



Leipziger Institut  
für Energie

ENDBERICHT – KURZFASSUNG

---

# Gutachten zur Vorbereitung einer Energie- und Klimaschutzstrategie für Thüringen

---

Auftraggeber:

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie  
und Naturschutz

Leipzig, 03.11.2016

---

---

# Impressum

---

## Auftraggeber

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



## Auftragnehmer

Leipziger Institut für Energie GmbH  
Lessingstraße 2  
04109 Leipzig

Ein Unternehmen der    
Technischen Universität Hamburg-Harburg  
und der    
TuTech Innovation GmbH

## Bearbeitung

[Marcel Ebert](#)

Telefon 03 41 / 22 47 62 22

E-Mail [Marcel.Ebert@ie-leipzig.com](mailto:Marcel.Ebert@ie-leipzig.com)

[Ilka Erfurt](#)

[Johannes Gansler](#)

[Christian Lorenz](#)

[Matthias Reichmuth](#)

[Anne Scheuermann](#)

## Laufzeit

März 2016 bis September 2016

## Datum

Leipzig, 03.11.2016

---

# Inhaltsverzeichnis

---

Überblick	1
1 Einleitung	5
2 Rahmenbedingungen	7
2.1 Energie- und klimapolitischen Ziele	7
2.2 Sozioökonomische Rahmenbedingungen	8
2.3 Potenziale erneuerbarer Energien	10
3 Szenarien	13
4 Gesamtwirtschaftliche Effekte	19
5 Wichtige Handlungsfelder	21

## Überblick

Als eine Grundlage für das Thüringer Klimagesetz und die Energie- und Klimaschutzstrategie des Landes wird die historische Treibhausgasbilanz für die Jahre 1990 bis 2014 dokumentiert und werden darauf aufbauend drei Treibhausgas-Szenarien (ein Referenz- und zwei Zielszenarien) bis 2050 entwickelt. Ein aktives Zielszenario (Erfüllung der energiepolitischen Ziele im Sinne des Koalitionsvertrages) sowie ein proaktives Zielszenario (vollständige Dekarbonisierung des Energiesystems Thüringen) werden unterschieden. Die Bilanzierung erfolgt nach dem Quellprinzip (alle Quellen in Thüringen werden berücksichtigt).

### Historie

Ohne die Anrechnung der Senken und des Stromimportes verringerten sich die CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen der direkten Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFKW, FKW und SF<sub>6</sub>) von 33,8 Mio. t CO<sub>2äq</sub>/a im Jahr 1990 (12,9 t CO<sub>2äq</sub> je Einwohner) auf 14,7 Mio. t CO<sub>2äq</sub>/a im Jahr 2014 (**6,8 t CO<sub>2äq</sub>** je Einwohner). Dies entspricht einer Reduktion um ca. 19,1 Mio. t CO<sub>2äq</sub> (- 56 %) gegenüber dem Kyoto-Basisjahr 1990 bzw. ca. 3,6 Mio. t CO<sub>2äq</sub> (-19 %) gegenüber 1995.

Ursächlich für die Reduktion der THG-Emissionen der energiebedingten Sektoren war der grundlegende Wandel in der Energiewirtschaft. Das gilt sowohl für die Bereiche der Energieträgerbereitstellung als auch für die der Energieanwendung. Die nicht energiebedingten Emissionen reduzierten sich maßgeblich durch die Verringerung des Tierbestands, den geringeren Einsatz von Stickstoff-Mineraldünger sowie das Verbot der Deponierung unbehandelter organischer Abfälle bei gleichzeitig steigender Deponiegasnutzung.

### Referenzszenario

Im Referenzszenario wird davon ausgegangen, dass bisherige Entwicklungen sich weitgehend fortsetzen, während aktuelle Hemmnisse für einen zielorientierten Klimaschutz in diesem Szenario bestehen bleiben. Die THG-Emissionen im Referenzszenario werden bis 2040 um 43 % im Vergleich zu 1995 (- 7,9 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) sinken. Je Einwohner reduzieren sich die THG-Emissionen somit auf **5,9 t CO<sub>2äq</sub>** im Jahr 2040. Im Wesentlichen ist dies auf die zukünftig weiterhin fortschreitende Verringerung des Energieeinsatzes sowie die Substitution der Energieträger durch erneuerbare Energien zurückzuführen.

### Aktives Zielszenario

Im aktiven Zielszenario wird ein möglicher Pfad aufgezeigt, der zum Erreichen der vordefinierten energiepolitischen Ziele Thüringens sowie der im Koalitionsvertrag avisierten Maßnahmen gänzlich beiträgt. Zur Erreichung der im Koalitionsvertrag festgelegten Ziele – u.a. die bilanzielle Deckung des Energiebedarfs (Strom, Wärme/Kälte und Kraftstoffe) durch einen Mix aus 100 % erneuerbaren Energien bis 2040 – müssen die **Anstrengungen in allen Bereichen stark intensiviert werden**.

Die Umsetzung des aktiven Zielszenarios ermöglicht es, die THG-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 83 % (- 28,0 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) beziehungsweise zu 1995 um 69 % (- 12,5 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) bis zum Jahr 2040 zu reduzieren. Die THG-Emissionen je Einwohner sinken im aktiven Zielszenario auf **3,3 t CO<sub>2äq</sub>**.

Primär wird die Reduktion der energiebedingten THG-Emissionen durch die deutliche, über die Trendentwicklung hinausgehende, Steigerung der Energieproduktivität sowie der Ausschöpfung der erneuerbaren Strom-, Wärme- bzw. Brennstoffpotenziale Thüringens (Energieträgersubstitution) in den Sektoren erreicht. Trotz der deutlichen Steigerung der Energieproduktivität bzw. Energieeffizienz und Ausschöpfung der erneuerbaren Wärme- bzw. Brennstoffpotenziale verbleibt im aktiven Zielszenario im Jahr 2040 noch ein fossiler Brenn- bzw. Kraftstoffbedarf in Höhe von etwa 45 PJ bzw. 12,5 TWh. Dieser wird durch eine zusätzliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien kompensiert.

---

### Proaktives Zielszenario

Für das proaktive Szenario wird ein Pfad aufgezeigt, wie eine vollständige Substitution der fossilen Energieträger bis 2040 ermöglicht wird. Dazu müssen wie im aktiven Szenario **die Anstrengungen in allen Bereichen stark intensiviert werden**. Ab 2025 kommen zusätzlich innovative Technologien zu einer breiten Anwendung, die zwar heute schon bekannt sind, aber eher wenig eingesetzt werden.

Durch das proaktive Zielszenario können die THG-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 90 % (- 30,5 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) und gegenüber dem Jahr 1995 um 82 % (-15,0 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) reduziert werden (siehe Abbildung 1). Das entspricht **1,9 t CO<sub>2äq</sub>** pro Einwohner in 2040.

Die über das aktive Zielszenario hinausgehende Reduktion der THG-Emissionen im proaktiven Zielszenario wird einzig durch die vollständige Substitution der fossilen Energieträger Erdgas und Mineralöle durch PtX-Energieträger erreicht.

Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) wird innerhalb des proaktiven Zielszenarios nur noch durch nicht-energiebedingte Prozesse der Landwirtschaft sowie der Industrie (prozessbedingte Emissionen aus der Zement-, Kalk-, Glas-, Ziegel- und Elektrostahlproduktion) verursacht.

---

### Senken

Durch Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft können entweder zusätzliche Emissionen freigesetzt werden, oder sie werden gebunden. Derzeit werden etwa 2,2 Mio. t CO<sub>2äq</sub> im Jahr in Thüringen gebunden. Dieser Wert verringert sich im Referenzszenario und in den Zielszenarien leicht auf 2,1 Mio. t CO<sub>2äq</sub> im Jahr 2040. Unter Berücksichtigung dieses Effekts reduzieren sich die spezifischen Emissionen pro Einwohner auf **2,1 t CO<sub>2äq</sub>** im aktiven und **0,7 t CO<sub>2äq</sub>** im proaktiven Szenario.

---

### Stromimport und Ausbau erneuerbarer Energien

Thüringen importiert noch einen wesentlichen Teil seines Strombedarfs. In der Bilanzierung nach dem Quellenprinzip fallen die bei der Stromerzeugung anfallenden Mengen der Treibhausgase nicht in Thüringen an, sondern werden in den Erzeugerländern verbucht. Mit **dem Ausbau erneuerbarer Energien in Thüringen** und bundesweit nivelliert sich dieser Effekt.

---

### Fazit

Für die Realisierung des Zielszenarios nimmt neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung die deutliche Steigerung der Ressourceneffizienz (Energieeffizienz, Materialeffizienz) eine zentrale Rolle ein. Zugleich ist eine Veränderung

der Konsummuster (Suffizienz) für die Realisierung unentbehrlich.

Sofern die Umsetzung der angenommenen Maßnahmen sowie die deutliche Intensivierung der Aktivitäten in Thüringen stattfinden, ist sowohl das aktive als auch das proaktive Zielszenario eine realistische Option.

Eine Realisierung des proaktiven Zielszenarios würde aus heutiger Sicht die Chance bieten, den Zielpfad einer langfristig angestrebten Treibhausgas-Neutralität bzw. vollständigen Dekarbonisierung des Energiesystems Thüringen einzuschlagen. Angesichts der Ergebnisse des Pariser Klima-Abkommen wird eine Orientierung am proaktiven Szenario empfohlen.

	Einheit	Historie			Referenz 2040	Aktiv <sup>1</sup> 2040	Proaktiv <sup>2</sup> 2040
		1990	1995	2014			
<b>Verbrauch und Erzeugung</b>							
Primärenergieverbrauch	PJ	354,5	226,0	240,7	199,0	158,8	218,8
<i>EE-Anteil am Primärenergieverbrauch</i>	%	0,6	1,1	24,4	40,9	100,0	100,0
Endenergieverbrauch	PJ	307,9	202,9	206,3	165,1	120,2	120,2
<i>EE-Anteil am Endenergieverbrauch</i>	%	0,3	1,0	20,6	49,1	70,0	100,0
Bruttostromerzeugung	TWh	2,2	2,0	8,4	11,2	28,3	32,4
<i>EE-Anteil an der Bruttostromerzeugung</i>	%	4,3	14,1	54,9	72,6	96,5	100,0
Bruttostromverbrauch	TWh	15,3	10,3	15,0	16,0	15,8	32,4
<i>EE-Anteil am Bruttostromverbrauch</i>	%	0,6	2,8	30,9	50,7	172,8	100,0
Nettostromverbrauch	TWh	11,7	8,8	12,4	13,3	12,6	12,6
<i>EE-Anteil am Nettostromverbrauch</i>	%	0,8	3,2	36,5	59,6	211,3	251,3
<b>Effizienzindikatoren</b>							
INDEX Primärenergieproduktivität	2010 = 100	45	89	111	154	193	140
<i>Primärenergieverbrauch je Einwohner</i>	<i>in GJ/Ew</i>	136	90	112	114	91	125
INDEX Endenergieproduktivität	2010 = 100	47	87	114	163	224	224
<i>Endenergieverbrauch je Einwohner</i>	<i>in GJ/Ew</i>	118	81	96	94	69	69
INDEX Stromproduktivität	2010 = 100	71	114	107	115	121	121
<i>Stromverbrauch je Einwohner</i>	<i>in MWh/Ew</i>	5,8	4,1	7,0	9,1	9,0	18,5
<b>THG-Emissionen (ohne Senken)</b>							
THG-Emissionen	in Mio. t CO <sub>2äq</sub>	33,8	18,3	14,7	10,4	5,8	3,3
Prozentuale Minderung ggü. 1990	%		-46	-56	-69	-83	-90
Prozentuale Minderung ggü. 1995	%			-20	-43	-69	-82
<i>THG-Emissionen je Einwohner</i>	<i>in t CO<sub>2äq</sub>/Ew</i>	12,9	7,3	6,8	5,9	3,3	1,9
<b>THG-Emissionen (mit Senken)</b>							
THG-Emissionen	in Mio. t CO <sub>2äq</sub>	30,9	15,4	12,5	8,3	3,7	1,2
Prozentuale Minderung ggü. 1990	%		-50	-60	-73	-88	-96
Prozentuale Minderung ggü. 1995	%			-19	-46	-76	-92
<i>THG-Emissionen je Einwohner</i>	<i>in t CO<sub>2äq</sub>/Ew</i>	11,8	6,1	5,8	4,8	2,1	0,7

Tabelle 1 Übersicht zu den wesentlichen Parametern und Ergebnissen der THG-Szenarien

Quelle: siehe Angaben zu den jeweiligen Sektoren, Berechnung und Darstellung IE Leipzig, Normierung der Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, F-Gase) in CO<sub>2äq</sub>-Emissionen mittels GWP<sub>AR4</sub>-Werte, <sup>1</sup>bilanzielle Kompensation, <sup>2</sup>Substitution, Bearbeitungsstand September 2016



Abbildung 1 Zielszenario PROAKTIV: Treibhausgasemissionen und Treibhausgasminderung nach Sektoren

Quelle: siehe Angaben zu den jeweiligen Sektoren, Berechnung und Darstellung IE Leipzig, Normierung der Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, F-Gase) in CO<sub>2äq</sub>-Emissionen mittels GWP<sub>AR4</sub>-Werte, Bearbeitungsstand September 2016

# 1 Einleitung

Der Klimaschutz und die Energiewende sind ein Leitprojekt der Regierung im Freistaat Thüringen. Hierzu gehören als Vorhaben die Verabschiedung eines Klimagesetzes sowie zu dessen Umsetzung eine integrierte Energie- und Klimaschutzstrategie (IEKS).

Zur Vorbereitung dieser beiden Vorhaben wird mit dem vorliegenden Gutachten eine wissenschaftlich fundierte Grundlage zur Verfügung gestellt, die es der Landesregierung ermöglicht, landespolitische Klimaschutzziele festzulegen.

Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens werden Grundlagen zur Erstellung der Integrierten Energie- und Klimaschutzstrategie (IEKS) geschaffen. Dies beinhaltet die Erstellung einer Treibhausgasbilanz sowie die Ableitung von Handlungsempfehlungen auf Basis einer Szenarienbetrachtung.

## Treibhausgase

Treibhausgase werden in direkte Treibhausgase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , HFKW, FKW,  $\text{SF}_6$  und  $\text{NF}_3$ ) und indirekte Treibhausgase ( $\text{C}_m\text{H}_n$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ) unterschieden. Zur Beschreibung der Klimawirksamkeit wird das Global Warming Potential (GWP) verwendet. Die Emissionen der Treibhausgase werden in  $\text{CO}_2$ -Äquivalenten ausgedrückt.

**Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ )** 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  $\text{CO}_2$ -neutral angesehen, da der Kohlenstoff zuvor von Pflanzen aus der Atmosphäre aufgenommen wurde (Kreislauf).

**Methan ( $\text{CH}_4$ )** entsteht im Wesentlichen bei der Verdauung von Wiederkäuern, bei der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdünger (Gülle) sowie bei Abbauprozessen in Deponien. Es ist 25mal so treibhauswirksam wie Kohlenstoffdioxid.

**Distickstoffmonoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ )**, auch als Lachgas bekannt, wird beim Abbau von stickstoffhaltigem Dünger, bei der Güllelagerung sowie bei verschiedenen Produktanwendungen frei. Lachgas ist 298mal treibhauswirksamer im Vergleich zu 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 FKWs keine Wasserstoff-Atome, nennt man diese auch perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe. Fluorkohlenwasserstoffe werden als Treibgas sowie als Kälte- oder Feuerlöschmittel eingesetzt. Entweichen FKWs, tragen diese, aufgrund ihres hohen GWP-Wertes, erheblich zum Treibhauseffekt bei. Fluorkohlenwasserstoffe sind bis zu 14.800mal so treibhauswirksam wie Kohlenstoffdioxid.

**Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ )** 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 (22.800mal so treibhauswirksam wie Kohlenstoffdioxid).

**Stickstofftrifluorid (NF<sub>3</sub>)** ist ein farbloses und brandförderndes Gas mit einem charakteristischen Geruch. Es wird in sehr großer Menge bei der Produktion von Flüssigkristallbildschirmen, Si-Dünnschichtzellen sowie in der Halbleiterindustrie verwendet. Stickstofftrifluorid ist eines der stärksten bekannten Treibhausgase (12.200mal so treibhauswirksam wie Kohlenstoffdioxid)). Aufgrund des Konzentrationsanstiegs in der Atmosphäre ist es seit 2013 zu erfassen. Aufgrund der geringen Bedeutung (Einzelfälle) in Thüringen wird NF<sub>3</sub> im Rahmen des vorliegenden Gutachtens jedoch nicht bilanziert.

Neben den direkten Treibhausgasen existieren mit den flüchtigen organischen Verbindungen ohne Methan (NMVOC), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) 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 somit auch in diesem Gutachten nicht berücksichtigt.

---

### Bilanzierungsprinzipien

---

Damit eine gute nationale und internationale Vergleichbarkeit gegeben ist sowie die Bilanzierungsmethoden im Einklang mit dem IPCC stehen wird in diesem Gutachten das Quellenprinzip zur Darstellung der Entwicklung der THG-Emissionen sowie zur Ableitung von THG-Minderungszielen in diesem Gutachten angewendet. Zudem wird der zu erwartende Rückgang

der Stromimporte in Thüringen und die deutschlandweite Zunahme der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zukünftig dazu führen, dass sich THG-Emissionen nach dem Quellen- und Verursacherprinzip immer weiter angleichen.

## 2 Rahmenbedingungen

### 2.1 Energie- und klimapolitischen Ziele

Als Grundlage für die Energie- und Klimaschutzstrategie 2040 werden in diesem Gutachten drei Szenarien für Thüringen erstellt. Zentraler Rahmen für die Analysen bilden die Verpflichtungen im Rahmen des Kyoto-Protokolls sowie die energie- und klimapolitischen Zielvorgaben für Deutschland, die mit dem Energiekonzept der Bundesregierung vom 28. September 2010 sowie mit der Erweiterung um den beschleunigten

Ausstieg aus der Kernenergie im Jahr 2011 beschlossen wurden. In Deutschland sollen vor allem durch die Erhöhung der Energieeffizienz bzw. Energieproduktivität (2,1 % je Jahr) sowie der Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien auf 80 % am Bruttostromverbrauch die Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 % bis zum Jahr 2050 gegenüber dem Jahr 1990 sinken (siehe Abbildung 2).

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2050
<b>Treibhausgasemissionen</b>							
Treibhausgasemissionen (ggü. 1990)	-27 %	-40 % <sup>1</sup>	o. Z.	-55 % <sup>1</sup>	o. Z.	-70 % <sup>1</sup>	-80 bis -95 %
<b>Erneuerbare Energien</b>							
Anteil am Bruttoendenergieverbrauch	13,5 %	18 %	o. Z.	30 %	o. Z.	45 %	60 %
Anteil am Bruttostromverbrauch	27,4 %	35 % <sup>1</sup>	-40 bis -45 % <sup>2</sup>	50 % <sup>1</sup>	-55 bis -60 % <sup>2</sup>	65 % <sup>1</sup>	80 % <sup>1</sup>
Anteil am Wärmeverbrauch	12,0 %	14 %	o. Z.				
Anteil im Verkehrsbereich	5,6 %	o. Z.					
<b>Effizienz und Verbrauch</b>							
Primärenergieverbrauch (ggü. 2008)	-8,7 %	-20 %	→ -50 %				
Endenergieproduktivität (2008-2050)	1,6 %/a <sup>3</sup>	2,1 %/a <sup>4</sup>					
Bruttostromverbrauch (ggü. 2008)	-4,6 %	-10 %	→ -25 %				
Primärenergiebedarf Gebäude (ggü. 2008)	-14,8 %	→ -80 %					
Wärmebedarf Gebäude (ggü. 2008)	-12,4 %	-20 %	o. Z.				
Endenergieverbrauch Verkehr (ggü. 2005)	1,7 %	-10 %	→ -40 %				

<sup>1)</sup> mindestens | <sup>2)</sup> §1 EEG 2014 | <sup>3)</sup> pro Jahr (2008-2014) | <sup>4)</sup> 2008 bis 2050 | o.Z.: ohne Zieldefinition

Abbildung 2 Energie- und klimapolitische Ziele für Deutschland  
Quelle: [BMWi 2015], Darstellung IE Leipzig

Auf europäischer Ebene reichen derzeit die energie- und klimapolitischen Ziele, die im Wesentlichen auf den für das Jahr 2020 geltenden Zielen aufsetzen, nur bis zum Jahr 2030. Mit dem Pariser Klimaschutzabkommen hat sich die EU dazu bekannt, ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 40 % gegenüber 1990 zu senken. Im Wesentlichen soll dies durch die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Energieverbrauch auf 27 % und durch die Erhöhung der Energieeffizienz (Energieeinsparung von 27 %) erreicht werden.

Ein zentrales Instrument der europäischen Klimaschutzpolitik ist die Umsetzung der Richtlinien zur Reduzierung von Treibhausgasen durch den Handel mit Emissionszertifikaten am 1. Januar 2005. Infolge der hohen Ausstattung mit Emissionszertifikaten und der stagnierenden europäischen Wirtschaft sind derzeit die am Markt verfügbaren Volumina hoch und gleichzeitig

die Zertifikatspreise auf einem niedrigen Niveau (Juli 2016: Ø ca. 4,7 Euro/ t EUA). Angesichts der in der Regel höheren Grenzvermeidungskosten in den Unternehmen im Vergleich zum Marktpreis existieren derzeit kaum Anreize für Investitionen bzw. Maßnahmen zur Emissionsreduktion.

In Thüringen sind 55 Anlagen in das europäische Emissionshandelssystem eingebunden. Im Jahr 2014 wurde von diesen Anlagen insgesamt ca. 2,8 Mio. t CO<sub>2äq</sub> emittiert; etwa 40 % von Anlagen der Energiewirtschaft und 60 % von Anlagen aus der Industrie. Somit werden derzeit etwa die Hälfte der THG-Emissionen der Sektoren Industrie und Energieumwandlung in Thüringen durch das europäische Emissionshandelssystem erfasst.

## 2.2 Sozioökonomische Rahmenbedingungen

Als Basis für die zukünftige Entwicklung werden jene sozioökonomischen Rahmenbedingungen definiert, die vor allem einen relevanten Einfluss auf den künftigen Energieverbrauch haben bzw. die Entwicklung der THG-Emissionen wesentlich beeinflussen.

Mit der Projektion der zukünftigen Entwicklung von

- Bevölkerung (01),
- Bruttoinlandsprodukt (02),

- Erwerbstätigen (03),
- Wohnflächen (04),
- Wohnungseinheiten (05),

sind die wesentlichen sozioökonomischen Rahmenbedingungen Thüringens definiert, die einen relevanten Einfluss auf den künftigen Energieverbrauch bzw. die THG-Emissionen haben (siehe Abbildung 3).

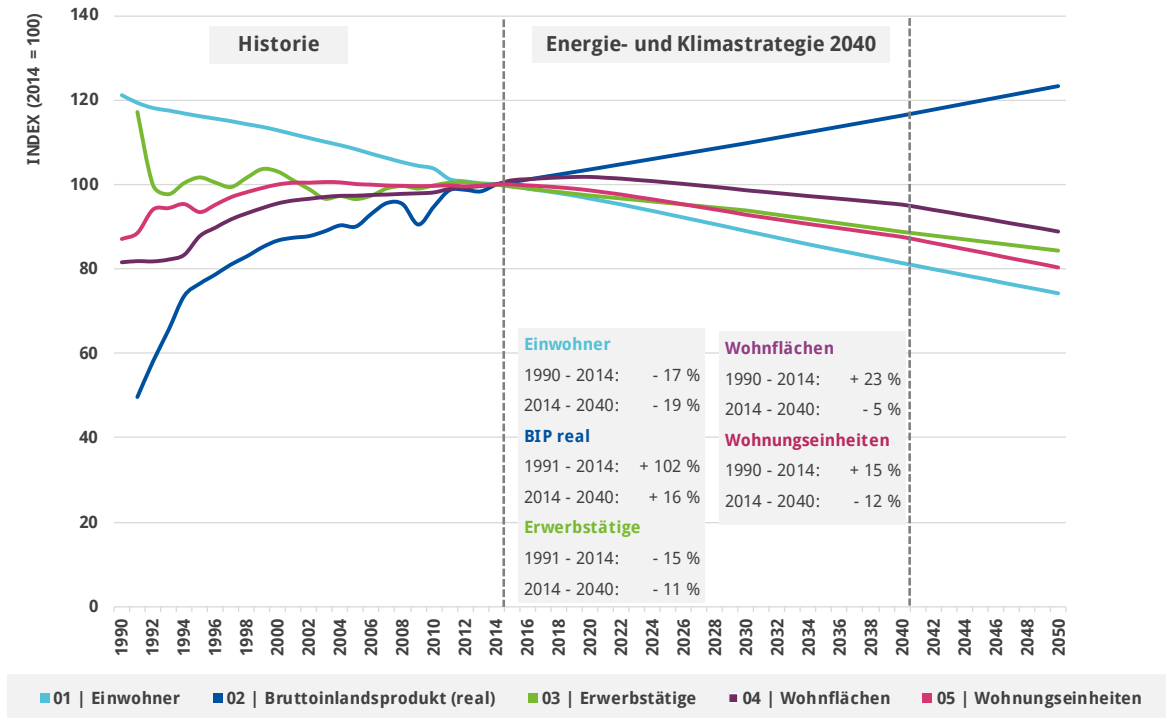


Abbildung 3 Index zu den sozioökonomischen Rahmenbedingungen im Überblick (2014 = 100)

Quelle: [TLS 2016a], [DESTATIS 2016a], [TLS 2016b], [TLS 2016c], [TLS 2016d], [TLS 2016e], [TLS 2016m], [VGRdL 2015], [ÖKO, ISI 2015], Fortschreibung und Darstellung IE Leipzig

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass die zentralen Parameter Gesamtwirtschaft und Demographie die Entwicklung der Treibhausgasemissionen und die klimapolitischen Ziele grundsätzlich beeinflussen, wobei die Sensitivität der gesamtwirtschaftlichen Komponente etwas ausgeprägter ist. In Kombination können die zentralen Parameter einen markanten Einfluss auf die angestrebte THG-Minderung gegenüber der Projektionsbasis bewirken. Exemplarisch verdeutlicht für den Sektor Verkehr zeigt sich die hohe Bedeutung der unterstellten Umsetzung bundespolitischer Vorgaben auf die klimapolitischen

Ziele des Freistaates Thüringens. Im Vergleich sind diese von deutlich höherem Belang für die Zielerreichung. Allgemein gilt, dass sofern die für die Sektoren unterstellte Umsetzung bundes- sowie auch europapolitischer Vorgaben nicht erfolgen sollte, die im vorliegenden Gutachten aufgezeigten THG-Minderungen bzw. THG-Ziele des im Freistaat Thüringen bis zum Jahr 2040 nur eingeschränkt erreichbar sind. Dies bedarf einer kritischen Einordnung bzw. Würdigung im Zuge des Monitorings.

## 2.3 Potenziale erneuerbarer Energien

Die Potenziale der erneuerbaren Energien des vorliegenden Gutachtens basieren in den Grundzügen auf der Studie „Neue Energien in Thüringen – Ergebnisse der Potenzialanalyse“ der Fachhochschule Nordhausen, die im Jahr 2011 für das Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Technologie erstellt wurde. In Teilbereichen, in denen sich der Erkenntnisstand bzw. die Technologieentwicklung verändert hat, wurden die Potenziale angepasst. Dies betrifft im Wesentlichen die Stromerzeugungspotenziale für Photovoltaik und Windenergie. Die nachfolgend ausgewiesenen Potenziale basieren auf dem Exzellenzszenario der zuvor genannten Studie. Die detaillierten Annahmen und Berechnungsgrundlagen sind der Studie zu entnehmen.

### Wärmepotenziale

Die Potenziale zur Bereitstellung von Wärme werden in Thüringen durch Biomasse (58 %), oberflächennahe Geothermie (27 %) und Solarthermie (8 %) dominiert. Die Wärmepotenziale der Abwasserbehandlung, Tiefengeothermie, Müllverbrennung und Deponiegaserzeugung sind mit einem Anteil von insgesamt 7 % in Thüringen von untergeordneter Bedeutung. Von den in Thüringen verfügbaren erneuerbaren Wärmepotenzialen werden derzeit nur die Biomassepotenziale in bedeutsamem Umfang genutzt. Solar- und Geothermie bergen zukünftig hingegen noch starke Ausbaupotenziale [FHNH 2011].

Insgesamt kann in Thüringen eine Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien von 40,7 PJ bzw. 11,3 TWh erreicht werden [FHNH 2011]. Der Großteil der

erreichbaren erneuerbaren Wärmepotenziale konzentriert sich dabei in den Landkreisen Thüringens. Dies wird maßgeblich durch die dort höhere Verfügbarkeit von Biomasse hervorgerufen. Der Anteil der Solarthermie und oberflächennahen Geothermie an der potenziellen Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien ist hingegen in den kreisfreien Städten ausgeprägter.

### Strompotenziale

Im Exzellenzszenario der Studie „Neue Energien in Thüringen – Ergebnisse der Potenzialanalyse“ wird das gesamte Potenzial zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien auf etwa 56,9 TWh beziffert [FHNH 2011].

In der Potenzialstudie wurde jedoch davon ausgegangen, dass die Windkraft auf allen windhöffigen Gebieten unter Beachtung der generellen Restriktionsflächen, bestehender Abstandsregelungen sowie Lockerung bestimmter Restriktionen (Wasserschutzzonen, Landschaftsschutzgebiete, Naturparks) und die Einbeziehung von Waldflächen ohne Schutzstatus genutzt werden kann. Dies hätte eine Nutzung auf etwa 4,5 % der Landesfläche Thüringens bedeutet. Durch den Koalitionsvertrag wurde die für die Windkraft zu nutzende Landesfläche zunächst auf 1 % festgelegt [KV 2014]. Nimmt man diesen Wert einschränkend an, reduziert sich das gesamte Potenzial zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien. Unter Berücksichtigung aktueller Erfahrungen und der Flächenbegrenzung im Koalitionsvertrag können in Thüringen in etwa 9,9 TWh Strom aus Windkraft erzeugt werden. Dieser Wert ist

durch eine Erhöhung der Fläche und durch eine Fokussierung auf höhere und leistungsfähigere Anlagen deutlich zu steigern.

Neue Erkenntnisse und Entwicklungen erforderten für dies Gutachten auch eine Anpassung des Stromerzeugungspotenzials der Photovoltaik. Dies würde eine Stromerzeugung mittels Photovoltaik von 17,7 TWh ermöglichen und damit erhöht sich das Stromerzeugungspotenzial aus Photovoltaik gegenüber dem in [FHNH 2011] ausgewiesenen Potenzial für Thüringen.

Die Stromerzeugungspotenziale aus Wasserkraft, Biomasse, Tiefengeothermie sowie Müllverbrennung und Deponiegaserzeugung sind mit einem Anteil von insgesamt 7 % (4,2 TWh) in Thüringen von untergeordneter Bedeutung. Das Wasserkraftpotenzial Thüringens wurde bereits weitgehend erschlossen bzw. die Anlagentechnik erneuert, so dass nur noch geringe Ausbaupotenziale bestehen [FHNH 2011]. Ebenso sind die Ausbaupotenziale zur Stromerzeugung aus Müllverbrennung und Deponiegaserzeugung nahezu ausgeschöpft [FHNH 2011]. Die Stromerzeugung aus Biomasse hat sich in den vergangenen Jahren bereits dynamisch entwickelt; zukünftig besteht noch ein Ausbaupotenzial von etwa 1,5 TWh. Die wesentlichen Potenziale zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Thüringen liegen im Bereich der Photovoltaik (Nutzung von Dach- und Fassadenflächen: Ausbaupotenzial 16,3 TWh) und Windenergie (Ausbaupotenzial 8,3 TWh).

Selbst vor dem Hintergrund einer hier angenommenen Beschränkung auf 1% der Landesfläche für Windenergie sowie den Potenzialanpassungen können in Thüringen insgesamt 31,9 TWh Strom aus erneuerbaren Energien bereitgestellt werden [FHNH 2011] [KV 2014] [IE 2015a] [IE 2015b] [IE 2015c].

Der Großteil der erreichbaren erneuerbaren Stromerzeugungspotenziale Thüringens konzentriert sich in den Landkreisen. Maßgebend dafür ist die höhere Flächenverfügbarkeit für Windenergie sowie Dachflächen in den Landkreisen Thüringens für Photovoltaik (siehe Abbildung 4)



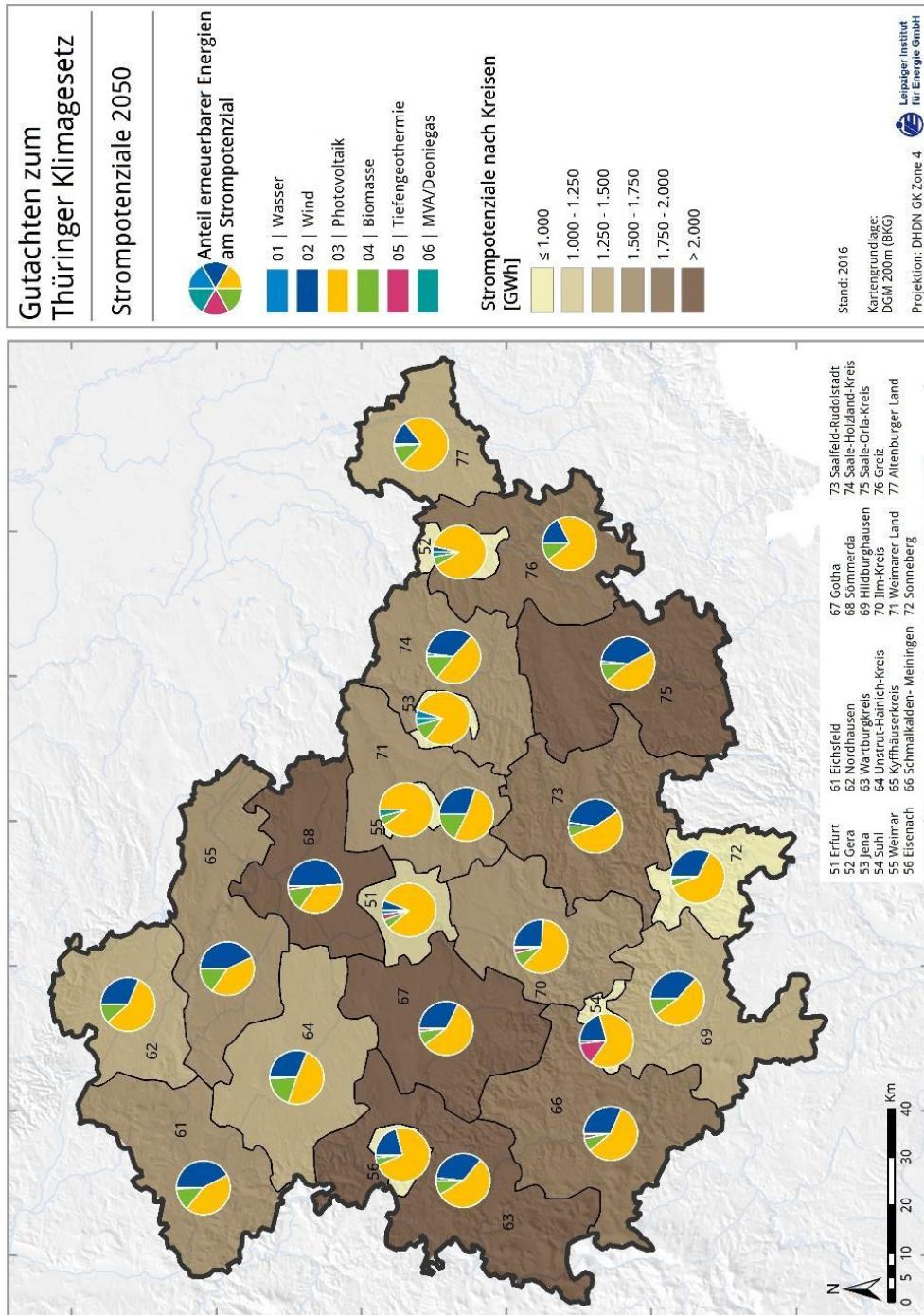


Abbildung 4 Erneuerbare Strompotenziale nach Kreisen in Thüringen  
 Quelle: [FHNH 2011], [FHNH 2015], [KV 2014], [IE 2015a], [IE 2015b] [IE 2015c], Eigene Berechnung und Darstellung IE Leipzig

## 3 Szenarien

### Historie

Ohne die Anrechnung der Senken (LULUCF) und des Stromimportes verringerten sich die CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen der direkten Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFKW, FKW und SF<sub>6</sub>) von 33,8 Mio. t CO<sub>2äq</sub>/a im Jahr 1990 (12,9 t CO<sub>2äq</sub> je Einwohner) auf 14,7 Mio. t CO<sub>2äq</sub>/a im Jahr 2014 (6,8 t CO<sub>2äq</sub> je Einwohner).

Dies entspricht einer **Reduktion um ca. 19,1 Mio. t CO<sub>2äq</sub> (- 56 %) gegenüber dem Kyoto-Basisjahr 1990** bzw. **ca. 3,6 Mio. t CO<sub>2äq</sub> (-19 %) gegenüber 1995**.

Ursächlich für die Reduktion der THG-Emissionen der energiebedingten Sektoren war der grundlegende Wandel in der Energiewirtschaft. Das gilt sowohl für die Bereiche der Energieträgerbereitstellung als auch für die der Energieanwendung. Die Ursachen für diesen Wandel sind vielschichtig. Hierzu gehören gestiegene Anforderungen an die Effektivität 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 reduzierten sich maßgeblich durch die Verringerung des Tierbestandes Thüringens (insbesondere Milchkühe und Rinder), dem geringeren Einsatz von Stickstoff-Mineraldünger sowie dem Verbot der Deponierung unbehandelter organischer Abfälle bei gleichzeitig zunehmender Deponiegasnutzung.

Unter Berücksichtigung der Senken verringerten sich die THG-Emissionen Thüringens im Zeitraum 1990

bis 2014 um 18,4 Mio. t CO<sub>2äq</sub> auf 12,5 Mio. t CO<sub>2äq</sub>. (- 60 %).

Maßgebend für den geringeren Rückgang der THG-Emissionen unter Berücksichtigung der Senken ist die zunehmende Holznutzung bei nahezu unveränderter Waldfläche.

### Referenzszenario

Im Referenzszenario wird davon ausgegangen, dass bisherige Entwicklungen sich weitgehend fortsetzen, während aktuelle Hemmnisse für einen zielorientierten Klimaschutz in diesem Szenario bestehen bleiben.

Die **THG-Emissionen im Referenzszenario** werden ohne die Berücksichtigung von Senken (LULUCF) und des Stromimports im Vergleich zu 1990 um **69 % bis 2040 (- 23,4 Mio. t CO<sub>2äq</sub>)** bzw. **43 % im Vergleich zum Jahr 1995 (- 7,9 Mio. t CO<sub>2äq</sub>)** sinken. Je Einwohner reduzieren sich die THG-Emissionen somit auf 5,9 t CO<sub>2äq</sub> im Jahr 2040.

Im Wesentlichen ist dies auf die zukünftig weiterhin fortschreitende Verringerung des Energieeinsatzes sowie der Energieträgersubstitution in den Endenergiesektoren und im Umwandlungsbereich zurückzuführen.

Die **THG-Emissionen unter Berücksichtigung der Senken (LULUCF)** reduzieren sich von 12,5 Mio. t CO<sub>2äq</sub> im Jahr 2014 auf 7,2 Mio. t CO<sub>2äq</sub> im Jahr 2040. Dabei handelt es sich im Vergleich **zu 1990 um 73 % (- 22,5 Mio. t CO<sub>2äq</sub>)** bzw. **zu 1995 um 46 % (- 7,0 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) bis zum Jahr 2040**.



Entscheidend für den geringeren Rückgang der THG-Emissionen unter Berücksichtigung der Senken ist, dass einerseits kaum neue Waldflächen entstehen und andererseits die Nachfrage nach Holz weiterhin moderat ansteigen wird. Zwar nimmt damit auch der Anteil des in Holzprodukten gespeicherten Kohlenstoffs zu, allerdings kann nicht der gesamte dem Wald entzogene Kohlenstoff gebunden werden und kommt zugleich zu einer verzögerten Freisetzung von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Holzprodukten.

### Aktives Zielszenario

Im aktiven Zielszenario wird ein möglicher Pfad aufgezeigt, der zum Erreichen der vordefinierten energiepolitischen Ziele Thüringens sowie der im Koalitionsvertrag avisierten Maßnahmen gänzlich beiträgt. Zur Erreichung des im Koalitionsvertrag festgelegten Ziels – *bilanzielle Deckung des Energiebedarfs (Strom, Wärme/Kälte und Kraftstoffe) durch einen Mix aus 100 % erneuerbaren Energien bis 2040* – müssen die Anstrengungen in allen Bereichen stark intensiviert werden. Die grundlegenden Annahmen zum aktiven Zielszenario 2040 sind folgendermaßen definiert:

- Zusätzliche Aktivitäten und Maßnahmen zum Klimaschutz – im Vergleich zum Referenzszenario – werden erst ab 2017 wirksam.
- Die zusätzlichen Aktivitäten bzw. Maßnahmen über den Trend hinaus bis zum Jahr 2040 basieren auf bekannten und heute verfügbaren Technologien.
- Neuere Technologien, wie z.B. Elektrofahrzeuge, kommen bis 2025 erst in sehr begrenztem Umfang zum Einsatz.
- Kritische oder noch sehr unwirtschaftliche Technologien (z.B. Power to Gas, Power to Liquid) sind im aktiven Zielszenario nicht enthalten.
- Zur Zielerreichung – Bilanzielle Deckung des Energiebedarfs durch 100 Prozent erneuerbare Energien – müssen erneuerbare Technologien konsequent ausgebaut und genutzt werden. Zudem muss Strom aus erneuerbaren Energien zunehmend in neue Anwendungsgebiete vordringen.
- Trotz der deutlichen Steigerung der Energieproduktivität bzw. Energieeffizienz (siehe Tabelle 1) und Ausschöpfung der erneuerbaren Wärme- bzw. Brennstoffpotenziale verbleibt im aktiven Zielszenario im Jahr 2040 noch ein fossiler Brenn- bzw. Kraftstoffbedarf in Höhe von etwa 45 PJ.
- Zur bilanziellen Deckung des Energiebedarfs aus 100 % erneuerbaren Energien – im Sinne des Koalitionsvertrages – ist für die im Energiesystem Thüringens verbleibende fossile Energie (45 PJ) eine korrespondierende zusätzliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien erforderlich. D.h. eine im Energiesystem verbleibende Einheit fossiler Energieträger wird durch eine zusätzliche Einheit Strom aus erneuerbaren Energien, die über den Strombedarf Thüringens hinausgeht, bilanziell kompensiert. Dazu ist eine zusätzliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien von ca. 12,5 TWh erforderlich.
- Unter Berücksichtigung des Strombedarfs Thüringens beträgt der gesamte, über erneuerbare Energien zu deckende, Bruttostromverbrauch Thüringens im Jahr 2040 etwa 28,3 TWh.
- Die Stromerzeugungspotenziale aus erneuerbaren Energien Thüringens – unter Berücksichtigung der Begrenzung der Windkraftnutzung auf 1 % der Landesfläche (Koalitionsvertrag) – sind ausreichend, um den Stromverbrauch inklusive den zusätzlichen Bedarf zur Kompensation der im Energiesystem verbleibenden fossilen Energieträger Thüringens im Jahr 2040 zu decken.

- Dem Quellenprinzip folgend werden im Zuge der bilanziellen Kompensation zur Erfüllung der energiepolitischen Zielvorgaben des Koalitionsvertrages weiterhin THG-Emissionen aus dem Einsatz der noch verbleibenden fossilen Energieträger in Thüringen freigesetzt.
- Eine weitere Verbreitung der Elektromobilität sowie eine fortschreitende Effizienzsteigerung in den Endenergiesektoren reduzieren nach dem Jahr 2040 den bilanziellen Kompensationsbedarf.
- Die Umsetzung des aktiven Zielszenarios ermöglicht es, die **THG-Emissionen** ohne die Berücksichtigung der Senken (LULUCF) und des Stromimportes im Vergleich **zu 1990 um 83 % (- 28,0 Mio. t CO<sub>2äq</sub>)** beziehungsweise **zu 1995 um 69 % (- 12,5 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) bis zum Jahr 2040** zu reduzieren (siehe Abbildung 5). Die THG-Emissionen je Einwohner sinken im aktiven Zielszenario auf 3,3 t CO<sub>2äq</sub> im Jahr 2040. Maßgeblich für die THG-Emissionen im Jahr 2040 werden die Sektoren Industrie und Landwirtschaft. Im Sektor Industrie werden diese im Jahr 2040 überwiegend durch die prozessbedingten THG-Emissionen (CO<sub>2</sub>) bestimmt.
- Primär wird die Reduktion der energiebedingten THG-Emissionen durch die deutliche, über die Trendentwicklung hinausgehende, Steigerung der Energieproduktivität sowie der Ausschöpfung der erneuerbaren Strom-, Wärme- bzw. Brennstoffpotenziale Thüringens (Energieträgersubstitution) in den Sektoren erreicht. Die Verringerung der nicht-energiebedingten THG-Emissionen wird maßgeblich durch eine emissionsarme Tierhaltung, verbesserte Lagerung des Wirtschaftsdüngers und Einsatzminderung von Mineral- und Wirtschaftsdünger sowie durch den weitgehenden Verzicht auf den Einsatz von halogenierten Kohlenwasserstoffen (F-Gase) erzielt.
- Die **THG-Emissionen unter Berücksichtigung der Senken (LULUCF)** reduzieren sich von 12,5 Mio. t CO<sub>2äq</sub> im Jahr 2014 auf 3,7 Mio. t CO<sub>2äq</sub> im Jahr 2040. Im Vergleich **zu 1990 um 88 % (- 27,2 Mio. t CO<sub>2äq</sub>)** beziehungsweise **zu 1995 um 76 % (- 11,7 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) bis zum Jahr 2040**.
- Im Zielszenario wird berücksichtigt, dass dem Koalitionsvertrag folgend 5 % der Waldfläche der dauerhaften forstwirtschaftlichen Nutzung entzogen wird. Da aber gleichzeitig die Nachfrage nach Holz moderat steigen wird, kommt es – wie im Referenzszenario bis zum Jahr 2040 – zu einer Abnahme des Kohlenstoffspeichers im Wald. Einen weiteren Einfluss haben die langfristige Bindung von Kohlenstoff in Holzprodukten und die (gleichzeitige) Substitution energieintensiver Materialien durch Holz. Im Vergleich zur direkten Speicherung wird durch diese Substitution ein Vielfaches an CO<sub>2</sub> eingespart. Die direkte Speicherung in Holzprodukten ist nach oben hin begrenzt und wird zu einem bestimmten Zeitpunkt einen Sättigungspunkt erreichen, an dem sich Eintrag und Austrag die Waage halten.

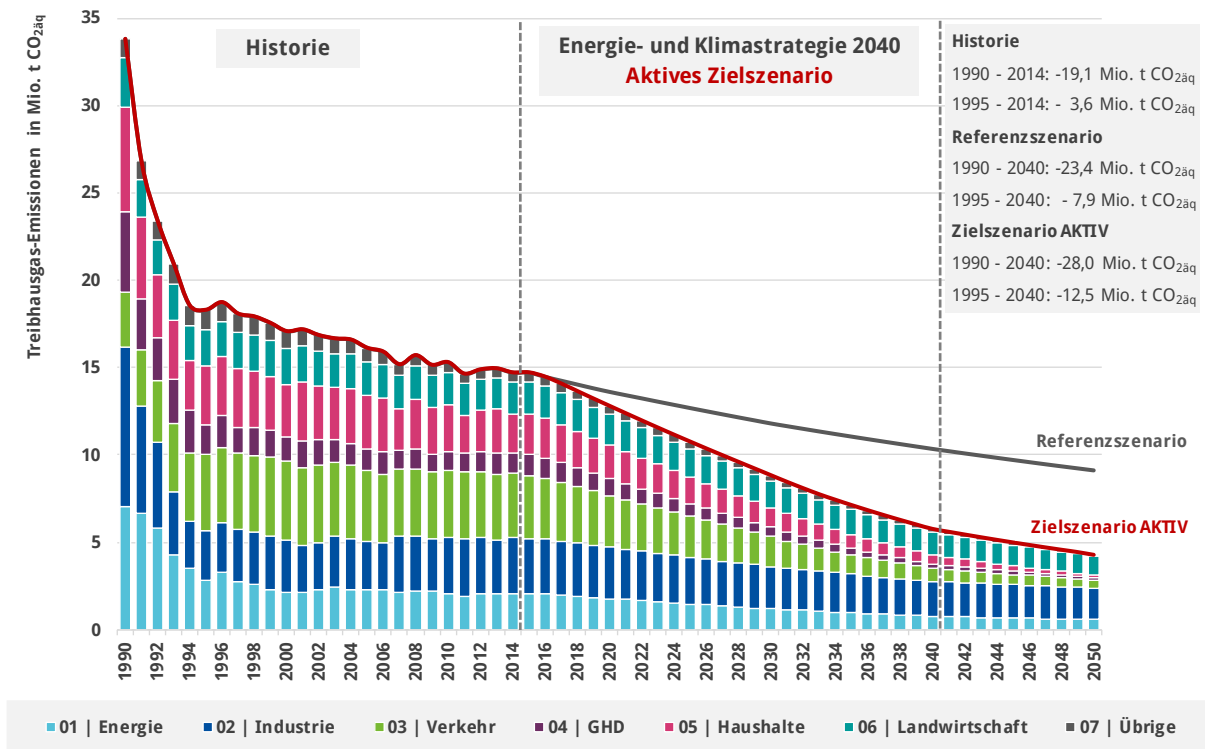


Abbildung 5 Zielszenario AKTIV: Treibhausgasemissionen nach Sektoren 1990 bis 2050 (Quellen)  
 Quelle: siehe Angaben zu den jeweiligen Sektoren, Berechnung und Darstellung IE Leipzig, Normierung der Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, F-Gase) in CO<sub>2äq</sub>-Emissionen mittels GWP<sub>AR4</sub>-Werte

### Proaktives Zielszenario

Für das proaktive Zielszenario gelten dieselben Annahmen wie für das aktive Zielszenario. Jedoch wird durch das proaktive Zielszenario ein möglicher Pfad aufgezeigt, der über die bilanzielle Deckung des Energiebedarfs aus 100 % erneuerbaren Energien bis 2040 hinaus eine vollständige Substitution der verbleibenden fossilen Energieträger im Energiesystem Thüringens ermöglicht. Dazu müssen, ebenso wie im aktiven Zielszenario, die Anstrengungen in allen Bereichen stark intensiviert werden. Nach 2025 werden bis dahin noch eher wenig eingesetzte – aber bereits heute be-

kannte – Technologien eine breitere Anwendung finden müssen, um zur Zielerreichung beizutragen und fossile Energieträger gänzlich zu verdrängen. Zentrale Annahmen hierzu betreffen die im proaktiven Zielszenario verbleibenden fossilen Brenn- und Kraftstoffe (Erdgas und Mineralölprodukte) im Energiesystem Thüringens:

- Eine gänzliche direkte Substitution der fossilen Energieträger Erdgas und Mineralöle durch erneuerbare Energien ist mit den verfügbaren heimischen Potenzialen Thüringens nicht möglich. Daher müssen diese, langsam beginnend ab dem Jahr 2025,

durch synthetisches erneuerbares Gas bzw. synthetische erneuerbare Kraftstoffe (so genannte PtX-Energieträger) ersetzt werden.

- Zur Erzeugung der PtX-Energieträger wird im proaktiven Zielszenario zusätzlicher erneuerbarer Strom (16,7 TWh<sup>1</sup>) benötigt, der zwar mit den vorhandenen Stromerzeugungspotenzialen Thüringens unter Berücksichtigung der Begrenzung der Windenergienutzung auf 1 % der Landesfläche (Koalitionsvertrag) gedeckt werden kann, jedoch einen deutlich stärkeren Ausbau als im aktiven Zielszenario erfordert.
- Unter Berücksichtigung des Strombedarfs Thüringens beträgt der gesamte, über erneuerbare Energien zu deckende, Bruttostromverbrauch Thüringens im Jahr 2040 etwa 32,44 TWh (siehe Tabelle 1).
- Die Erzeugungskapazitäten für PtX-Energieträger in Thüringen (Power to Gas, Power to Liquid) müssen dazu langsam beginnend ab 2025 und kontinuierlich steigend bis 2040 ausgebaut werden, so dass der erforderliche Substitutionsbedarf bis 2040 vollständig gedeckt werden kann. Der in den PtX-Energieträgern enthaltene Kohlenstoff entstammt dabei aus nicht-fossilen Quellen und ist somit in der THG-Bilanz CO<sub>2</sub>-neutral.
- Als Option und alternativ zur Erzeugung von PtX-Energieträgern kann der Strom auch zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft eingesetzt werden.

- Die weitere Verbreitung der Elektromobilität sowie die fortschreitende Effizienzsteigerung in den Endenergiesektoren senkt nach 2040 den Bedarf an PtX-Energieträgern zur Brenn- und Kraftstoffsubstitution, so dass die freiwerdenden PtX-Erzeugungskapazitäten zunehmend zur Langzeitspeicherung (Kavernenspeicher) von erneuerbarem Gas genutzt werden können.

Durch die Substitution aller fossilen Energieträger ist es möglich, die **THG-Emissionen im proaktiven Zielszenario** ohne die Berücksichtigung der Senken (LULUCF) und des Stromimports **im Vergleich zu 1990 um 90 % (- 30,5 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) und gegenüber dem Jahr 1995 um 82 % (- 15,0 Mio. t CO<sub>2äq</sub>) bis 2040** zu reduzieren (siehe Abbildung 6). Eine vollständige Dekarbonisierung Thüringens würde eine Reduktion der THG-Emissionen auf 1,9 t CO<sub>2äq</sub> je Einwohner im Jahr 2040 ermöglichen.

Die über das aktive Zielszenario hinausgehende Reduktion der THG-Emissionen im proaktiven Zielszenario wird einzig durch die vollständige Substitution der fossilen Energieträger Erdgas und Mineralöle durch PtX-Energieträger erreicht. Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) wird innerhalb des proaktiven Zielszenarios nur noch durch nicht-energiebedingte Prozesse der Landwirtschaft sowie der Industrie (prozessbedingte Emissionen aus der Zement-, Kalk- Glas-, Ziegel- und Elektro Stahlproduktion) verursacht.

<sup>1</sup> Derzeit werden bei den PtX-Verfahren – Strom zu Gas bzw. Kraftstoff – Wirkungsgrade von etwa 54 % erreicht. Theoretisch können beim Einsatz der Hochtemperatur-Elektrolyse Wirkungsgrade von 85 % erreicht werden. Im

proaktiven Zielszenario wird davon ausgegangen dass im Jahr 2040 bei den PtX-Verfahren – Strom zu Gas bzw. Kraftstoff – ein Wirkungsgrad von 75 % erzielt werden kann.

Die **THG-Emissionen unter Berücksichtigung der Senken** reduzieren sich von 12,5 Mio. t CO<sub>2äq</sub> im Jahr 2014 auf 1,2 Mio. t CO<sub>2äq</sub> im Jahr 2040. Es handelt sich dabei im Vergleich **zu 1990 um 96 % (- 29,7 Mio. t CO<sub>2äq</sub>)** beziehungsweise **zu 1995 um 92 % (- 14,2 Mio. t CO<sub>2äq</sub>)** **THG-Emissionsminderung bis zum Jahr 2040.**

Für das proaktive Zielszenario gelten dieselben Annahmen bzw. Entwicklungen für die THG-Emissionen der Senken (LULUCF) wie im aktiven Zielszenario, so dass deren Entwicklung der des aktiven Zielszenarios entspricht (siehe aktives Zielszenario).

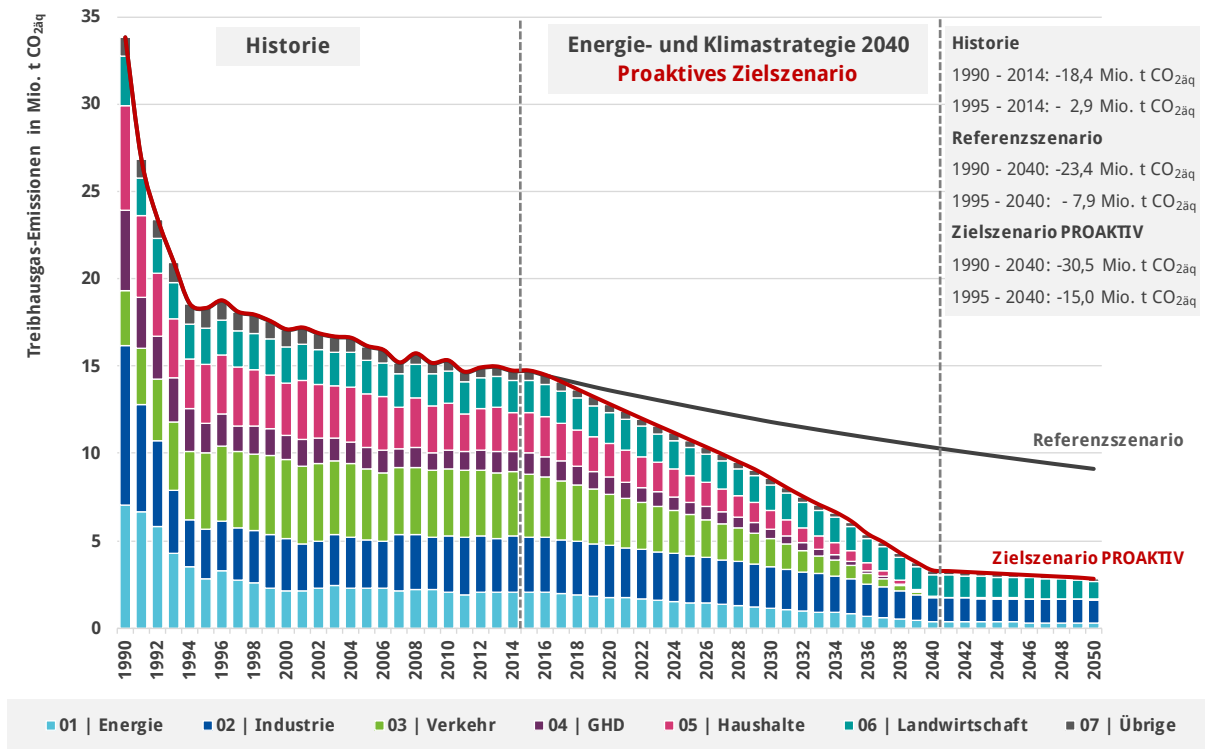


Abbildung 6: Zielszenario PROAKTIV: Treibhausgasemissionen nach Sektoren 1990 bis 2050 (Quellen)  
 Quelle: siehe Angaben zu den jeweiligen Sektoren, Berechnung und Darstellung IE Leipzig, Normierung der Treibhausgase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, F-Gase) in CO<sub>2äq</sub>-Emissionen mittels GWP<sub>AR4</sub>-Werte

## 4 Gesamtwirtschaftliche Effekte

Im Vergleich zum Referenzszenario führt die Realisierung der mit dem aktiven und proaktiven Zielszenario verbundenen Maßnahmen zu vielfältigen strukturellen Veränderungen bei Energieverbrauch und Energiebereitstellung.

Im Rahmen dieses Gutachtens wurde der Fokus auf die **qualitative Betrachtung** dieser Effekte gelegt, während die **quantitativen Analysen** hierzu einer tiefergehenden Studie vorbehalten wären.

Die gesamtwirtschaftlichen Effekte ergeben sich unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen in Deutschland sowie in der EU durch eine Veränderung der Zahlungsströme bei den Energiekonsumenten und bei der Energieversorgung. Infolgedessen oder auch als eigenständiger wirtschaftlicher Impuls ergeben sich Veränderungen bei der Energiebereitstellung sowohl in Bezug auf die Menge und Art der Energieträger als auch auf die Form der Umwandlungsanlagen (Erzeugung von Strom und Wärme). Einen Überblick zu den Wirkungszusammenhängen bei Energieverbrauch und Energiebereitstellung gibt Abbildung 7.

Neben den vielfältigen Veränderungen bei den Zahlungsströmen ergeben sich vor allem auch Strukturverschiebungen hinsichtlich der Gewinner und Verlierer der Energiewende in den einzelnen Branchen und zum Teil auch Regionen.

In Bezug auf die Anlageninvestitionen ist die Wirkung weitgehend von der Lage der Produktionsstätte abhängig. Ob das Produkt in Thüringen, Deutschland oder im Ausland hergestellt wird, ist ein entscheidender Faktor

für die Generierung lokaler/regionaler oder eher weltweiter Wertschöpfungseffekte.

Klarer ist hier schon die Wirkungsrichtung, wenn die Maßnahmen mit Bauleistungen und Installationstätigkeiten verbunden sind. Hier ist in der Regel ein klarer regionaler Wertschöpfungsgewinn feststellbar. Baugewerbe und Handwerk profitieren von den Investitionen, während die klassische Energieversorgung Wertschöpfungsverluste hinnehmen muss.

Strukturelle Verschiebungen zu Gunsten der Regionen ergeben sich auch aus der zunehmenden Dezentralität der Energieerzeugung. Diese positiven Wertschöpfungseffekte sind besonders hoch, wenn auch weiterhin Einsatzstoffe – wie bei der Nutzung von Biomasse – für die Energieerzeugung benötigt werden. Zudem können mittels lokaler Investitionstätigkeiten und vor allem der Beteiligung daran auch Kapitaleinkünfte in den Regionen verbleiben. Allerdings darf hierbei nicht übersehen werden, dass eine umfassende Energiewende auf Großinvestoren nicht verzichten kann.

Als Gewinner der Realisierung des Zielszenarios können – unter dem regionalen Blickwinkel – in der Regel das Baugewerbe und das Handwerk identifiziert werden. Die mit Anlageninvestitionen verbundenen Wertschöpfungseffekte sind überwiegend von den Produktionsstätten der Anlagenhersteller abhängig. Hierbei kommen alle räumlichen Dimensionen – also Thüringen, Deutschland und das Ausland – in Betracht. In der Summe lassen sich meist positive Effekte ermitteln. In Thüringen existieren allerdings nur bedingt gute Ausgangsbedingungen um die mit dem Zielszenario ver-

bundenen Anlageninvestitionen positiven Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte zu induzieren. Um die gesamtwirtschaftlichen Effekte der Energie- und Klimaschutzstrategie 2040 zu optimieren, ist es empfehlenswert diese in die wirtschaftspolitische Strategie Thüringens einzubeziehen.

Trotz der tendenziell positiven volkswirtschaftlichen Effekte darf nicht übersehen werden, dass die Ent-

scheidung zu Investitionen von vielen Einzelentscheidungen abhängt. Bei den Menschen und Unternehmen im Land sind volkswirtschaftliche Sichtweisen meist kein Investitionskriterium. Es ist daher notwendig, die bekannten Investitionshemmnisse im weiteren Prozess der Erarbeitung der Energie- und Klimaschutzstrategie 2040 zu berücksichtigen, um die gesamtwirtschaftlichen Effekte für Thüringen nutzbar zu machen.

+ Positive Effekte		- Negative Effekte	
<b>ENERGIEVERBRAUCH</b> ▶ Einsparung und Effizienz			
Investitionen in Energieeinsparung und Energieeffizienz		Minderinvestitionen/-ausgaben in Bereichen außerhalb energetischer Maßnahmen	
Energieeinsparung und Energieeffizienz		Mindererlöse bei den Energielieferanten	
<b>Saldo</b> Investitionsbelastung versus Kosteneinsparung Wirkung auf Konsumausgaben			
Energiekosteneinsparung höher als Investitionsbelastung	Energiekosteneinsparung gleich hoch wie Investitionsbelastung	Energiekosteneinsparung niedriger als Investitionsbelastung	
<b>ENERGIEBEREITSTELLUNG</b> ▶ Substitution und erneuerbare Energien			
Investitionen in Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien oder Energieträgersubstitution		Keine Investitionen in Anlagen zur Nutzung fossiler Energien	
Einsparung von fossilen Brennstoffen		Fixkosten für Anlagen ohne bzw. verminderten Absatz	
Investitionen in den Ausbau der Netzinfrastruktur		Höhere Netzkosten und Verteilung der Netznutzungsentgelte auf geringeres Volumen	

Abbildung 7 Überblick zu den direkten Wirkungszusammenhängen bei Energieverbrauch und Energiebereitstellung  
Quelle: Eigene Darstellung IE Leipzig

## 5 Wichtige Handlungsfelder

### Energiebedingt

#### Energiewirtschaft

- Erschließung und Ausschöpfung der erneuerbaren Strom-, Wärme- bzw. Brennstoffpotenziale Thüringens (inklusive Energieträgersubstitution)
- Vordringen von Strom aus erneuerbaren Energien in neue Anwendungsgebiete (PtX, Sektorenkopplung)
- Einsatz von KWK und CO<sub>2</sub>-armen Technologien, tiefe Geothermie und Biomasse
- Substitution der fossilen Energieträger Erdgas und Mineralöle durch erneuerbare Energien und synthetisches erneuerbares Gas bzw. synthetische erneuerbare Kraftstoffe (so genannte PtX-Energieträger)
- Ausbau Energienetze und -speicher als Unterstützungsleistung für EE-Durchdringung
- Langzeitspeicherung von erneuerbarem Gas

#### Industrie/GHD

- deutliche Steigerung der Energieproduktivität
- Steigerung der Ressourcen-Effizienz
- betriebsübergreifende Nutzung von Abwärme
- Substitution von klimaschädlichen Produkten
- Eigenerzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen

#### Verkehr

- Änderungen bei der Aufteilung des Transportaufkommens auf die verschiedenen Verkehrsträger (Modal Split), verstärkte Nutzung des Umweltverbundes
- Steigerung der Effizienz der Verkehrsträger
- Veränderter Energieträgereinsatz (Elektrifizierung, Einsatz alternativer (PtX) Treibstoffe)

### Gebäude

- Verbesserung der energetischen Gebäudestandards
- Erhöhung der Sanierungsquoten
- Flächeneffizienz
- Verstärkter Einsatz von Erneuerbaren Energien, v.a. Solarthermie und Umweltwärme/Geothermie (Wärmepumpen) und deutlicher Ausbau von Photovoltaik an Gebäuden
- Erhöhung der Energieeffizienz bei Wärmeanwendungen

### Private Haushalte

- Erhöhung der Energieeffizienz im Strombereich (Haustechnik, Beleuchtung, Bedarfsgerechte Steuerung, IuK, Haushaltsgeräte)
- Eigenverbrauch von EE und Mieterstrom
- Rückgang der PkV-Verwendung, u.a. durch stärkere Auslastung, Nutzung des Umweltverbundes
- Teilweise Reduzierung des Mobilitätsbedarfs

### Nicht energiebedingt

- emissionsarme Tierhaltung
- verbesserte Lagerung des Wirtschaftsdüngers
- Einsatzminderung von Mineral- und Wirtschaftsdünger
- weitgehender Verzicht auf den Einsatz von halogenierten Kohlenwasserstoffen (F-Gase)
- Entzug von Waldfläche der dauerhaften forstwirtschaftlichen Nutzung
- langfristige Bindung von Kohlenstoff in Holzprodukten und Substitution energieintensiver Materialien durch Holz



---

## Abkürzungsverzeichnis

---

BIP	Bruttoinlandsprodukt
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CO <sub>2äq</sub>	Kohlenstoffdioxidäquivalent
EE	Erneuerbare Energien
EU	Europäische Union
Ew	Einwohner
F-Gase	Fluorkohlenwasserstoffe, halogenierte Fluorkohlenwasserstoffe, Schwefelhexafluorid
GHD	Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und übrige Verbraucher
GWh	Gigawattstunden
GWh <sub>End</sub>	Gigawattstunden Endenergie
GWP	Global Warming Potential
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
IuK	Information und Kommunikation
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Lkw	Lastkraftwagen
LULUC	Landnutzung und Landnutzungsänderung
Mio.	Millionen
N <sub>2</sub> O	Distickstoffmonoxid
PkW	Personenkraftwagen
PtX	Power-to-X (u.a. Power to Gas, Power to Liquid)
PJ	Petajoule
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
t	Tonne
t/a	Tonnen pro Jahr
THG	Treibhausgas
TWh	Terrawattstunden

---

## Literaturverzeichnis

---

- BMWi 2015 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Die Energie der Zukunft - Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende, Berlin, 2015
- DESTATIS 2016a Statistisches Bundesamt (Destatis): Ergebnisse der 13. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Basis: 31.12.2013), Variante 1 - Kontinuität bei schwächerer Zuwanderung' (G1-L1-W1) und Variante 2 - Kontinuität bei stärkerer Zuwanderung (G1-L1-W2), Wiesbaden, 2016
- FHNH 2011 Fachhochschule Nordhausen EKP Energie-Klima-Plan GmbH: Neue Energie für Thüringen – Ergebnisse der Potenzialanalyse, Nordhausen, 2011
- FHNH 2015 Hochschule Nordhausen Institut für Regenerative Energietechnik (in.RET): Kurzgutachten zur Untersuchung - Windenergieausbau in Thüringen, Nordhause, 2015
- KV 2014 Die Linke, SPD, Bündnis 90/Die Grünen: Koalitionsvertrag zwischen den Parteien Die Link, SPD, Bündnis 90/Die Grünen für die 6. Wahlperiode des Thüringer Landtages, Erfurt, 2014
- IE 2015a Leipziger Institut für Energie GmbH: Untersuchungen zu einem einstufigen Vergütungsmodell, im Auftrag für Landesverband Erneuerbare Energien e. V. NRW und Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW, Leipzig, 2015
- IE 2015b Leipziger Institut für Energie GmbH: Weiterentwicklung Referenzertragsmodell – Voranalysen im Rahmen wettbewerblicher Ausschreibungen, im Auftrag für Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Leipzig, 2015
- IE 2015c Leipziger Institut für Energie GmbH: Marktanalyse Windenergie an Land Untersuchung im Rahmen des Vorhaben Iie zur Stromerzeugung aus Windenergie, im Auftrag für Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Leipzig, 2015
- ÖKO, ISI 2015 Öko-Institut e.V., Fraunhofer ISI: Klimaschutzszenario 2050, 2. Endbericht, Berlin 2015
- TLS 2016a Thüringer Landesamt für Statistik: Bevölkerung und Einwohner je km<sup>2</sup> in Thüringen seit 1950, Erfurt, 2016
- TLS 2016b Thüringer Landesamt für Statistik: Erwerbstätige (Inland) nach Wirtschaftsabschnitten 1991 bis 2015, Erfurt, 2016
- TLS 2016c Thüringer Landesamt für Statistik: Gebäude- und Wohnungszählung 1995, Erfurt, 2016
- TLS 2016d Thüringer Landesamt für Statistik: Wohngebäudebestand am 31.12. ab 1995 bis 2011, Erfurt, 2016



---

---

TLS 2016e	Thüringer Landesamt für Statistik: Wohnungsbestand am 31.12. - Fortschreibung auf Basis der endgültigen Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungszählung 2011, Erfurt, 2016
TLS 2016m	Thüringer Landesamt für Statistik: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen - Bruttoinlandsprodukt und Bruttowertschöpfung nach WZ 2008 preisbereinigt - Kettenindex (Referenzjahr 2010) - in Thüringen, Erfurt, 2016
VGRdL 2015	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.: Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 2000 bis 2014 Reihe 1, Band 1, Berechnungsstand November 2014/Februar 2015, Stuttgart, 2015