förderung der Wärmespeicherlösungen im Rahmen des Abwärmekonzepts denkbar.		
Zielgruppe (Akteure)	Unternehmen mit Prozesswärmebedarf		
Wirkungsrichtung	■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	130.000	t CO_{2äq}/a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Ausgehend von Abschätzungen zur bundesweiten Abwärme von 130 bis 250 PJ bei einem industriellen Prozesswärmebedarf von 1700 PJ (Mittel 2015-2019) liegt der wahrscheinlich nutzbare Abwärmeanteil bei rund 11 % [FZJ 2018]. Thüringens Industrie hat unseren Modellierungen zufolge einen Prozesswärmebedarf von rund 33 PJ und damit einhergehende Emissionen von etwa 1,2 Mt CO _{2e} . Daraus folgt eine maximale Abwärmemenge von 0,13 Mt bzw. knapp 4 PJ, die in der hier getroffenen Annahme komplett über die geförderten		

	Wärmespeicher nutzbar gemacht werden (obwohl diese konkurrieren mit Abwärmevermeidung und direkter Abwärmenutzung – in jedoch unbekannten Anteilen).					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	-	Euro/a	kumuliert insgesamt:	-	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Es liegen keine Informationen zu den spezifischen Kosten der unterschiedlichen Wärmespeicher aufgrund großer Streuung in Leistungsklasse und Speicherart vor bzw. würde dies eine vertiefende Literaturrecherche erfordern. Zu den Installationskosten ist zusätzlich der Planungsaufwand hinzuzuziehen. Auch dieser streut stark nach Abwärmemenge/-leistung sowie der Situation vor Ort.					
Zielkonflikte	-					
Handlungsalternative	Der Maßnahmenvorschlag könnte auf ein umfassendes Abwärmekonzept ausgeweitet werden. Alternativ kann die entstehende Abwärmeplattform als Ausgangspunkt eines Instruments dienen, welches die Nutzbarmachung der dort hinterlegten Abwärmemengen zum Ziel hat.					

Sektor Gebäude

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
3	G3		
Gebäude	Förderung und Modernisierung von bestehenden Mietwohngebäuden - nachhaltig erneuern und erweitern		
	Wirkungsbereich: <div><div>■ sektorenübergreifend</div><div>■ sektorenspezifisch</div></div>	Adressatenebene: <div><div>■ Landesregierung</div><div>■ Infrastrukturbetreiber</div><div>■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)</div></div>	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Bestehende Mietwohngebäude sollen (anstelle von Ersatzneubauten) nachhaltig erneuert und allenfalls erweitert werden. Dies soll durch eine spezifische Förderung unterstützt werden. Gefördert werden nachhaltige Maßnahmen, wenn sie deutlich über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehen. Für die Inanspruchnahme der zusätzlichen Förderung ist die Umsetzung von Maßnahmen aus mehreren Nachhaltigkeitsbereichen erforderlich, wobei mehrere Kriterien erfüllt sein müssen. Kriterien können soziokulturelle Maßnahmen ²⁸ , ein ganzheitlicher Ressourceneinsatz, der Einsatz nachwachsender Rohstoffe, Klimaanpassungsmaßnahmen oder auch die lokale Erzeugung erneuerbarer Energien sein. Ziel der Maßnahme ist es, einen Anreiz zur Erhöhung der Energieeffizienz und die Senkung der CO ₂ -Emissionen im vermieteten Wohnungsbau zu bewirken. Es bestehen verschiedene Wirkkanäle: Durch die Effizienzmaßnahmen an den Gebäuden wird der Energieverbrauch reduziert. Der Einsatz der lokalen erneuerbaren Energien als Ersatz fossiler Energieträger verringert zudem die THG-Emissionen der Gebäude. Durch den Erhalt bzw. die Erweiterung der bestehenden Bausubstanz wird der Neubau von Gebäuden vermieden und der Verbrauch an Baumaterialien verringert. Damit können indirekt auch die THG-Emissionen im Sektor Industrie reduziert werden.		
Zielgruppe (Akteure)	Vermieter, Wohnbaugenossenschaften		
Wirkungsrichtung	<div><div>■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung</div><div>■ indirekte THG-Einsparung</div><div>■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen</div><div>■ Senkenerhalt und -aufbau</div></div>		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k. A.	t CO_{2äq}/a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	<div><div>■</div><div>■</div><div>■</div><div>■</div><div>■</div></div>	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	

²⁸ Dazu zählen beispielsweise die Schaffung generationsübergreifender Einrichtungen oder Angebote, belebte Erdgeschosszonen (in Städten) oder auch das Ermöglichen von innovativen Wohnformen (u.a. Generationenhäuser).

Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Gemäß den Zahlen des statistischen Bundesamtes sind mehr als die Hälfte der Wohnungen in Thüringen Mietwohnungen (Mikrozensus Wohnen 2022) [Destatis 2023b]. Auch gewerbliche Unternehmen sind oftmals in Gebäude eingemietet. Entsprechend entfällt ein erheblicher Anteil des Raumwärmeverbrauchs und der damit verbundenen THG-Emissionen auf vermietete Gebäudeflächen. Durch Effizienzmaßnahmen und den Einsatz von erneuerbaren Energien in diesem Segment können die THG-Emissionen des Gebäudesektors grundsätzlich stark reduziert werden. Es bestehen bereits Gebäude-Förderprogramme, u. a. das BEG. Das vorgeschlagene Förderprogramm soll einen zusätzlichen Anreiz generieren und die THG-Reduktionswirkung der bestehenden Förderung verstärken. Zusätzlich soll der Ressourcen- und Materialverbrauch gesenkt sowie durch soziale Aspekte die Akzeptanz der Transformation gefördert werden. Eine Abschätzung der Wirkung der flankierenden Maßnahme ist aufgrund der Überlappung mit den bestehenden Förderprogrammen nicht möglich.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	3 Mio.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	<p>Der Kostenaufwand für den Freistaat Thüringen wird als moderat eingeschätzt. Effizienzmaßnahmen an den Gebäudehüllen können mit hohen Investitionen verbunden sein, wenn gleichzeitig mehrere Bauteile saniert werden (z. B. bei Gesamtsanierungen). Es besteht jedoch bereits eine starke Förderung durch den Bund im Rahmen des BEG, lediglich die Kosten für die zusätzliche Förderung sind aufzubringen. Die Höhe der Kosten ist zudem abhängig von der konkreten Ausgestaltung und der Inanspruchnahme der Förderung.</p> <p>Unterstellt werden auf Bundesebene jährliche Fördermittel für energetische Sanierungen der Gebäudehüllen im BEG im Umfang von 5-6 Mrd. Euro (ohne Anteil Wärmeerzeuger). Der in Thüringen abgerufene Anteil dürfte proportional zum Bevölkerungsanteil bei etwa 2 % liegen (120 Mio. Euro/Jahr). Davon wird eine Erweiterung des Umfangs bzw. eine Aufstockung um rund 5 % angenommen, wovon wiederum etwa 60 % auf die Mietwohnungen entfallen und ein Teil der beantragten Fördermittel jeweils nicht abgerufen wird.</p>					
Zielkonflikte	<p>Die Umsetzung der Maßnahme erfordert eine gute Abstimmung mit den bestehenden Förderatbeständen – die Tatbestände sollen sich ergänzen, nicht konkurrenzieren.</p> <p>Die Fördermittel könnten auch für andere Maßnahmen eingesetzt werden.</p> <p>Der Erhalt bestehender Gebäude ist nicht in jedem Fall vorteilhaft gegenüber einem Ersatzneubau. Beispielsweise bei Gebäuden mit schlechter Flächennutzung (wenig Nutzfläche je versiegelter Fläche) und/oder mit relevanten Dämmrestriktionen, welche die Reduktion des Energiebedarfs einschränken.</p>					
Handlungsalternative	Anstelle der Anreize über Förderung und Information könnte das Baurecht angepasst werden und beispielweise die Auflagen für Ersatzneubauten angepasst werden.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
3	G4		
Gebäude	Hinwirken auf einen sparsameren Umgang der Nutzer mit Strom- und Wärme in Gebäuden		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Anpassung des Nutzerverhaltens: Die Maßnahme beabsichtigt durch Information und Aufklärung das Nutzerverhalten zu beeinflussen und so eine Reduktion des Energieverbrauchs zu erreichen. Die Einsparung kann durch ein sparsameres Heizverhalten, den sparsameren Umgang mit Warmwasser, aber auch durch einen angepassten Umgang mit Elektrogeräten und der Beleuchtung erzielt werden. Einsparkampagnen werden periodisch vom Bund initiiert. Das Land Thüringen soll diese Bestrebungen ergänzen und verstärken. Dabei kann die vergleichsweise größere Nähe zu den Bürgern genutzt werden. Da Kampagnen oftmals nur über einen begrenzten Zeitraum wirken und das Verhalten danach in angestammte Muster und Gewohnheiten zurückfallen kann, sollten periodisch neue Impulse gesetzt werden (bis eine dauerhafte Veränderung einsetzt).		
Zielgruppe (Akteure)	Verbraucher (private Haushalte, aber auch Erwerbstätige), evtl. Verbraucherzentralen		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k. A.	t CO _{2äq} /a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Das Nutzerverhalten hat einen signifikanten Effekt auf den Energieverbrauch im Gebäudesektor. Beispielsweise verändert sich der Raumwärmeverbrauch um rund 6-7 % je Grad Innentemperatur und der Energieverbrauch zur Bereitstellung von Warmwasser korreliert annähernd proportional zum Verbrauch an Warmwasser. Auch beim Lüften und Klimatisieren sowie bei vielen Elektrogeräten ist der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch von Bedeutung. Die effektive THG-Einsparung dürfte geringer ausfallen als das technische Einsparpotenzial. Es ist unwahrscheinlich, dass durch die Informationskampagnen alle Akteure erreicht werden können. Zudem agieren die Akteure teilweise bereits sparsam, bei diesen sind keine oder kaum zusätzliche Einsparungen zu erwarten. Bei Elektroanwendungen ergeben sich keine direkten THG-Einsparungen, diese können jedoch nachgelagert im Sektor Energiewirtschaft anfallen.		

	Die Einsparwirkung kann jedoch sehr schnell erzielt werden, da die Anpassung des Verhaltens in der Regel sofort umgesetzt werden kann und keine oder nur geringe Investitionen erfordern. Ungewiss ist, wie dauerhaft die Verhaltensanpassungen sind. Es wird keine Angabe zur Einsparwirkung gemacht. Um dies belastbar anzugeben, muss vorgängig der Rahmen der Kampagne festgelegt werden, u. a. muss herausgearbeitet werden welche Akteure und welches Verhalten adressiert werden soll.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Die Kosten für den Freistaat Thüringen für die Kampagne werden als eher gering eingeschätzt. Die Höhe der Kosten hängt stark von der Skalierung ab, also wie umfangreich die Kampagne ausfallen soll. Auf eine explizite Angabe der Kosten wird deshalb verzichtet. Die Umsetzung der Einsparmaßnahmen erfolgt durch die Verbraucher. In der Regel fallen dabei keine Kosten an. Durch die Reduktion des Energieverbrauchs können die Verbraucher in der Regel ihre Kosten senken.					
Zielkonflikte	Zielkonflikte werden keine gesehen, die Mittel für die Informationskampagne könnten jedoch auch für andere Maßnahmen eingesetzt werden.					
Handlungsalternative	Alternativ zu Informationskampagnen könnte auch das Beratungsangebot erweitert werden, wobei die Ansätze Information und Beratung auch kombiniert werden könnten. Technische Lösungen, z. B. intelligente Steuerungen oder Wassersparende Armaturen, können den Energieverbrauch ebenfalls senken, ohne dass das Verhalten der Nutzer bewusst bzw. aktiv angepasst werden muss.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
3	G11		
Gebäude	Unterstützung einer klimagerechten Stadtentwicklung		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Die Maßnahme Unterstützung einer „Klimagerechten Stadtentwicklung“ verbindet die Themenbereiche Klimaschutz, Klimaanpassung und Nachhaltigkeit. Die Kommunen sollen darin unterstützt werden, fachkundige Klimaschutzkonzepte und integrierte Quartierskonzepte anzufertigen und dabei neue Ansätze einer klimagerechten Stadtentwicklung zu erproben. Dies kann beispielsweise ein Partizipationsansatz der Bürger sein, mit dem Ziel, eine breite Mitwirkung an erforderlichen Veränderungsprozessen zu erreichen. Die Unterstützung der Kommunen kann auch die Auswahl geeigneter Gebiete für den energetischen Umbau, die Beratung der Akteure zu Themen der klimagerechten Stadtentwicklung und zu gegebenenfalls damit verbundenen (bestehenden) Förderprogrammen umfassen.</p> <p>Ein zentraler Bestandteil der Maßnahme hin zur klimagerechten Stadtentwicklung soll die Begrenzung des Flächenverbrauchs sein. Bereits bestehende Bestrebungen zur Begrenzung des Flächenverbrauchs wie das Umzugsmanagement für Senioren sollen durch die Maßnahme aufgegriffen und verstärkt werden, z. B. durch den Aufbau von Wohnungsbörsen. Ein möglicher starker Eingriff wäre die Einführung von Kontingenten für versiegelte Flächen.</p> <p>Zur Informationsvermittlung und zum Wissenstransfer für kommunale Akteure werden regelmäßige Informationen versendet und gepostet sowie Workshops und Fachveranstaltungen durchgeführt.</p>		
Zielgruppe (Akteure)	Kommunale Vertreter, (interessierte) Bürger, Energieversorger, Raumplaner und Architekten		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k. A.	t CO _{2äq} /a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Die THG-Minderung wird durch einen ganzheitlichen Ansatz erzielt, bei dem nicht einzelne Gebäude, sondern Quartiere und Stadtteile in den Fokus rücken. Dabei werden sowohl direkte THG-Einsparungen als auch indirekte Einsparungen erzielt und bestehende Instrumente/Maßnahmen ergänzt bzw. verstärkt. Die Einsparungen sind in der Regel mit längeren		

	<p>Abstimmungs- und Planungsprozessen verbunden, die Einsparwirkung tritt dadurch erst mittel- bis längerfristig ein.</p> <p>Durch die Quartierskonzepte soll u. a. die Einbindung von erneuerbarer Energie (Wärme und Strom) als Substitut für fossile Energie erleichtert werden, beispielsweise durch eine Abstimmung von EE-Potenzialen und -Erzeugung, dem Energiebedarf und der Netzinfrastruktur. Durch den energetischen Umbau im Rahmen von Gebäudesanierungen wird der Raumwärmeverbrauch verringert. Die Begrenzung der Wohnfläche reduziert ebenfalls den Energieverbrauch, sowohl direkt im Gebäudesektor als auch indirekt durch die Reduktion der benötigten Baustoffe. Der geringere Flächenverbrauch führt außerdem zu weniger versiegelter Fläche, was den Wasserhaushalt und das lokale Klima verbessert. Der Einbezug der Mobilität in die Konzepte kann auch den Energieverbrauch im Verkehrssektor reduzieren. Eine Abschätzung der Wirkung dieser flankierenden Maßnahme ist aufgrund der Überlappung mit den bestehenden Instrumenten und Fördermaßnahmen nicht möglich.</p>					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	1-2 Mio.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Der Kostenaufwand für den Freistaat Thüringen wird als begrenzt eingeschätzt. Dieser umfasst die Beratung und personelle Unterstützung der Kommunen, allenfalls können die Kommunen auch finanziell unterstützt/gefördert werden. Direkte Investitionen in Infrastrukturen und technische Maßnahmen sind nicht vorgesehen.					
Zielkonflikte	<p>Die eingesetzten personellen und finanziellen Mittel könnten auch für andere Maßnahmen genutzt werden.</p> <p>Die unterstützten Quartierskonzepte erfordern eine Abstimmung mit anderen Prozessen, u. a. mit den kommunalen Wärmeplänen.</p>					
Handlungsalternative	Bestehende Förderangebote und Beratungsangebote erweitern und ausbauen.					

Sektor Verkehr

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
4	V1		
Verkehr	Erleichterungen von mobilem Arbeiten und Digitalisierung von Verwaltungsprozessen		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Durch mobiles Arbeiten, vorwiegend vom Wohnort aus, ist der Berufsverkehr seit 2019 bereits deutlich zurückgegangen, Haupttreiber der Entwicklung war die beschleunigte Digitalisierung im Zuge der Corona-Pandemie. Auch die Behörden des Landes haben begonnen, Verwaltungsprozesse zu digitalisieren, so dass Einwohner für zahlreiche Vorgänge nicht mehr persönlich bei einer Behörde erscheinen müssen, sondern den Vorgang vom heimischen Computer aus vornehmen können. Durch diese beiden Entwicklungen wurden Wege eingespart, die in der Vergangenheit teilweise motorisiert zurückgelegt wurden, so dass die THG-Emissionen für diese Wege wegfallen. Diese Entwicklung soll fortgesetzt werden, um weitere Wege einzusparen.</p> <p>Der Bereich der Arbeitswege ist dabei mengenmäßig der wichtigste, da er die täglichen Wege aller selbständig oder unselbständig Beschäftigten in Thüringen betrifft, während Wege zu einer Behörde nur in größeren Abständen pro Person nötig sind.</p> <p>Im ersten Schritt soll – ggf. mit Unterstützung der Kammern – durch eine Befragung erfasst werden, wie hoch der Anteil des mobilen Arbeitens bzw. der Heimarbeit in unterschiedlichen Branchen und Unternehmen derzeit ausfällt. Im nächsten Schritt sollen Unternehmen, die einen für ihre Branche besonders hohen Anteil mobilen Arbeitens aufweisen, in Zusammenarbeit mit Arbeitgeber- und Arbeitnehmervertretern als Best-Practice-Beispiele ausgezeichnet werden, um eine Vorbildwirkung für weitere Unternehmen ihrer Branche zu entfalten.</p> <p>Im Zuge der weiteren Digitalisierung der Verwaltung sollen besonders solche Prozesse bevorzugt digitalisiert werden, die heute in größerem Umfang den Besuch von Bürgerinnen und Bürgern bei einer Behörde erfordern, so dass die Zahl notwendiger Wege rasch gesenkt wird.</p>		
Zielgruppe (Akteure)	Unternehmen aller Art sowie Behörden des Freistaats und der Kommunen		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	bei Wegfall von 10 % aller Wege im Berufsverkehr	85.700 t CO_{2äq}/a (2030) bzw. 46.200 t CO_{2äq}/a (2040)	

THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	16 % der täglichen Wege in Deutschland entfallen auf den Berufsverkehr [MiD 2017], von denen 66 % am Steuer von Pkw zurückgelegt werden [MiD 2008]. Die mittlere Wegelänge der Pkw-Fahrten im Berufsverkehr liegt bei 19 km [MiD 2017]. Ausgehend von 3,12 Wegen je Einwohner und Tag in Thüringen [MiD 2017] und der amtlichen Einwohnerzahl von 2017 entfallen jährlich 4,92 Mrd. gefahrene Pkw-Kilometer auf den Berufsverkehr. Nach UBA sind je Pkw-km (mit Verbrennungsmotor) 0,2085 kg CO _{2aq} in Ansatz zu bringen. Damit ergeben sich jährliche Emissionen von 1,025 Mio. t CO _{2aq} . Durch abnehmende Einwohnerzahlen und zunehmende Elektrifizierung nimmt dieser Effekt ab. Bei einer Elektrifizierung der Pkw von rund 50 % im Jahr 2040 (Referenzszenario) und einer dann um rund 10 % niedrigeren Einwohnerzahl verbleiben Emissionen von 0,442 Mio. t CO _{2aq} . Wenn davon 10 % durch mehr mobiles Arbeiten vermieden werden, können 2040 noch über 46.000 t CO _{2aq} eingespart werden. Für 2030 ergibt sich bei höherer Einwohnerzahl und geringerer Elektrifizierung eine Einsparung von fast 86.000 t CO _{2aq} .					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Der Kostenaufwand wird als niedrig eingeschätzt, da den Unternehmen zwar etwas höhere Kosten für die digitale Infrastruktur entstehen, dafür aber weniger Kosten für Miete und Beheizung von Arbeitsstätten anfallen. Für die Beschäftigten fallen zu Hause etwas höhere Heiz- und Stromkosten an, die jedoch von weggefallenen Fahrtkosten kompensiert werden. Für den Freistaat Thüringen bzw. die Behörden, welche Prozesse digitalisieren, gelten ähnliche Überlegungen, weil weniger Flächen für die Kundschaft bereitgehalten werden müssen. Beim Freistaat Thüringen fallen vorwiegend Personalkosten für die Personen an, die das Netzwerk zu den Unternehmen aufbauen und die Best-Practice-Beispiele bekannt machen.					
Zielkonflikte	<p>Eine zentrale Voraussetzung ist die Verfügbarkeit von schnellem Internet an den Wohnstandorten der Einwohner bzw. Beschäftigten, die noch nicht flächenhaft vollendet ist.</p> <p>Für Arbeitsstätten, bei denen die Präsenz der Beschäftigten unverzichtbar ist (z. B. Krankenhäuser, Kontrolle von Industrieprozessen, Gastronomie) werden keine nennenswerten Effekte erwartet, der Anteil der vorwiegend digital lösbaren Arbeitsaufgaben (in anderen Branchen) steigt jedoch stetig an. Zielkonflikte können sich bei der Arbeitsorganisation in Unternehmen ergeben, deren Beschäftigte ein so geringes Maß an Eigenverantwortung aufweisen, dass sie an der Arbeitsstätte stärker kontrolliert werden sollen.</p> <p>Für die Digitalisierung der Verwaltung gibt es Zielkonflikte für die Zugänglichkeit von Personengruppen ohne Internetzugang (Teile der Senioren oder Menschen mit anderweitigen Einschränkungen) sowie mit der Verfügbarkeit der erforderlichen digitalen Infrastruktur.</p>					
Handlungsalternative	<p>Ein ähnlicher Effekt zur Verminderung des Berufsverkehrs könnte durch den Rückgang der Wirtschaftstätigkeit (weniger Arbeitsplätze) und damit verbundene Abwanderung von Teilen der Bevölkerung erreicht werden, in diesem Fall würden die Beschäftigten jedoch außerhalb Thüringens ihre Arbeitsplätze suchen und dort ebenfalls Berufsverkehr generieren. Global gesehen kann damit kein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden.</p> <p>In der Verwaltung könnte ein vergleichbarer Effekt nur erreicht werden, wenn Meldepflichten oder andere Anlässe zum Besuch von Behörden gestrichen würden. Hierzu liegen aber bisher keine konkreten Vorschläge vor.</p>					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045		
KSG-Sektor	Maßnahme	
4	V3	
Verkehr	Dezentralisierungsvorhaben für bessere Nahversorgung aller Art	
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none"> ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch 	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none"> ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>In den zurückliegenden drei Jahrzehnten haben Konzentrationsprozesse im Einzelhandel und bei Arbeitsplätzen sowie Verwaltungsreformen regelmäßig dazu beigetragen, dass die von der Bevölkerung zurückzulegenden täglichen Wege stetig länger wurden. Längere Wege sind jedoch selten im nichtmotorisierten Verkehr (Fuß- und Radverkehr) zu bewältigen. Somit steigen mit jedem verlängerten Weg auch Energieverbrauch und Emissionen des Verkehrs. Dieser Trend soll durch die Maßnahme angehalten und umgekehrt werden, um zur Senkung des Verkehrs- und Energieaufwands sowie der THG-Emissionen beizutragen. Zugleich soll es auch der Bevölkerung im ländlichen Raum ermöglicht werden, ihre täglichen Ziele in einem Radius von rund 10 km um den Wohnort zu erreichen, der beispielsweise mit einem Pedelec gut zu bewältigen ist. Diese Ziele verbessern zugleich die Lebensqualität im ländlichen Raum.</p> <p>Mögliche Ansätze dafür sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Schulnetzplanung mit kleineren Schulstandorten (ggf. durch Umbau leerstehender Gebäude, z. B. früher geschlossener Schulstandorte, auch einzügige Schulen oder mehrere Standorte einer Schule vorstellbar), ■ Erhaltung und Förderung von Landarztpraxen oder mobilen Ärzten für die medizinische Versorgung ■ Selbstbedienungsläden und fahrende Händler für die Lebensmittelversorgung <p>Je nach Region können die täglichen Wege dadurch nennenswert verkürzt werden, so dass zum einen Energiebedarf und THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs entsprechend sinken, zum anderen kann die Bevölkerung dann für einen Teil der Wege auch nichtmotorisierte Verkehrsmittel nutzen und damit die Umwelt zusätzlich entlasten. Im Zuge einer Schulnetzplanung mit kleineren Standorten vermindert sich auch der Aufwand für den Schulbusverkehr, so dass Kapazitäten bei den Busunternehmen für Verbesserungen des ÖPNV zugunsten anderer Zielgruppen frei werden.</p> <p>Insgesamt werden damit THG-Emissionen aus dem Verkehrssektor über mehrere Wirkungsketten eingespart.</p>	
Zielgruppe (Akteure)	Behörden des Freistaats und der Kommunen, insbesondere Schulverwaltung, Unternehmen und freiberuflich Tätige in der medizinischen Versorgung, Einzelhandelsunternehmen	
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none"> ■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau 	

Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)		mittelfristig (5 bis 10 Jahre)		langfristig (ab 10 Jahre)	
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k. A.		t CO _{2äq} /a			
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Das Minderungspotenzial kann nur errechnet werden, wenn erkennbar wird, wie viele Schulen, Praxen und Einzelhandelsstandorte zusätzlich geschaffen bzw. an wie vielen Standorten zusätzlich temporäre mobile Angebote entstehen, so dass auch für die Zahl der betroffenen Einwohner und für die Zahl, der von diesen eingesparten Kilometer realistische Annahmen für eine Überschlagsrechnung getroffen werden können.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Der Kostenaufwand kann noch nicht beziffert werden und hängt von den gewählten Formen der Umsetzung ab (z. B. Schulstandorte als Neubau oder als Reaktivierung alter Standorte, Gestaltung einer Förderrichtlinie für dezentrale Versorgung etc.)					
Zielkonflikte	<p>Im Einzelhandel sind dezentrale Standorte mit geringen Umsätzen in der Regel weniger rentabel. Für die Einführung eines reinen Selbstbedienungsbetriebs (wie in Schweden bereits üblich) sind Anfangsinvestitionen erforderlich, die eine öffentliche Förderung benötigen.</p> <p>Bei weiterführenden Schulen mit weniger Zügen (Parallelklassen) wird die Zahl der wählbaren Fachprofile kleiner ausfallen als bei den heutigen weiterführenden Schulen. Um Kosten für Schulleitungen zu sparen, kann überlegt werden, einige kleine Schulen formal zu Außenstellen anderer Schulen zu machen.</p> <p>Die Bereitschaft von ärztlichem Personal und anderer Gesundheitsberufe, sich im ländlichen Raum niederzulassen, ist derzeit unterdurchschnittlich ausgeprägt, hier reichen rein finanzielle Anreize nicht aus. Nahe Schulstandorte können aber die Entscheidung für einen ländlichen Wohnstandort begünstigen.</p>					
Handlungsalternative	Die Handlungsalternativen der Maßnahme (temporäre fahrende Angebote anstelle von Kleinstandorten) sind in Bezug auf Einzelhandel und medizinische Versorgung bereits im Rahmen der Maßnahme benannt. In Betracht kommen auch multifunktionale Dorfläden, die auch Postdienstleistungen und Behördenfunktionen übernehmen.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
4	V5		
Verkehr	Bestellung zusätzlicher SPNV-Angebote auf Achsen aktuell und potenziell starker Nachfrage		
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch		Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)
	Durch die Bestellung zusätzlicher Leistungen im SPNV steigt die Attraktivität dieses Verkehrsmittels im Vergleich zum weniger energieeffizienten Pkw-Verkehr. Auf bestehenden stark frequentierten Linien kann durch zusätzliche Fahrten die Taktdichte gesteigert und damit die mittlere Wartezeit vermindert werden, so dass der Attraktivitätsunterschied zum Pkw zugunsten des SPNV verändert wird, sofern die betroffenen Strecken und Knoten ausreichende Kapazitätsreserven aufweisen und entsprechende Ressourcen bei den EVU und dem Aufgabenträger (Fahrzeuge, Personal, Finanzmittel) vorhanden sind. Die Attraktivität steigt zugleich durch die verbesserte Chance auf einen Sitzplatz zu Zeiten hoher Auslastung. Werden Strecken reaktiviert, so bildet das zusätzliche Angebot oftmals auch eine attraktivere Alternative zum Pkw als der Busverkehr. Damit fallen Energieverbrauch sowie THG-Emissionen des Pkw-Verkehrs teilweise weg (sofern eine nennenswerte Nachfrage zum SPNV verlagert werden kann) und werden durch Energieverbrauch und THG-Emissionen des Bahnverkehrs ersetzt, letztere fallen je Personenkilometer niedriger aus. Dieser Vorteil besteht sowohl bei fossilen als auch bei elektrischen Motoren. Bei einer Verlagerung von fossil angetriebenen Pkw zu elektrischen Zügen fallen die THG-Einsparungen besonders hoch aus.		
	Zielgruppe (Akteure)		
	Thüringer Landesamt für Bau und Verkehr sowie Eisenbahnverkehrsunternehmen		
Wirkungsrichtung	■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k. A.	t CO _{2äq} /a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Zur Berechnung der konkreten Einsparung muss zunächst der Umfang der zu bestellenden SPNV-Leistungen definiert werden (z. B. ca. 22 % mehr SPNV-Angebot 2045 im Vergleich zu 2024 wie im Zielszenario 2045). Weiterhin spielt der Elektrifizierungsgrad der Pkw zum Zeitpunkt der Umstellung eine wichtige Rolle, da nach dem Quellenprinzip beim Wegfall elektrisch betriebener Pkw-Fahrten ein Einspareffekt nur in Bezug auf die benötigte Strommenge, nicht aber in Bezug auf THG-Emissionen erreicht werden kann. Der dritte noch		

	unsichere Faktor ist die konkret bei den Pkw wegfallende Fahrleistung durch die Verkehrsteilnehmer, die vom Pkw zum SPNV umsteigen.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich (2045):	71.053.200,-	Euro/a	kumuliert insgesamt:	355.266.000,-	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Der Kostenaufwand für die Bestellung von SPNV-Leistungen liegt nach Einschätzung des TLBV für zukünftige Verkehrsverträge in der Größenordnung von 15,- bis 19,- Euro je bestelltem Zugkilometer (Preisstand 2024). Werden 2045 22 % mehr SPNV-Leistungen bestellt als 2024 bzw. 18 % mehr als im Referenzszenario prognostiziert, bedeutet dies im Vergleich zum Referenzszenario eine Steigerung um 4,18 Mio. Zug-km, die im Jahr 2045 bei einem geschätzten Preis von 17,- Euro je Zug-km zu Mehrkosten von 71,05 Mio. Euro im Jahr 2045 führen wird (Preisstand 2024, ohne Inflation). Unter der Annahme, dass die zusätzlichen Leistungen ab 2037 schrittweise aufgebaut werden, ergibt sich (ohne Berücksichtigung der für die Zukunft erwarteten Kostensteigerungen) ein kumulierter Kostenaufwand im Vergleich zum Referenzszenario von ca. 255 Mio. Euro.					
Zielkonflikte	<p>Voraussetzung für die Bestellung zusätzlicher Züge ist eine ausreichende Schieneninfrastruktur (bzw. deren kapazitätsgerechte Schaffung) sowie eine Finanzierung des Betriebs über Mittel des Freistaats Thüringen, die über die vom Bund bereitgestellten Regionalisierungsmittel hinaus gehen. Angesichts der aktuell bereits bekannten erheblichen Kostensteigerungen reichen die RegG-Mittel bereits nicht aus bzw. sind zusätzliche Mittel erforderlich, um das derzeitige Angebot im ÖPNV langfristig zu finanzieren. Durch langfristige Planungen und Verkehrsverträge sowie durch die Abstimmung mit dem Aus- und Umbau der Schieneninfrastruktur können die zusätzlichen Leistungen erst ab 2036 (bzw. 2043) in nennenswertem Umfang bestellt werden, obwohl ihr Nutzen auch früher schon eindeutig wäre.</p> <p>Ein Hemmnis ist zudem der Fachkräftemangel im Bahnverkehr (sowohl im Fahrdienst als auch bei Stellwerken). Damit besteht ein Zielkonflikt zur Gewinnung von Fachkräften in anderen für die Transformation nötigen Berufen (z. B. Installation von Anlagen für erneuerbare Energien).</p>					
Handlungsalternative	Durch regulatorische Einschränkungen des Pkw-Verkehrs ließen sich ähnliche Einsparungen erreichen, wobei die Alternativen zum Pkw (überfüllte Züge, überfüllte Busse, Fahrrad) dann weniger attraktiv wären und dementsprechend wegen eines negativen Images vermutlich nicht dauerhaft akzeptiert würden.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045		
KSG-Sektor	Maßnahme	
4	V6	
Verkehr	Umstrukturierung des Busangebots im Sinne der Nutzung durch Erwachsene mit Plus-Bus-Linien (z. B. für Berufspendler zu allen Standorten mit vielen Arbeitsplätzen) und einem nachfragegesteuerten ganztägig verfügbaren Ergänzungsnetz zur Flächenbedienung	
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none"> ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch 	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none"> ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Die Busangebote im ländlichen Raum sind derzeit noch stark durch die Bedürfnisse des Schülerverkehrs geprägt. Zu Tageszeiten ohne Schülerverkehr und an schulfreien Tagen gibt es daher in vielen ländlichen Ortschaften abseits der SPNV-Achsen kein ÖPNV-Angebot, mit dem die Erwachsenen ihre täglichen Wege (Arbeit, Versorgung, Freizeit) zurücklegen können. Um dem abzuhelpen, soll das Liniennetz so umstrukturiert werden, dass lediglich die nachfragestarken Linien (Plus-Bus-Linien) mit ganztägigen Taktangeboten an allen Wochentagen als regulärer Linienverkehr beibehalten werden. Für die Ortschaften, die weder an einer SPNV-Achse noch an einer Plus-Bus-Linie liegen, soll ein nachfragegesteuertes Angebot mit ganztägiger Flächenbedienung das bisherige Angebot nicht vertakteter Linien ersetzen. Dieses setzt zwar eine vorherige Bestellung voraus, ermöglicht dann jedoch flächenhaft und ganztägig Zubringerverkehre zu den SPNV-Linien und Plus-Bussen für die Einwohnerinnen und Einwohner der ländlichen Räume.</p> <p>Es wird damit gerechnet, dass dadurch ein Teil, der heute mit dem Pkw unternommenen Fahrten im ländlichen Raum wegfällt, weil das neue Flächenangebot genutzt wird. Einige Haushalte können dadurch auch das Vorhalten eines Zweit-Pkw einsparen, so dass die Anzahl der Pkw sinkt und Verkehrsgewohnheiten dauerhaft verändert werden; somit muss bei der Antriebswende auch nicht jeder einzelne Verbrenner-Pkw durch einen BEV-Pkw ersetzt werden, was zur Kosteneinsparung privater Haushalte beiträgt. Auch wenn die nachfragegesteuerten Angebote mit Pkw in vielen Fällen mit durchgeführt werden, sinken die Emissionen, weil die nicht mehr erforderlichen Pkw-Fahrten länger sind als die nachfragegesteuerten Fahrten, die ja als Zubringer zu ÖPNV-Angeboten über längere Strecken auf Straße und Schiene konzipiert sind. Zudem fallen durch die Umstellung auch Emissionen einiger nicht-vertakteter Buslinien ganz weg. Da ein Großteil der nicht-vertakteten Buslinien derzeit dem Schülerverkehr dient, kann ein Teil dieser Linienleistungen auch durch die Maßnahme V3 zur Dezentralisierung von Schulstandorten eingespart werden. Damit ergibt sich eine entsprechende Verminderung von THG-Emissionen. Wenn langfristig sowohl Busse als auch Pkw vollständig elektrisch unterwegs sind, verbleibt eine Einsparung von Strom im Energiesystem.</p>	
Zielgruppe (Akteure)	Zielgruppe sind die Aufgabenträger des Straßenpersonennahverkehrs sowie die durch diese Aufgabenträger beauftragten Busverkehrsunternehmen.	
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none"> ■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen 	

	■ Senkenerhalt und -aufbau					
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)		mittelfristig (5 bis 10 Jahre)		langfristig (ab 10 Jahre)	
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k.A.		t CO _{2äq} /a			
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Eine Einsparung kann erst berechnet werden, wenn klar wird, in welchem Umfang die Aufgabenträger Buslinien durch die nachfragegesteuerten Angebote ersetzen und wie stark diese dann genutzt werden. Je nach Umsetzungszeitpunkt ist dabei auch der unterschiedliche Elektrifizierungsgrad der eingesparten Pkw-Kilometer zu berücksichtigen.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Der Kostenaufwand hängt von den Verkehrsverträgen ab, die die Aufgabenträger (Landkreise) mit den Verkehrsunternehmen schließen. Es ist davon auszugehen, dass die Aufgabenträger aufgrund ihrer begrenzten finanziellen Spielräume für das nachfragegesteuerte Angebot nicht wesentlich mehr Mittel einsetzen als sie beim Wegfall nicht-vertakteter Buslinien einsparen. Daher wird der Mehrkostenaufwand als sehr niedrig eingestuft. Es sind allerdings in der Planungsphase Anfangsaufwendungen zu berücksichtigen.					
Zielkonflikte	Für Busgesellschaften, die die Angebote umsetzen sollen, wird es in vielen Gebieten nicht sinnvoll sein, die nachfragegesteuerten Angebote mit den Standardlinienbussen zu fahren, die aktuell auf den nicht-vertakteten Linien unterwegs sind. Es kann nötig werden, Taxiunternehmen als Unterauftragnehmer mit der Durchführung der Angebote zu beauftragen. Zielkonflikte können sich auch mit den Nahverkehrsplänen der Aufgabenträger oder mit dem VMT-Rahmenplan ergeben, weil dort die entsprechenden Umstellungen bisher nicht vorgesehen sind. Vor der Umsetzung wäre eine entsprechende Überarbeitung der Nahverkehrspläne angemessen.					
Handlungsalternative	Ein ähnlicher Minderungseffekt beim Pkw-Verkehr könnte auch durch eine reine Ausweitung der Linienangebote im ÖPNV erreicht werden. Hier wären allerdings die Kosten höher, weil Busse auch dann unterwegs wären, wenn keine Fahrgäste zu befördern sind. In diesem Fall wäre auch der Energieaufwand für den Betrieb der Busse höher.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
4	V8		
Verkehr	Radvorrangrouten an wichtigen Verbindungsachsen außerorts, Vereinfachung von Ausgleichsregelungen		
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch		Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)
	Um den überörtlichen Alltagsradverkehr zu fördern, müssen Radvorrangrouten – anders als beim touristischen Radverkehr möglichst umwegfrei angelegt werden. Vorgeschlagen wird dafür die Schaffung von bedarfsgerechten Radvorrangrouten an wichtigen Verbindungsachsen mit Ausrichtung auf den Berufspendelverkehr auch mit E-Bike, dabei auch Stärkung des Radverkehrs an Außerortsstraßen mit Vereinfachung der Ausgleichsregelungen beim Flächenenerwerb. Der Begriff „Radschnellweg“ wird an dieser Stelle nicht eingeführt, da das erforderliche Potenzial an Radverkehr in Thüringen kaum erreicht wird. Dennoch sollen die Radvorrangrouten in Anlehnung an Radschnellwege durchschnittliche Geschwindigkeiten von 20 km/h erlauben, was eine entsprechende Linienführung, Breite und weitgehende Kreuzungsfreiheit erfordert. Da beim Bau solcher Verbindungen der Flächenenerwerb derzeit durch das geltende System der Ausgleichsregelungen gehemmt wird, wird vorgeschlagen, auch dieses System so zu vereinfachen, dass Planung und Bau der Radvorrangrouten beschleunigt bzw. teilweise erst ermöglicht werden. Im Ergebnis wird der überörtliche Radverkehr dadurch so attraktiv, dass auf den Relationen, auf denen die Radvorrangrouten errichtet wurden, ein Teil der Personen, die derzeit noch Pkw nutzen, auf das Fahrrad umsteigt. Damit fallen der Energieverbrauch und die THG-Emissionen der eingesparten Pkw-Fahrzeugkilometer weg.		
	Zielgruppe (Akteure)		
	Straßenbaulasträger der außerörtlichen Straßen von überörtlicher Bedeutung (Bund, Freistaat, Landkreise)		
Wirkungsrichtung	■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k.A.	t CO _{2äq} /a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■ ■ ■ ■ ■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Die Minderungswirkung wird zunächst – mit Blick auf den gesamten Pkw-Verkehr Thüringens als niedrig eingestuft, kann jedoch mittelhoch ausfallen, wenn die Radvorrangrouten zu einem landesweiten Netz verdichtet werden. Je nach Zeitraum der Umsetzung ist bei der Berechnung der Minderung ein anderer Anteil von fossil oder elektrisch angetriebenen Pkw in Ansatz zu bringen.		

Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■ ■ ■ ■ ■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kosten- aufwandes	Der Kostenaufwand bestehender und aktuell geplanter Radschnellwege schwankt zwischen 0,2 und 1,1 Mio. € je gebautem Kilometer. Für die Radvorrangrouten kann der Standard abschnittsweise auch einfacher ausfallen, sofern die Reisegeschwindigkeiten trotzdem erreichbar sind. Je nach Netzlänge und konkreter Bauplanung können sich dadurch sehr unterschiedliche Gesamtkosten ergeben.					
Zielkonflikte	Ein Zielkonflikt besteht in der Flächennutzung durch die Bodenversiegelung gut trassierter Radschnellwege. Weiterhin ist damit zu rechnen, dass die zur Einhaltung guter Standards erforderlichen Flächen gerade dort am wenigsten erreicht werden können, wo das Radverkehrsaufkommen am höchsten ist, da dies mit einer höheren Siedlungsdichte und Bebauung korreliert.					
Handlungsalternative	Ein vergleichbarer Effekt für den Radverkehr könnte – je nach Region – dadurch erreicht werden, dass ausgewählte Außerortsstraßen vollständig umgewidmet werden und nur noch dem Radverkehr dienen. Da sie ursprünglich für Kraftfahrzeuge angelegt wurden, ist die Trassierung und Breite generell ausreichend. Dies führt jedoch zu Zielkonflikten mit der Erreichbarkeit aller Ziele für den Kfz-Verkehr.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
4	V9		
Verkehr	Verstärkung der Förderung und Begünstigung des Radverkehrs in den Kommunen		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Der überwiegende Teil des Radverkehrs findet auf innerörtlichen Straßen und damit innerhalb der Städte und Gemeinden statt. Damit liegen hier auch die größten Potenziale zur Steigerung des Anteils des Radverkehrs am Modal Split. Durch die dichte Bebauung und Flächennutzung sind die Verkehrsflächen innerorts in der Regel beschränkt, so dass die Förderung des Radverkehrs dort in der Regel nicht – wie außerorts – durch die Schaffung von Radwegen auf zusätzlichen Verkehrsflächen erreicht werden kann. Wesentlich ist hier eine Priorisierung des Radverkehrs gegenüber dem Kfz-Verkehr, etwa durch Fahrradstraßen, Umwidmung von Fahrspuren oder verminderte Geschwindigkeiten, bei denen der Radverkehr und Pkw-Verkehr in etwa gleicher Geschwindigkeit durch engere Straßen fließen; außerdem die bedarfsgerechte Schaffung von Fahrradabstellanlagen, insbesondere an den Verknüpfungsstellen zum öffentlichen Verkehr, besonders zum SPNV. In der Richtlinie zur Förderung von kommunaler Verkehrsinfrastruktur in Thüringen sowie im Sonderprogramm „Stadt und Land“ ist eine Priorisierung des Radverkehrs bereits verankert. Zur weiteren Priorisierung des Radverkehrs können auch nicht-investive verkehrsorganisatorische Maßnahmen (z. B. Umwidmung vorhandener Verkehrsflächen, Parkraumkonzepte, mit denen die Attraktivität des MIV sinkt) oder Maßnahmen der Öffentlichkeitsarbeit für den Radverkehr zählen. Zusammengekommen soll damit erreicht werden, dass innerörtliche Fahrten mit weniger als 5 km Länge in größerem Umfang vom Pkw zum Fahrrad verlagert werden. Ziel ist dabei insgesamt die Verminderung von Emissionen des Pkw-Verkehrs durch eine veränderte Verkehrsmittelwahl der Bevölkerung.		
Zielgruppe (Akteure)	Unternehmen aller Art sowie Behörden des Freistaats und der Kommunen		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k.A.	t CO_{2äq}/a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Die Minderungswirkung einer Verlagerung von Pkw-Fahrten hin zum Radverkehr ist sehr deutlich und stärker als bei einer Verlagerung zum öffentlichen Verkehr, da der Radverkehr emissionsfrei unterwegs ist. In Bezug auf die Zahl der Wege kann der Modal Split sich dabei		

	stark ändern, in Bezug auf die Verkehrsleistung und damit auch auf Energieverbrauch und Emissionen ist der Effekt eher mittelgroß, weil vorwiegend kürzere innerörtliche Wege betroffen sind. Je nach Zeitraum der Umsetzung ist bei der Berechnung der Minderung ein anderer Anteil von fossil oder elektrisch angetriebenen Pkw in Ansatz zu bringen. Da viele nicht-investive Maßnahmen jedoch kurzfristiger umgesetzt werden können als der Bau zusätzlicher Verkehrsinfrastruktur und innerorts die Chance auf eine Verlagerung größer ist als durch die Maßnahme V8, wird auch das Minderungspotenzial der Maßnahme V9 etwas höher eingestuft als das der Maßnahme V8.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Der Kostenaufwand hängt wesentlich davon ab, in welchem Umfang die Kommunen die entsprechende Unterstützung aufgreifen. Generell ist der Kostenaufwand bei organisatorischen und verkehrsregelnden Maßnahmen niedriger und erfordert wenige Investitionsmittel, jedoch einen höheren Kommunikationsaufwand, um die Akzeptanz von Maßnahmen, die auch der Verminderung des Autoverkehrs dienen, zu erreichen, etwa durch die Herausstellung des öffentlichen Nutzens einer verbesserten Aufenthaltsqualität an Straßen mit niedrigeren Geschwindigkeiten und weniger Platz für Pkw.					
Zielkonflikte	Die Zielkonflikte werden sich in vielen Kommunen mit dem Ziel der Flüssigkeit des Pkw-Verkehrs ergeben, da die Neuregelungen jeweils sofort greifen, während die Veränderungen bei der Verkehrsmittelwahl langsamer wirken, viele Pkw-Fahrerinnen und -Fahrer suchen bei zäher fließendem Pkw-Verkehr zunächst andere Routen für den Pkw, bevor sie in Erwägung ziehen, den Pkw stehen zu lassen. Eine Veränderung des Modal Split ergibt sich allerdings erfahrungsgemäß besonders aus dem Zusammenwirken von Push- und Pull-Maßnahmen, deren öffentliche Popularität sehr unterschiedlich ist.					
Handlungsalternative	Die Maßnahme ist so allgemein formuliert, dass sie bereits unterschiedliche Handlungsalternativen enthält (Flächenverteilung, Geschwindigkeiten, Parkraummanagement). Die Städte und Gemeinden müssen dabei jeweils selbst entscheiden, welche der Maßnahmen zur Begünstigung des Radverkehrs bei ihnen am besten wirkt.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
4	V12		
Verkehr	Förderung des Aufbaus öffentlicher Elektro-Lade-Infrastruktur		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Die Umstellung der Kfz-Flotte von Verbrennungsmotoren auf Elektromotoren spielt in ländlichen Räumen eine überdurchschnittliche Rolle, da hier die Pkw-Dichte je Einwohner höher als in den Städten ist, wo oft andere Verkehrsmittelalternativen vorhanden sind. Die Abhängigkeit der Pkw-Halter von der öffentlichen Ladeinfrastruktur ist dagegen in Gebieten mit dünner Besiedlung geringer, da in Grundstücken mit Garage oder Pkw-Stellplatz die Möglichkeit zur Errichtung einer privaten Wallbox besser ist. Ergänzend zu den bundesweiten Förderinstrumenten kann der Freistaat Thüringen den Aufbau der Elektro-Lade-Infrastruktur vor allem fördern durch</p> <ul style="list-style-type: none">■ Schnellladesäulen für Nutzer, die unterwegs nachladen und■ mehr Ladesäulen im Umfeld mehrstöckiger Bebauung oder historischer Ortskerne (auch in ländlichen Räumen), bei denen wenige private Stellflächen vorhanden sind. <p>Die Maßnahme wirkt indirekt, weil durch die Verdichtung des Netzes der E-Ladesäulen die Bereitschaft von Kfz-Eigentümern steigt, beim nächsten Wechsel des Fahrzeugs ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug zu kaufen. Dieser Wechsel könnte sich andernfalls bis 2035 verzögern, weil bis dahin auch Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor verkauft werden dürfen. Durch den Ladesäulenaufbau wird somit über einen beschleunigten Hochlauf der E-Pkw die Zahl und Fahrleistung der Verbrenner-Pkw schneller gesenkt.</p>		
Zielgruppe (Akteure)	Straßenbaulasträger (Freistaat, Kreise, Gemeinden) und Betreiber der Ladesäulen		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k.A.	t CO₂eq/a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Wenn angenommen wird, dass auf jede Ladesäule 10 E-Pkw als Nutzer kommen, und 10 % dieser E-Pkw nicht angeschafft worden wären, wenn die entsprechenden Ladesäulen nicht errichtet worden wären, kann mit jeder zusätzlichen Ladesäule die Beschaffung eines E-Pkw induziert werden. Für jeden angeschafften E-Pkw kann (vereinfachend) die Stilllegung eines		

	fossil angetriebenen Pkw angenommen werden, so dass dessen jährliche Emissionen dementsprechend wegfallen. Je fossil angetriebenem Pkw mit rund 13.000 Jahresfahrleistung fallen jährlich rund 2 t THG-Emissionen weg. Je nach der Zahl der zusätzlichen Ladesäulen, die ohne Unterstützung des Freistaats Thüringen nicht errichtet worden wären, könnte auf diesem Weg auch eine THG-Minderung abgeschätzt werden.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■ ■ ■ ■ ■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Der Kostenaufwand hängt von der Anzahl der durch den Freistaat Thüringen geförderten Ladesäulen und Schnellladesäulen ab, die Verteilung der Kosten auf den Freistaat und Dritte (indirekt die privaten Nutzer) hängt vom Fördersatz ab. Für eine öffentliche Ladesäule mit 2 Ladepunkten zu je 22 kW können Kosten zwischen 10.000,- und 20.000,- Euro veranschlagt werden [emobicon 2024]. Für Schnellladesäulen ist nach Virta International mit Kosten der Hardware von rund 200,- Euro je kW Ladeleistung zu rechnen [virta 2024], was z. B. für eine Ladesäule mit zwei Ladepunkten à 200 kW zu Kosten von ca. 80.000,- Euro führt.					
Zielkonflikte	Zielkonflikte kann es bei der Frage geben, wer durch die Förderung besonders begünstigt wird (z. B. ländliche Standorte oder Mittelzentren bzw. bestimmte Betreiber der Säulen), außerdem muss geklärt werden, welche Bundesförderung zum Umsetzungszeitpunkt gilt, so dass Thüringen nur subsidiär solche Projekte fördern muss, die der Bund nicht fördert, oder indem Thüringen durch Landesmittel die Förderquote aufstockt.					
Handlungsalternative	Alternativen, mit denen Anreize für den Umstieg vom Verbrennungs- zum Elektromotor geschaffen werden können, sind schwer zu finden. Entweder werden Anreize zur Abschaffung fossiler Pkw gesucht (Maßnahme V13, nicht priorisiert) oder Vorrechte anderer Art für E-Fahrzeuge im Straßenverkehr geschaffen (Besteuerung, Verkehrsregeln), was aber in der Kompetenz des Bundes liegt.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
4	V14		
Verkehr	Beschaffung von energieeffizienten elektrischen Fahrzeugen für den Landesfuhrpark		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Der Landesfuhrpark des Freistaats Thüringen umfasst eigene und geleaste Fahrzeuge der Landesregierung, der Landesbehörden und weiterer Landeseinrichtungen (Hochschulen, Kultureinrichtungen etc.). Die meisten Fahrzeuge eines Bundeslandes sind erfahrungsgemäß bei der Polizei zugelassen.</p> <p>Ziel der Maßnahme ist die Beschaffung von energieeffizienten elektrischen Fahrzeugen für den Landesfuhrpark als Regelfall, soweit eigene Fahrzeuge noch nötig sind (vgl. Mobilitätsmanagement). Auch wenn die Gesamtzahl dieser Fahrzeuge nur einen kleinen Teil der in Thüringen betriebenen Fahrzeuge ausmacht, so ist doch die Vorbildwirkung nicht zu unterschätzen.</p> <p>Insofern kommt zu der direkten Wirkung noch eine indirekte Wirkung.</p> <p>Die THG-Einsparung lässt sich unter der Annahme einer mittleren Fahrleistung der mit Verbrennungsmotor angetriebenen Fahrleistung errechnen, die außer Betrieb genommen werden. Dabei müssen nicht automatisch gleich viele E-Fahrzeuge angeschafft werden, wie Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor abgeschafft werden, da im Zuge des Mobilitätsmanagements auch Fahrzeuge eingespart werden können. Entscheidend ist die Anzahl der abgeschafften Pkw mit Verbrennungsmotor und deren bisherige Fahrleistung, für deren Funktionen keine neuen Pkw mit Verbrennungsmotor mehr angeschafft werden. Die Emissionseinsparung kann dann direkt aus der bisherigen Fahrleistung abgeleitet werden.</p>		
Zielgruppe (Akteure)	Freistaat Thüringen und alle Landeseinrichtungen		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	Schätzung: rund 2.700	t CO_{2aq}/a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■ ■ ■ ■ ■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Bei einem Fuhrpark von 1.000 Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (vorsichtige Schätzung als Analogie zu anderen Bundesländern, durch echte Bestandszahlen zu konkretisieren) und einer mittleren Jahresfahrleistung von 13.000 km je Fahrzeug 13 Mio. Pkw-km. Nach UBA sind je Pkw-km (mit Verbrennungsmotor) 0,2085 kg CO _{2aq} in Ansatz zu bringen. Damit ergeben sich jährliche Emissionen von 2.710,5 t CO _{2aq} .		

Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■ ■ ■ ■ ■			nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch		
Herleitung des Kosten- aufwandes	Der Kostenaufwand hängt in Bezug auf die Investitionen von den Differenzkosten zwischen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und Fahrzeugen mit Elektromotor ab. Für eine Gesamtkostenbetrachtung müssen jedoch auch die Betriebskosten während der Nutzungsdauer berücksichtigt werden, die bei fossil angetriebenen Fahrzeugen wegen des ansteigenden CO ₂ -Preises zukünftig stärker ansteigt. Insgesamt kann damit gerechnet werden, dass über die Nutzungsdauer (je nach Einzelfall) keine oder nur sehr niedrige Mehrkosten anfallen.					
Zielkonflikte	Zielkonflikte können sich aus der Kameralistik ergeben, weil höhere Investitionen zuerst und niedrigere Betriebskosten erst später anfallen. Zudem ist das Angebot für Sonderfahrzeuge mit elektrischem Antrieb noch begrenzt, so dass zwischen einer Anschaffung mit Verbrennungsmotor und einer Verschiebung der Anschaffung bis zum Zeitpunkt einer besseren Verfügbarkeit von Elektroantrieben abgewogen werden muss.					
Handlungsalternative	Als Handlungsalternative besteht der Ansatz, gar keine Fahrzeuge mehr im öffentlichen Eigentum zu halten und Fahrzeuge jeweils kurzfristig bei Bedarf zu mieten, so dass jeweils der neueste technische Stand zum Zeitpunkt der Nutzung ausgewählt werden kann.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
4	V24		
Verkehr	Mobilitätsmanagement für Dienstreisen der Verwaltung		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Alle Formen des Mobilitätsmanagements sollen durch die Landesverwaltung sowie andere öffentliche Stellen, die sich anschließen (z. B. Kommunalverwaltungen) vorbildhaft eingeführt werden. Hierzu gehören die Vermeidung von Fahrten durch Videokonferenzen oder mobiles Arbeiten (vgl. auch Maßnahme V1), die Terminwahl in Abhängigkeit von ÖV-Fahrplänen, die Verkehrsmittelwahl mit Präferenz beim Umweltverbund, Jobtickets, Jobfahrräder, Parkraummanagement mit Begünstigung von Fahrgemeinschaften, eine Verkleinerung des Fahrzeugbestands durch Pooling und Taxifahrten, sowie innerhalb von Fahrzeugpools bevorzugte Nutzung sparsamer Elektrofahrzeuge, soweit verfügbar. Die Maßnahmen wirken sich sowohl auf den Berufsverkehr der Beschäftigten aus (auch in Kombination mit der Maßnahme V1), als auch auf betrieblich veranlasste Fahrten. Insgesamt kann damit der Pkw-Anteil im Modal Split im Berufsverkehr und im Dienstreiseverkehr gesenkt werden, der Besetzungsgrad vorhandener Pkw kann steigen und die Anzahl der dienstlich erforderlichen Pkw im Fuhrpark kann gesenkt werden. Durch die Verlagerung hin zu öffentlichen, nichtmotorisierten oder elektrischen Verkehrsmitteln sinken die THG-Emissionen aus dem Verkehrssektor. Daneben besteht eine Multiplikatorwirkung, da das Tun der öffentlichen Verwaltung im Blickpunkt des öffentlichen Interesses steht. Zudem können beispielsweise Jobtickets oder Jobräder durch die Bediensteten auch privat genutzt werden, so dass das Verkehrsverhalten der Bediensteten auch über den Berufsverkehr hinaus beeinflusst wird. Zur fachlichen Orientierung können die Empfehlungen der FGSV dienen [FGSV 2018].		
Zielgruppe (Akteure)	Behörden des Freistaats Thüringen und deren Bedienstete		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k.A.	t CO_{2äq}/a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■ ■ ■ ■ ■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungs­potenzials	Die spezifisch möglichen Einsparungen durch Mobilitätsmanagement wurden bereits 2010 im Rahmen des Projektes „effizient mobil“ nachgewiesen, dabei ergaben sich Einsparungen von 10 bis 20 % der THG-Emissionen im Berufs- und Dienstreiseverkehr [dena 2010]. Da		

	die Anzahl der Landesbediensteten nur einen kleinen Teil der Beschäftigten in Thüringen ausmacht, ist die Wirkung gemessen an allen Emissionen im Freistaat Thüringen nur als niedrig oder sehr niedrig einzuschätzen. Die Tendenz zu „niedrig“ statt „sehr niedrig“ ergibt sich aus den beschriebenen indirekten Wirkungen.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kosten- aufwandes	Da sich Mobilitätsmanagement auf nicht-investive Maßnahmen konzentriert, ist der Sachkostenaufwand sehr niedrig. Andererseits setzt Mobilitätsmanagement einen Organisationsaufwand voraus, der sich in Arbeitsstunden ausdrückt, die bezahlt werden müssen, entweder als Hauptbeschäftigung für eigens geschaffene Stellen (in großen Einheiten) oder als Nebentätigkeit bestimmter Personen, die dafür von anderen Aufgaben entlastet werden müssen, um die Rolle des Mobilitätsmanagers bzw. der Mobilitätsmanagerin im Betrieb wirkungsvoll übernehmen zu können. Der konkrete Arbeitsaufwand ist vorab nicht abschätzbar.					
Zielkonflikte	Da die Beschäftigten normalerweise vom Mobilitätsmanagement profitieren, gab es hier in der Regel wenige Zielkonflikte, abgesehen von Fällen, in denen bisher kostenloser Parkraum kostenpflichtig wurde oder in denen Parkraum für andere Zwecke umgewidmet wurde. Ein Zielkonflikt kann innerbetrieblich bei Personalknappheit auftreten, wenn die verantwortliche Person („Mobilitätsmanager“) nicht von anderen Aufgaben entlastet wird.					
Handlungsalternative	Innerhalb des Mobilitätsmanagements bestehen bereits etliche Handlungsalternativen, so dass für jeden Betriebsstandort die geeigneten Instrumente gefunden werden können.					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
4	V25		
Verkehr	Förderung des betrieblichen Mobilitätsmanagements für Unternehmen und Organisationen		
	Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Durch die Maßnahme V25 soll der Freistaat Thüringen das betriebliche Mobilitätsmanagement für Arbeitgeber aller Art fördern. Hierzu gehören in allen Betrieben Thüringens die Vermeidung von Fahrten durch Videokonferenzen oder mobiles Arbeiten, die Terminwahl in Abhängigkeit von ÖV-Fahrplänen, die Verkehrsmittelwahl mit Präferenz beim Umweltverbund, Jobtickets, Jobfahrräder, die Vermittlung von Fahrgemeinschaften, Parkraummanagement mit Begünstigung von Fahrgemeinschaften, eine Verkleinerung des Fahrzeugbestands durch Pooling und Taxifahrten, sowie innerhalb von Fahrzeugpools bevorzugte Nutzung sparsamer Elektrofahrzeuge, soweit verfügbar. Zur inhaltlichen Orientierung können darüber hinaus die Empfehlungen der FGSV dienen [FGSV 2018]. Die Maßnahmen wirken sich sowohl auf den Berufsverkehr der Beschäftigten aus, als auch auf betrieblich veranlasste Fahrten. Insgesamt kann damit der Pkw-Anteil im Modal Split im Berufsverkehr und im Dienstreiseverkehr gesenkt werden, der Besetzungsgrad vorhandener Pkw kann steigen und die Anzahl der dienstlich erforderlichen Pkw im Fuhrpark kann gesenkt werden. Durch die Verlagerung hin zu öffentlichen, nichtmotorisierten oder elektrischen Verkehrsmitteln sinken die THG-Emissionen aus dem Verkehrssektor. Zudem können beispielsweise Jobtickets oder Jobräder durch die Beschäftigten auch privat genutzt werden, so dass das Verkehrsverhalten der Beschäftigten auch über den Berufsverkehr hinaus beeinflusst wird. Bei der Formulierung des Förderprogramms ist zu beachten, dass dieses inhaltlich und von seiner Laufzeit her komplementär zu möglichen Bundesförderprogrammen (wie etwa „mobil gewinnt“ [BMDV 2024]) aufgebaut wird.		
Zielgruppe (Akteure)	Arbeitgeber aller Art, d. h. Unternehmen sowie anders organisierte Arbeitgeber (z. B. Verbände, gemeinnützige Organisationen), sowie deren Beschäftigte		
Wirkungsrichtung	■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k.A.	t CO _{2äq} /a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Die spezifisch möglichen Einsparungen durch Mobilitätsmanagement wurden bereits 2010 im Rahmen des Projektes „effizient mobil“ nachgewiesen, dabei ergaben sich Einsparungen		

	von 10 bis 20 % der THG-Emissionen im Berufs- und Dienstreiseverkehr [dena 2010]. Wie in Maßnahme V1 dargestellt, entfallen 16 % der täglichen Wege in Deutschland auf den Berufsverkehr [MiD 2017], von denen 66 % am Steuer von Pkw zurückgelegt werden [MiD 2008]. Dieser Pkw-Verkehr führt zu jährlichen Emissionen von 1,025 Mio. t CO ₂ aq. Wenn davon zwischen 10 und 20 % vermieden werden können, bedeutet dies eine hohe THG-Minderung (vgl. Maßnahme V1). Das Förderprogramm wird jedoch nicht von allen Unternehmen in Anspruch genommen werden, da der damit verbundene organisatorische Aufwand höher liegt als allein bei der Zulassung von mehr mobilem Arbeiten (Maßnahme V1). Es wird jedoch angenommen, dass die Zahl der Beschäftigten, die über Ihre Arbeitgeber vom Programm profitieren könnten, deutlich höher liegt als die Zahl der Landesbediensteten, daher wird die Minderungswirkung im Unterschied zu Maßnahme V24 als „mittel“ eingestuft.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■ ■ ■ ■ ■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kostenaufwandes	Da sich Mobilitätsmanagement auf nicht-investive Maßnahmen konzentriert, ist der Sachkostenaufwand sehr niedrig. Andererseits setzt Mobilitätsmanagement einen Organisationsaufwand voraus, der sich in Arbeitsstunden ausdrückt, die bezahlt werden müssen, entweder als Hauptbeschäftigung für eigens geschaffene Stellen (in großen Einheiten) oder als Nebentätigkeit bestimmter Personen, die dafür von anderen Aufgaben entlastet werden müssen, um die Rolle des Mobilitätsmanagers bzw. der Mobilitätsmanagerin im Betrieb wirkungsvoll übernehmen zu können. Die Verteilung der Kosten zwischen den Betrieben, die das Mobilitätsmanagement durchführen und dem Freistaat Thüringen hängt von der gewählten Förderquote des Programms ab.					
Zielkonflikte	Da die Beschäftigten in der Regel vom Mobilitätsmanagement profitieren, gab es hier in der Regel wenige Zielkonflikte, abgesehen von Fällen, in denen bisher kostenloser Parkraum kostenpflichtig wurde oder in denen Parkraum für andere Zwecke umgewidmet wurde. Ein Zielkonflikt kann innerbetrieblich bei Personalknappheit auftreten, wenn die verantwortliche Person („Mobilitätsmanager“) nicht von anderen Aufgaben entlastet wird.					
Handlungsalternative	Innerhalb des Mobilitätsmanagements bestehen bereits etliche Handlungsalternativen, so dass für jeden Betriebsstandort die geeigneten Instrumente gefunden werden können. Je nach aktueller Lage auf Bundesebene wäre es auch vorstellbar, stärker für die Nutzung bundesweiter Förderprogramme zu werben, allerdings sind diese bisher nur phasenweise über Förderaufrufe nutzbar [BMDV 2024].					

Sektor Landwirtschaft

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
5	L1		
Landwirtschaft	Reduktion tierhaltungsbedingter THG-Emissionen		
	Wirkungsbereich: <ul style="list-style-type: none">■ sektorenübergreifend■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: <ul style="list-style-type: none">■ Landesregierung■ Infrastrukturbetreiber■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	<p>Reduktion der tierhaltungsbedingten THG-Emissionen durch</p> <ul style="list-style-type: none">– Anpassung der Fütterung und damit Einfluss auf die tierische Verdauung (Stickstoffoptimierte Fütterung in der Rinder-, Schweine und Geflügelhaltung)– technische Maßnahmen im Stall– gasdichte Lagerung der anfallenden Wirtschaftsdünger und Gärreste– Beratung und Ausbildung <p>Die Reduktion der Emissionen aus der tierischen Verdauung soll durch Forschung und Entwicklungen zu Züchtungen vorangetrieben werden. Weitere Möglichkeiten ergeben sich darüber hinaus durch eine bedarfsgerechte (und stickstoffreduzierte) Fütterung nach Leistungsklassen sowie bei der Haltung und ganzheitlichen Tiergesundheit. Insbesondere bei den Haltungsformen besteht zwischen Emissionsminderung und Tierwohl ein Zielkonflikt, der (auf politischer Ebene) auszuhandeln ist.</p> <p>Technische Möglichkeiten zur Emissionsminderung umfassen u. a. die Abluftreinigung, Entmistungsverfahren und eine Harn/Kot-Trennung. Die positiven Effekte durch eine Abdeckung von Güllelagern sind weitgehend realisiert.</p> <p>Die Themen Reduktion von Methan- und Lachgasemissionen in der Tierhaltung sind verstärkt in der Ausbildung und bei der Beratung von Landwirtschaftsbetrieben anzubieten.</p>		
Zielgruppe (Akteure)	Landwirtschaftsbetriebe mit Viehhaltung und/oder Futtermittelanbau Futtermitteldienstleister in der Landwirtschaft		
Wirkungsrichtung	<ul style="list-style-type: none">■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung■ indirekte THG-Einsparung■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k. A.	t CO_{2äq}/a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	Reduktion der Emissionen aus der Verdauung und dem Wirtschaftsdüngermanagement		

Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kosten- aufwandes	<p>Kosten fallen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben zu Züchtungen an, die Höhe kann nicht beziffert werden.</p> <p>Bezüglich der Förderung einer bedarfsgerechten Fütterung ergeben sich Kosten sowohl für die Initiierung (Beratung und Information, ggf. Etablierung Förderrichtlinie landwirtschaftliche Beratungsleistungen) als auch für die Umsetzung. Für Tierhalter, die bewährte Praktiken zur bedarfsgerechten Fütterung umsetzen, können finanzielle Anreize in Form von Subventionen oder Steuervergünstigungen geschaffen werden. Für das Fütterungsmanagement gibt es EDV-Programme. Die Kosten variieren und können bspw. zur Berechnung und Optimierung von Futtermischungen 180 €/Lizenz betragen [ALB Bayern 2023].</p> <p>Die Umsetzung technischer Möglichkeiten und baulicher Maßnahmen (Abluftreinigung, Entmistungsverfahren, Harn/Kot-Trennung) verursacht Investitionskosten. Der Neubau eines Schweinestalls mit Unterflur-Schieberentmistung wird bspw. mit 700 € / Stallplatz veranschlagt.</p>					
	Zielkonflikte					
	Handlungsalternative					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor	Maßnahme		
5	L4		
Landwirtschaft	Senkung der Stickstoffüberschüsse und Verbesserung der Stickstoffeffizienz bei der Bodennutzung		
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch		Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)
	Stickstoff wird in der Landwirtschaft als Dünger eingesetzt und kann - soweit er nicht von den Nutzpflanzen aufgenommen wird - auf verschiedenen Wegen in die Umwelt gelangen. Damit verbunden sind klimarelevante Lachgas-Emissionen. Die Aufgabe liegt darin, möglichst effizient zu düngen und Stickstoffüberschüsse zu vermeiden. Dieses Ziel wird gleichermaßen auch für den Schutz des Grundwassers verfolgt.		
	Durch eine Anpassung der Zeitpunkte sowie eine zielgerichtete, standort- und pflanzenspezifische Düngemittelausbringung bei gleichzeitiger Gewährleistung einer ausgewogenen Pflanzenernährung können die Stickstoff-Überschüsse gesenkt und Emissionen sowie Nährstoffausträge vermieden werden. Hierbei sollen künftig auch anwendungserleichternde Verfahren im Zuge der Digitalisierung (digital farming) verstärkt zum Einsatz kommen. Dabei können durch die Verwendung elektrischer Komponente und der Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) Daten in der gesamten Produktionskette vom Feld bis zur Verarbeitung erfasst, verfügbar und analysierbar gemacht werden. Darüber hinaus tragen ackerbauliche Maßnahmen wie der Anbau mehrjähriger Leguminosen zu einer verbesserten Stickstoffverfügbarkeit bei. Über den direkten Emissionsreduktionseffekt hinaus können sich durch eine reduzierte Düngung Synergien mit Zielen der Biodiversität und des Gewässerschutzes ergeben.		
	Die Maßnahmenrelevanz ergibt sich aus der starken THG-Wirkung der Lachgas-Emissionen. Die Einsparung stickstoffhaltiger Düngemittel wirkt sich emissionsmindernd aus. Es reduzieren sich sowohl direkte Emissionen aus dem Düngereinsatz als auch indirekte Emissionen aus ausgetragenen Nährstoffen. Zudem werden weitere Emissionen in der Mineraldüngerproduktion (Vorkette) vermieden. Die THG-Minderung tritt so lange auf, wie der Einsatz der mineralischen Dünger reduziert bzw. vermieden wird.		
Zielgruppe (Akteure)	Landwirtschaftsbetriebe, Ausbringende Dienstleister in der Landwirtschaft, Beratende für Stoffstrombilanzierungen		
Wirkungsrichtung	■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung (Vermeidung von Energie und damit verbundener Emissionen bei der Herstellung mineralischer Düngemittel) ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau		
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k. A.	t CO _{2äq} /a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	

Herleitung des THG-Min- derungspotenzials	Reduktion der Emissionen aus der Ausbringung von Wirtschaftsdünger, Mineraldünger und Gärresten und Verringerung der Emissionen aus Auswaschung und Abfluss. Bei geringerer Anwendung reduziert sich auch der Bedarf und somit die Herstellung von Düngemitteln im Inland. Aus dem ermittelten Stickstoff-Überschuss und einem spezifischen Emissionsfaktor (kg CO _{2aq} / kg N) können die THG-Emissionen berechnet und einem Basisjahr gegenübergestellt werden.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kosten- aufwandes	<p>Kosten entstehen für Beratungsangebote/-förderung zur Stärkung der fachlichen Expertise. Den Rahmen dafür kann eine Förderrichtlinie für landwirtschaftliche Beratungsleistungen bilden.</p> <p>Darüber hinaus können Kosten für eine sachkundige Begleitung (Beratung, finanzielle Unterstützung) von Investitionsmaßnahmen anfallen. Bspw. ist der Einsatz von Präzisionslandwirtschaftstechnologien mit Kosten verbunden. Für den Landwirt können zudem ggf. zusätzliche Kosten durch die Verwendung stickstoffeffizienter Pflanzensorten entstehen. Auf der anderen Seite entfallen auch Anschaffungskosten durch die Reduzierung synthetischer Düngemittel.</p> <p>Darüber hinaus sollten finanzielle Mittel für das Monitoring zur Einhaltung von Vorschriften und zum Umsetzungsstand in den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieben eingeplant werden.</p>					
Zielkonflikte	Landwirtschaftsbetriebe müssen in entsprechende Ausbringungstechnik investieren; geringere Erträge					
Handlungsalternative	nicht bekannt					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045						
KSG-Sektor		Maßnahme				
5		L5				
Landwirtschaft		Humusschonende Bodenbewirtschaftung				
		Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch		Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)		
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit		<p>Regelmäßige Bodenbearbeitung lockert die Krume und führt durch erhöhte Mineralisierung zum Humusabbau. Neben der Freisetzung des Bodenkohlenstoffs als CO₂ entstehen Lachgasemissionen.</p> <p>Durch humusschonende Bodenbewirtschaftung (reduzierte Bodenbearbeitung, Direktsaatverfahren, Anbau von Zwischenfrüchten, Fruchtfolgegestaltung, Rückführung von Ernteresten) soll der Beitrag landwirtschaftlich genutzter Böden zum Ressourcenschutz (Bodenschutz, standortgerechter Humusgehalt, Vermeidung Stickstoffauswaschung, ökologische Funktionalität) erhalten und verbessert werden. Durch die Maßnahme soll Humus möglichst neu aufgebaut, zumindest jedoch dem Humusabbau entgegengewirkt werden.</p> <p>Eine direkte THG-Minderung ergibt sich aus dem verminderten Energiebedarf der reduzierten Bodenbearbeitung im Vergleich zu konventionellen Verfahren (Berücksichtigung im Verkehrssektor). Darüber hinaus wird eine Verringerung von Lachgasemissionen erzielt, die bei der Mineralisierung von organischem Material durch Bodenbearbeitung entstehen. Durch verbesserte Bodenfruchtbarkeit infolge der Erhöhung und Verlagerung des Humusgehalts bei mehrjährigen, humusfördernden Kulturen und angepassten Fruchtfolgen kann der Düngbedarf reduziert werden (indirekter Nutzen).</p>				
Zielgruppe (Akteure)		Landwirtschaftsbetriebe				
Wirkungsrichtung		■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau				
Zeitraum der Wirksamkeit		kurzfristig (bis zu 5 Jahre)		mittelfristig (5 bis 10 Jahre)		langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)		k. A.		t CO _{2äq} /a		
THG-Minderungswirkung (qualitativ)		■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch		
Herleitung des THG-Minderungspotenzials		Aufgrund der Komplexität der Einflussfaktoren (u.a. Bodenheterogenität, unterschiedliche Bewirtschaftungspraktiken, Wechselwirkungen mit anderen Treibhausgasen, regionale und klimatische Unterschiede) ist eine Quantifizierung des THG-Minderungspotenzials für ein gesamtes Bundesland nur mit großem Aufwand möglich.				
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)		jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A. Euro

Kostenaufwand (qualitativ)	■ ■ ■ ■ ■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
Herleitung des Kosten- aufwandes	<p>Kosten entstehen für Beratungsangebote zur Stärkung der fachlichen Expertise im nachgeordneten Bereich (im Sinne von Bereitstellung von fachlichen Grundlagen und zur fachlichen Unterstützung der Berater). Der Rahmen kann durch eine entsprechende Förderrichtlinie für landwirtschaftliche Beratungsleistungen vorgegeben werden.</p> <p>Bei der Umsetzung entstehen Investitionskosten für spezielle Pflanz- und Aussaatmaschinen und darüber hinaus Kosten für die Anpflanzung von Zwischenfrüchten. Auf der anderen Seite ergeben sich auch ökonomische Vorteile durch bspw. geringere Düngemittelkosten sowie Einsparung von Arbeitszeit und Kraftstoff aufgrund einer reduzierten Bodenbearbeitung.</p> <p>Finanzielle Mittel werden darüber hinaus für die Kontrolle des Vollzugs (Bundes-Bodenschutzgesetz) benötigt.</p>	
Zielkonflikte	Direktsaat ist nur in Kombination mit einem erhöhten Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln möglich, da die Bodenbearbeitung eine wichtige Maßnahme zur Unkrautbekämpfung ist.	
Handlungsalternative	nicht erkennbar	

Sektor LULUCF

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045			
KSG-Sektor		Maßnahme	
7		W3	
Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft		Schutz bestehender Waldflächen, Waldflächenmehrung	
		Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch	Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit		<p>Klimastabile, naturnahe Wälder und ihre nachhaltige Bewirtschaftung schützen das Klima. Ziel ist daher der Schutz bestehender Waldflächen vor Inanspruchnahme durch andere Nutzungen wie Siedlungs- und Infrastrukturentwicklungen. Um darüber hinaus eine deutliche Steigerung der Kohlenstoffspeicherung zu erreichen, ist es weiterhin erforderlich, bisher anders, vorwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen, wiederzubewalden.</p> <p>Die Waldflächenmehrung durch Aufforstung und durch natürliche Sukzession ist vor allem eine langfristig wirkungsvolle Klimaschutzmaßnahme. Aufgrund der anfänglich geringen Zuwachseleistungen kann die zusätzliche Kohlenstofffestlegung bis zum Jahr 2040 nur zu einem geringen Teil ausgeschöpft werden.</p> <p>Für die Neuwaldbildung kommen vor allem ertragsschwache, grundwasserferne mineralische Ackerstandorte infrage. Es wird erwartet, dass bei den marginalen Ackerstandorten eine wirtschaftlich sinnvolle Nutzung infolge der Klimawandelfolgen zukünftig deutlich schwieriger wird.</p>	
Zielgruppe (Akteure)		Land- und forstwirtschaftliche Betriebe, Forstbetriebsgemeinschaften, Privatpersonen, Grundeigentümer	
Wirkungsrichtung		■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau	
Zeitraum der Wirksamkeit		kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre) langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)		k. A.	t CO _{2äq} /a
THG-Minderungswirkung (qualitativ)		■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
Herleitung des THG-Minderungspotenzials		Stichprobenartige Erhebung nach den Methoden der Bundeswaldinventur. Die Menge an CO ₂ , die ein Hektar Wald pro Jahr bindet, variiert je nach Baumarten, Alter, Klima und Bodenbedingungen. Ein Hektar Mischwald bindet jährlich etwa 10 bis 12 Tonnen	

	CO ₂ oberirdisch und in den Wurzeln. In alten Wäldern wird das Wachstum langsamer und die Einbindung ist niedriger.					
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A.	Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des Kosten- aufwandes	Bei der Sukzession beträgt der Finanzbedarf Null Euro. Für die Erstaufforstung werden Investitionskosten von durchschnittlich ca. 5.500 Euro je ha für Nadelholz und 9.300 Euro je ha für Laubholz angegeben [WBAE & WBW 2016]. Hinzu kommen Kosten für Personalaufwand und ggf. für Pacht und Flächenerwerb.					
Zielkonflikte	Flächenkonkurrenz zu anderen Nutzungsarten (Landwirtschaft, Siedlung, Infrastruktur)					
Handlungsalternative	nicht erkennbar					

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045						
KSG-Sektor		Maßnahme				
7		W4				
Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft		Sicherung einer nachhaltigen Holznutzung				
		Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch		Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)		
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit		<p>Durch eine nachhaltige Holznutzung nach den Prinzipien der ordnungsgemäßen Forstwirtschaft können zusätzliche Klimaschutzpotenziale im Holzproduktespeicher gesichert beziehungsweise erhöht werden.</p> <p>Der Holzproduktespeicher ist ein integrativer Bestandteil des Kohlenstoffkreislaufs. Zu bevorzugen sind Holzverwertungen zu Produkten mit langer Lebensdauer (z. B. Bauholz, Massivmöbel). Durch die nachhaltige klimafreundliche Nutzung der Wälder und der Weiterverarbeitung des Holzes zu Bau- und Dämmstoffen kann eine zusätzliche Kohlenstoffsенke im Holzproduktespeicher aufgebaut werden. Die Nachfragepotenziale nach fossilsfreien Dämm- und Baustoffen beim Neubau und der Sanierung von Gebäuden werden in den nächsten Jahren deutlich zunehmen.</p> <p>An Ende der Nutzung können Holzprodukte der thermischen Verwertung zugeführt werden („Kaskadennutzung“). Diese wird dem Sektor Energiewirtschaft zugerechnet.</p> <p>Damit ist der Rohstoff Holz für Thüringen ein wichtiger Bestandteil der Bioökonomie.</p>				
Zielgruppe (Akteure)		Forstwirtschaftliche und weiterverarbeitende Betriebe der Holzwirtschaft, Privatpersonen				
Wirkungsrichtung		■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau				
Zeitraum der Wirksamkeit		kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)		langfristig (ab 10 Jahre)	
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)		k. A.	t CO _{2äq} /a			
THG-Minderungswirkung (qualitativ)		■■■■■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch			
Herleitung des THG-Minderungs­potenzials		Im nationalen Treibhausgasinventar wird der Beitrag von Holzprodukten in Deutschland zu den Kohlenstoffflüssen mit dem WoodCarbonMonitor abgeschätzt [Rüter 2017]. Eine landesbezogene Abschätzung ist nur näherungsweise möglich, anhand des Anteils der Bruttowertschöpfung der Forst- und Holzwirtschaft und der Holzverarbeitenden Industrie in den Bundesländern. Die Bruttowertschöpfung steht allerdings nicht zur Verfügung und kann nur über eine Sonderauswertung des statistischen Landesamtes ermittelt werden.				
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)		jährlich:	k. A.	Euro/a	kumuliert insgesamt:	k. A. Euro

Kostenaufwand (qualitativ)	■ ■ ■ ■ ■	nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch
Herleitung des Kosten- aufwandes	Für die Maßnahme wird nicht mit einem zusätzlich nennenswerten Finanzbedarf gerechnet.	
Zielkonflikte	Nutzungskonkurrenz zu Energieholz	
Handlungsalternative	nicht erkennbar	

Übergreifende Maßnahmen

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045				
KSG-Sektor	Maßnahme			
(mehrere/alle)	Ü3			
(mehrere/alle)	Fachkräftemangel aktiv mindern und langfristig vorbeugen			
	Wirkungsbereich: ■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch		Adressatenebene: ■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit	Der Maßnahmenvorschlag „Fachkräftemangel aktiv mindern und langfristig vorbeugen“ zielt auf eine Fortführung und Weiterentwicklung von Qualifizierungsprogrammen in den Themenfeldern Nachhaltigkeit, Klimaschutz, Dekarbonisierung, Erneuerbare Energie und Energieeffizienz. Zukünftig wird sich der Mangel an Arbeitskräften, insb. Fachkräften, voraussichtlich verschärfen, was Implikationen hat für den notwendigen Umbau des Energiesystems auf dem Weg zur Klimaneutralität. Konkrete Ansätze zur Weiterentwicklung bestehender Qualifizierungs- und Weiterbildungsstrukturen sind z. B. <ul style="list-style-type: none">• die Weiterentwicklung praxisnaher Angebote an Ausbildungsstätten,• die Entwicklung modularer und digitaler Lernangebote sowie• die fortlaufende Qualifizierung des Ausbildungspersonals. [Prognos 2023]			
Zielgruppe (Akteure)	Ausbildungsstätten (Berufsschulen, Fachhochschulen, Universitäten, ausbildende Unternehmen), Industrie- und Handelskammern			
Wirkungsrichtung	■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau			
Zeitraum der Wirksamkeit	kurzfristig (bis zu 5 Jahre)	mittelfristig (5 bis 10 Jahre)		langfristig (ab 10 Jahre)
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)	k.A.		t CO _{2äq} /a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials	flankierende Maßnahme			
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)	jährlich:	-	Euro/a	kumuliert insgesamt: - Euro
Kostenaufwand (qualitativ)	■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des Kostenaufwandes	je nach Intensität der Fort- und Weiterbildungen			

Zielkonflikte	Ein offensichtlicher Zielkonflikt ist der, dass der Pool der Arbeitskräfte aufgrund des demographischen Wandels geringer wird und auch andere Tätigkeitsfelder (Erziehung, Bildung, Gesundheitswesen u. a.) die Arbeitskräfte erhalten und/oder weiterbilden müssen.
Handlungsalternative	-

Thüringen – Maßnahmen zur Erreichung der Netto-THG-Neutralität 2045					
KSG-Sektor		Maßnahme			
(mehrere/alle)		Ü5			
(mehrere/alle)		Verbesserte Finanzierungsmöglichkeiten von der Energiewende zuträglichen Projekten			
		Wirkungsbereich:		Adressatenebene:	
		■ sektorenübergreifend ■ sektorenspezifisch		■ Landesregierung ■ Infrastrukturbetreiber ■ Sonstige (bspw. Bürger, sonst. Unternehmen)	
Beschreibung der Maßnahme und ihrer Wirksamkeit		Der Maßnahmenvorschlag soll die Finanzierungsmöglichkeiten von Projekten im Zusammenhang mit Erneuerbaren Energien, Energieeffizienz, Kraft-Wärme-Kopplung, Abwärmernutzung u. a. verbessern. Diese Projekte stärken die Energiewende und sind somit bevorzugt zu finanzieren. Der Steuerungsmechanismus dafür muss bei den Landesbanken etabliert werden. Diese sog. „Green Finance“ umfasst unter anderen Förderinstrumente wie Zinsvergünstigungen, Zuschüsse und Haftungsfreistellungen zur Abmilderung von Investitionshemmnissen, aber auch die gezielte Förderung von grünen Finanzprodukten (Bonds, Fonds). Der Steuerungsmechanismus dafür muss auf Ebene der Bundesländer bei den Landesbanken etabliert werden. Eine ausführliche Übersicht zum Thema findet sich z. B. in [Prognos et. al 2021b].			
Zielgruppe (Akteure)		Landesbank (Helaba)			
Wirkungsrichtung		■ direkte (berechenbare) THG-Einsparung ■ indirekte THG-Einsparung ■ flankierende Maßnahme oder Voraussetzung für direkt wirksame Maßnahmen ■ Senkenerhalt und -aufbau			
Zeitraum der Wirksamkeit		kurzfristig (bis zu 5 Jahre)		mittelfristig (5 bis 10 Jahre)	
THG-Minderungspotenzial (Schätzung falls möglich)		k.A.		t CO _{2äq} /a	
THG-Minderungswirkung (qualitativ)		■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des THG-Minderungspotenzials		- (flankierende Maßnahme)			
Kostenaufwand (Schätzung falls möglich)		jährlich:	-	Euro/a	kumuliert insgesamt:
Kostenaufwand (qualitativ)		■■■■■		nicht abschätzbar kein sehr niedrig niedrig mittel hoch sehr hoch	
Herleitung des Kostenaufwandes		schwierig; Differenz der Renditeerwartungen zwischen grüner und sonstiger Finanzierung, muss nicht zwingend negativ sein)			
Zielkonflikte		Eine verstärkte Finanzierung von Projekten der Energiewende senkt die Finanzierung von Projekten in allen anderen Bereichen (aufgrund von Vorgaben zur Eigenkapitalquote).			
Handlungsalternative		Keine. Private Banken könnten diese Rolle ebenso übernehmen, sind jedoch vom Land nicht dazu zu verpflichten. Eine indirekte Finanzierung über die Landesbank hat hier bereits Einfluss.			



ANHANG: VORRANGIGE MAßNAHMEN
