



INM Footprint. KLIMASTRATEGIE

kommunale Klimastrategie
klimastrategie.de

Treibhausgasbilanz 2015 Stadt Zittau



INM Institut für Nachhaltigkeitsanalytik und -management
Kommunales Energie- und Klimamanagement aus einer Hand

Impressum

Autoren:

Mareen Jokusch¹, Markus Will², Jörg Lässig², Roland Michler²

¹Freie Energieberaterin

²Institut für Nachhaltigkeitsanalytik und -management
Unternehmergesellschaft (haftungsbeschränkt)

Am See 1

02906 Quitzdorf am See

footprint.klimastrategie.de

inm-research.de

Erscheinungsdatum: 06. Dezember 2015

Haftungsausschluss

Die Berechnungen im vorliegenden Bericht wurden mit größtmöglicher Akkuranz durchgeführt und auf Basis aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse erstellt. Die Erhebung der Ausgangsdaten erfolgte durch den Auftraggeber oder die Stadt Zittau. Daher kann für die Validität der Ergebnisse und daraus abgeleiteter Maßnahmen durch die Firma INM keine Haftung übernommen werden.



Inhaltsverzeichnis

1 Hintergrund	5
1.1 Klimawandel und Klima- und Energiepolitik	5
1.2 Die Rolle der Landkreise und Kommunen bei der Umsetzung	8
1.3 Methodik regionaler Treibhausgasbilanzen	9
2 Treibhausgasbilanz der Stadt Zittau	16
2.1 Sektor Energie	16
2.2 Sektor Verkehr	27
2.3 Sektor Industrie	29
2.4 Sektor Landwirtschaft und Landnutzung	32
2.5 Sektor Abfall	39
3 Ergebnisse	45
Tabellenverzeichnis	51
Abbildungsverzeichnis	53
Literaturverzeichnis	55





1 Hintergrund

Einleitend betrachten wir die historischen und aktuellen Entwicklungen im Kontext von Klimawandel sowie Klima- und Energiepolitik. Weiterhin wird die Rolle von Landkreisen und Kommunen bei der Umsetzung entsprechender Ziele beleuchtet und die angewandte Methodik zur Erstellung regionaler Treibhausgasbilanzen erklärt.

1.1 Klimawandel und Klima- und Energiepolitik

Die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre ist durch die Industrialisierung in den letzten 150 Jahren stark angestiegen. Bis auf wenige Skeptiker am Rande des wissenschaftlichen Mainstreams wird von einem zusätzlich erwärmenden Effekt ausgegangen. Im jüngsten Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wird erklärt, dass der Klimawandel unzweifelhaft feststeht und der Effekt des Menschen auf das Klimasystem eindeutig ist (IPCC 2014). Die Atmosphäre und die Ozeane haben sich erwärmt, Schnee- und Eismengen sind zurückgegangen, der Meeresspiegel ist angestiegen. Dies alles korreliert mit der zunehmenden Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre. Eine Abmilderung des Klimawandels bedarf großer und langfristiger Anstrengungen zur Senkung der Treibhausgas (THG)-Emissionen und zur Dekarbonisierung der Wirtschaft. In Tabelle 1.1 sind die aktuellen Ergebnisse der Klimafolgenforschung dargestellt.

Neben dem Klimawandel und Zielen des Umwelt- und Gesundheitsschutzes führen auch die Fragen der Verknappung der fossilen Ressourcen und damit verbunden der Versorgungssicherheit sowie der Preisentwicklung zu Argumenten für eine ambitionierte Klima- und Energiepolitik. Die in den vergangenen Jahren gestiegenen Elektrizitätskosten, die nur zu einem kleinen Teil den Kosten des Ausbaus der erneuerbaren Energien zugeschrieben werden können (Will, 2013), zeigen deutlich, dass Einsparungen vor allem aus Kostengründen sinnvoll sind. Obwohl die Preise für den Grundlaststrom an der Leipziger Energiebörse European Energy Exchange (EEX) in der letzten Zeit weiter sanken (September 2013: 3,79 Cent pro kWh) und Großabnehmer auch für die kommenden Jahre sinkende Großhandelspreise erwarten, wie die Preise für Termingeschäfte nahelegen, steigen die Preise für Industrie und Haushalte an. Die Preise für Elektrizität für Haushalte nahmen von 1998 bis 2013 um etwa 65 %-Punkte zu (1998: 17 ct/kWh; 2013: 28,5 ct/kWh). Dagegen stiegen im selben Zeitraum die Preise für Super-Benzin um 98 % (1998: 81,20 Cent/L; 2013: 160,70 Cent/L) und für leichtes Heizöl um nahezu 300 %. Der seit 2014 zu beobachtende Preisverfall für leichtes Heizöl, Diesel und Benzin geht auf die verstärkte Nutzung des sogenannten Fracking-Verfahrens zur Förderung von Schiefergas und -öl in den USA zurück. Dieses Verfahren ist in Deutschland stark umstritten. Aktuell erreichen die Erdölpreise fast wiederum Tiefstpreise im Vergleich mit 2003. Dies liegt u.a. an der Erhöhung der Förderquoten durch die OPEC, wodurch aktuell 30 Mio. Barrel gefördert werden. Die Folge der Überkapazitäten ist ein starker Preisverfall, der bereits



Tabelle 1.1: Übersicht zu aktuellen Ergebnissen der Klimaforschung IPCC (2014a), IPCC (2014b)

Beobachteter Klimawandel	Viele der seit den 1950er Jahren beobachteten Veränderungen sind zum ersten Mal seit Jahrzehnten bis Jahrtausenden aufgetreten. Die Atmosphäre und die Ozeane haben sich erwärmt, die Schnee- und Eismengen sind zurückgegangen und der Meeresspiegel ist angestiegen. Die weltweit beobachteten Temperaturen von Land- und Ozean-Oberflächen zeigen einen Anstieg von etwa 0.85 °C zwischen 1880 bis 2012. Jedes der letzten drei Jahrzehnte war an der Erdoberfläche sukzessive wärmer als alle vorangehenden Jahrzehnte seit 1850. Im Zeitraum 1901 bis 2010 ist der mittlere globale Meeresspiegel um etwa 19 cm gestiegen. Die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs seit Mitte des 19. Jahrhunderts war größer als die mittlere Geschwindigkeit in den vorangegangenen zwei Jahrtausenden. Seit ca. 1950 wurden Veränderungen vieler extremer Wetter- und Klimaereignisse beobachtet, unter anderem ein Rückgang von kalten Temperaturextremen, die Zunahme von heißen Temperaturextremen, extrem hohen Meeresspiegelständen sowie der Häufigkeit von extremen Niederschlägen in einigen Regionen.
Ursachen des Klimawandels	Der von Menschen verursachte Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen, zusammen mit anderen menschlichen Einflussfaktoren, ist äußerst wahrscheinlich (95 — 100 %) die Hauptursache der beobachteten Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts. Anthropogene Treibhausgasemissionen sind seit der vorindustriellen Zeit angestiegen; sie befinden sich gegenwärtig auf dem absolut höchsten Stand. Dies wurde weitgehend durch Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum verursacht. Menschliche Aktivitäten haben die atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas auf Werte ansteigen lassen, die in den letzten 800.000 Jahren noch nie vorgekommen sind. Dies führte zu einer Aufnahme von Energie in das Klimasystem. Davon wurde in den vergangenen 40 Jahren mehr als 90 % durch die Ozeane gespeichert, so dass diese erwärmt wurden.
Folgen des Klimawandels	In den letzten Jahrzehnten haben Klimaänderungen weitverbreitete Folgen für natürliche und menschliche Systeme auf allen Kontinenten und in den Ozeanen gehabt. Einige einzigartige und empfindliche Ökosysteme, z. B. in der Arktis oder Warmwasser-Korallenriffe, sind schon heute vom Klimawandel bedroht. Die geographische Verbreitung von Arten und ihre Interaktion untereinander haben sich verändert. Die Erträge von Weizen und Mais werden überwiegend negativ beeinflusst. In vielen Regionen haben geänderte Niederschläge oder Schnee- und Eisschmelzen die Wasserressourcen beeinträchtigt. Diese vielfältigen Veränderungen deuten darauf hin, dass natürliche und menschliche Systeme empfindlich gegenüber einem sich wandelnden Klima reagieren, unabhängig von der Ursache des Wandels.
Risiken und Folgen zukünftigen Klimawandels	Anhaltende Treibhausgasemissionen werden eine weitere Erwärmung und langfristige Veränderungen in allen Komponenten des Klimasystems bewirken. Der Klimawandel wird für Menschen und Umwelt bereits bestehende Risiken verstärken und neue Risiken nach sich ziehen. Schnellerer und stärkerer Klimawandel beschränkt die Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen und erhöht die Wahrscheinlichkeit für schwerwiegende, tiefgreifende und irreversible Folgen für Menschen, Arten und Ökosysteme. Anhaltende hohe Emissionen würden zu meist negativen Folgen für Biodiversität, Ökosystemdienstleistungen und wirtschaftliche Entwicklung führen und die Risiken für Lebensgrundlagen, Ernährungssicherung und menschliche Sicherheit erhöhen.



einige Volkswirtschaften z.B. in Lateinamerika oder in Russland in Turbulenzen stürzt. Experten gehen davon aus, dass dieser Trend zeitlich begrenzt ist und die Preise für Öl- und Gasprodukte in naher Zukunft wieder steigen werden. Abbildung 1.1 zeigt den Prozess der Treibhausgasemissionsminderung.

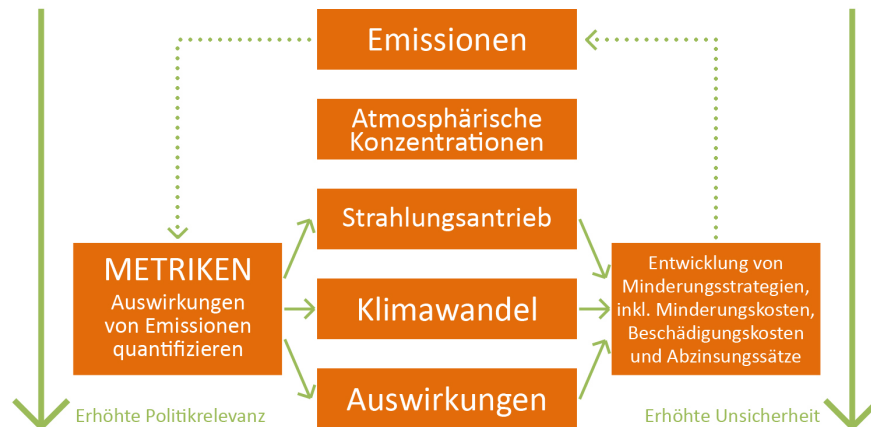


Abbildung 1.1: Prozessdiagramm zur Treibhausgasemissionsminderung (Stocker et al., 2013, S. 710)

Die bereits sichtbaren und zu erwartenden Folgen des Klimawandels und die energiepolitischen Aspekte von Verknappung und Versorgungssicherheit führen auch zu der Forderung, den Ausbau einer regenerativen Ressourcenbasis und Energieversorgung voranzutreiben und Treibhausgasemissionen zu reduzieren.

Auf der 21. UN-Klimakonferenz in Paris im Dezember 2015 wurde eine neue internationale Klimaschutz-Vereinbarung in Nachfolge des Kyoto-Protokolls verabschiedet. Das Paris-Abkommen setzt das ambitionierte Ziel, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2° C, möglichst auf 1.5° C, zu begrenzen. Diese Temperaturerhöhung wird in Kauf genommen, da bis zu dieser Grenze neben der Erwärmung keine chaotischen und damit nicht prognostizierbare Effekte auf das globale Klimageschehen erwartet werden. Gemeinsame und langfristige Anstrengungen sind jedoch notwendig, um diesen Wert einhalten zu können. Wie die Zielstellungen konkret erreicht werden sollen und welche Kontroll- und Sanktions bleibt dagegen unbestimmt. Das Abkommen von Paris erlangt eine bindende Wirkung auch erst, wenn die 195 Teilnehmerstaaten diesen ratifizieren. Die aktuellen internationalen und bundesdeutschen Zielstellungen der Klimapolitik sind in Tabelle 1.2 dargestellt.



Tabelle 1.2: Übersicht klima- und energiepolitischer Ziele der Europäischen Union und der Bundesregierung, Bezugsjahr 1990, Angaben in %^a

Jahr	Reduktion der Treibhausgase		Ausbau der erneuerbaren Energien			
	EU	Bund	Anteil Endenergie		Anteil Elektrizität	
	EU	Bund	EU	Bund	EU	Bund
2010	15,5		10	11	19,9	16,8
2012	18	21,4	13	12,6	21,7 ^b	22,9
2020	20-24	40	20-21	18	30	35
2030	40	50	24-27	45	(46,6)	50
2040	70	70	(42,5)	(52,5)	(63,2)	65
2050	80-95	80-95	55-75	60	80	80

^aDie Zusammenstellung erfolgt auf der Grundlage verschiedener Quellen

^bWert für 2011, aktuellere Werte lagen zum Zeitpunkt der Erstellung des Berichtes nicht vor

Die Bundesregierung hat sich in ihren Klimaschutzpolitischen Programmen und Maßnahmen ambitionierte Ziele gesteckt, bei deren Umsetzung den Entscheidungsträgern auf regionaler Ebene, in den Landkreisen und Kommunen eine wichtige Rolle zukommt. Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Bruttostromverbrauch soll bis 2020 von aktuell etwa 20 % auf 35 % steigen und anschließend auf etwa 80 % im Jahr 2050 kontinuierlich erhöht werden. Insgesamt sollen die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 % gesenkt werden¹. Die Treibhausgasemissionen konnten bisher um 24,7% gesenkt werden. Im Rahmen der Energiewende wurde der Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch auf 23,6% bzw. am Bruttoendenergieverbrauch auf 12,4% angehoben, womit die Zwischenziele erreicht und zum Teil übererfüllt wurden (BMWi, 2014).

1.2 Die Rolle der Landkreise und Kommunen bei der Umsetzung

Die Folgen des Klimawandels haben bereits heute sichtbar deutliche regionale und lokale Auswirkungen, die sich künftig verstärken werden. Klimaschutz hat deshalb eine besondere Relevanz auch für die Regional- und Kommunalpolitik im Bereich der Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen und für eine moderne und ganzheitliche Energiepolitik, die auch Belange des Landschafts- und Naturschutzes hinreichend beachtet. Bürgerinnen und Bürger dürften eine kompetente und proaktive Politik zu schätzen wissen, die sich vor Komplexität nicht scheut und mit klaren Absichten und Zielen vorangeht (vgl. Marletto and Emilia-Romagna, 2012, S. 18).

Für die europaweiten und nationalen Klimaschutzziele und die angestrebte Energiewende tragen die Landkreise und Kommunen insgesamt eine besondere Verantwortung. Die über 300 Landkreise und die 14.000 Städte und Gemeinden in Deutschland wirken direkt und indirekt auf den Klimaschutz ein (vgl. BMUB, 2011, S. 4). Wegen der räumlichen

¹<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiepolitik/energiekonzept.html>

<http://www.bmwi.de/DE/Themen/energie,did=405004.html> (Beschlüsse vom Juni 2011)



Nähe und den unterschiedlichen Nutzungsformen (Lebensraum für Bürgerinnen und Bürger, Gewerbe und Industrie, Verkehr, Freizeit) wird der Großteil der THG-Emissionen – abgesehen vom internationalen Flugverkehr – hier verursacht. Gleichzeitig liegen in der Region aber auch die konkretesten Einsparpotenziale.

Oftmals wird es erfolgreicher sein, mit lokalen und regionalen Maßnahmen im Verbund mit Unternehmen und anderen Akteuren voranzuschreiten, anstatt auf die Lösungen aus der internationalen Politik zu warten, wie die aktuellen Entwicklungen der internationalen Klimapolitik und das Ringen um ein Kyoto-Nachfolgeabkommen verdeutlichen. Landkreise und Kommunen sind deshalb einerseits zuständig für Maßnahmen mit hohem THG-Reduktionspotenzial, etwa durch Schritte in ihren eigenen Liegenschaften (Schulen, Schwimmhallen, Verwaltungsgebäuden, etc.) und der energieeffizienten Gestaltung der Infrastruktur, z. B. der Straßenbeleuchtung. Auf der anderen Seite tragen Gebietskörperschaften eine besondere Vorbildfunktion in ihrer Region, denn nur wenn Landkreise und Kommunen bei ihren Tätigkeiten und Investitionen ein klimafreundliches Vorbild sind, werden Bürgerinnen und Bürger nachziehen und sich für einen bewussteren und umweltfreundlicheren Umgang mit Ressourcen anregen lassen (vgl. BMUB, 2011, S. 4).

1.3 Methodik regionaler Treibhausgasbilanzen

Entscheidungsträger benötigen Grundlagen zur aktuellen Situation, zu Entwicklungen der Vergangenheit und Prognosen, damit Ziele für Klimaschutzmaßnahmen abgeleitet und deren Verfolgung überwacht werden können. Hierzu dienen regionale Treibhausgasbilanzen (THG-Bilanzen)². Mit einer Treibhausgasbilanz sollen die in einer Region emittierten Treibhausgase erfasst werden.

Für die Erstellung von regionalen Treibhausgasbilanzen liegen bisher keine verbindlichen methodischen Konventionen vor. Das ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH hat im April 2014 im Rahmen eines Projektes der Nationalen Klimaschutzinitiative „Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland“ formuliert (IFEU 2014). Für die Umsetzung dieser Empfehlung, insbesondere im Verkehrssektor, fehlen allerdings noch methodische Voraussetzungen. Gegenwärtig werden THG-Bilanzen mit spezifischen „Hauskonzepten“ oder unter Nutzung von generischen Algorithmen (z. B. Softwarepakete wie ECOregion, Bilan Carbone, GRIP-Tool des Greenhouse Gas Regional Inventory Project, etc.) berechnet.

Der im vorliegenden Bericht genutzte methodische Ansatz des Regional Carbon Footprint (RCF) orientiert sich an den Vorgaben des Weltklimarates IPCC zur Emissionsberichterstattung der Länder, die das Kyoto-Protokoll ratifiziert haben. Um diese Berichte miteinander vergleichbar zu machen, wurden Richtlinien zur Erstellung und zur guten Praxis bei THG-Inventaren veröffentlicht (Eggleston et al., 2006).

²Korrekterweise sollte von Treibhausgasinventaren gesprochen werden, da es sich nicht um eine Bilanz i.e.S. einer Input-/Output-Aufstellung handelt.



In den Richtlinien werden alle anthropogenen, durch Verbrennung von fossilen Energieträgern oder durch Landnutzungsänderungen verursachten Treibhausgasemissionen, einbezogen. Neben den Emissionsquellen können auch die Senken, z. B. durch Aufforstung oder Formen der CO₂-Abscheidung und Speicherung, in der Berechnung berücksichtigt werden. Natürliche Veränderungen, welche Einfluss auf den weltweiten Treibhausgashaushalt haben, werden dagegen nicht betrachtet. Es wird dort davon ausgegangen, dass sich die natürlichen Zu- und Abnahmen ausgleichen.

Der zu bilanzierende Zeitrahmen für die anthropogenen Emissionen ist jeweils ein Kalenderjahr. Die Berichte werden in Zeitreihen gespeichert. Diese sollen vollständig sein (jährliche Berichterstattung) und erlauben durch Vergleiche die Identifikation von Trends (vgl. Kühnhold, 2010; Eggleston et al., 2006). Der jeweilige Bilanzraum bzw. die Systemgrenzen der Untersuchung entsprechen dem Territorium der jeweiligen Landkreise und Kommunen.

Es werden alle der sogenannten Kyoto-Treibhausgase berücksichtigt. Da diese Gase in unterschiedlicher Weise zum Strahlungsantrieb und damit zur globalen Erwärmung – Global Warming Potential (GWP)³– beitragen, macht es sich erforderlich, diese über spezifische Emissionsfaktoren in eine vergleichbare Einheit - die CO₂-Äquivalente - umzurechnen. Da Wissenschaftler weltweit weiter an der Untersuchung der Klimawandeleffekte insbesondere auch des Zusammenhanges zwischen Verweilzeit eines Gases in der Atmosphäre und dem jeweiligen Beitrag zum Strahlungsantrieb forschen, ändern sich die Werte, wie in Tabelle 1.3 dargestellt. Umso wichtiger ist es, in Form einer Konvention, die tatsächlich zu verwendenden Emissionsfaktoren festzulegen (Will, 2014).

Die Ermittlung der potenziellen Treibhausgasemissionen und deren potentielle Auswirkungen auf das Klima wird über folgenden Zusammenhang (IPCC, 2007, vgl. Kapitel 1, S. 37) dargestellt:

$$\text{Emission} = \text{Aktivitätsrate} \times \text{Emissionsfaktor} .$$

Unter Aktivitätsrate versteht man die emissionsrelevante menschliche oder natürliche Aktivität pro Jahr (z. B. Verbrennung von Benzin im Pkw-Motor, Wachstum der Bäume). Der Emissionsfaktor quantifiziert die Emissionen pro Aktivitätsrate. Die Emissionen werden in Gewichtseinheiten (meist kg oder t) CO₂-Äquivalenten angegeben. Hierbei sind dann mehrere THG-Gase („Kyoto-Gase“) berücksichtigt. Bei der Erstellung von Treibhausgasbilanzen werden prinzipiell zwei methodische Herangehensweisen für die Bilanzierung unterschieden:

- Quellenbilanzen erfassen direkte Emissionen am Ort ihrer Entstehung. Es werden alle im Bilanzraum potentiell ausgestoßenen THG erfasst, auch wenn etwa der Strom exportiert wird. Indirekte Emissionen, die etwa durch in den Bilanzraum importierte Güter verursacht werden, bleiben hingegen unberücksichtigt. Auf der Ebene eines gesamten Staates oder eines Bundeslandes wird im Bereich der Energie auf die Primärenergiefaktoren zurückgegriffen. Solche Quellenbilanzen ermöglichen Aussagen über die

³Konkret wird das GWP-100 verwendet. Das Global Warming Potential wird über einen bestimmten Zeithorizont – in diesem Fall 100 Jahre - integriert, um die atmosphärische Lebensdauer der Gase zu berücksichtigen.



Tabelle 1.3: „Kyoto-Gase“^a THG des Kyotoprotokolls, jeweiliges GWP und atmosphärische Lebensdauer

Name	Summenformel	GWP100 nach IPCC 1995 (Kyoto-Protokoll) ^b	GWP100 nach IPCC 2007 ^c	GWP100 nach IPCC 2014	Atmosphärische Lebensdauer [a]
Kohlendioxid	CO ₂	1	1	1	./. ^d
Methan	CH ₄	21	25	28	12
Lachgas (Distickstoffmonoxid)	N ₂ O	310	298	264	114
Schwefelhexafluorid	SF ₆	23.900	23.900	23.500	3.200
Stickstofftrifluorid	NF ₃	./.	17.200	16.100	740
Gruppe der halogenierten Fluorkohlenwasserstoffe	HFC	140-11.700	140-11.700	59-12.400	1-270
Gruppe der perfluorierten Kohlenwasserstoffe	PFC	6.500-9.200	6.500-9.200	4.090-17.400	740-50.000

^a Aktueller Stand nachdem durch das „Doha Amendment“ des Kyoto Protokolls NF3 mit aufgenommen wurde (UN 2012).

^b Es wird der Second Assessment Report (SAR)-Wert verwendet, der sich auf den AR2 des IPCC SAR bezieht; (vgl. IPCC, 2007, S. 33 f.), AR4TS. Dieser Wert wird für die Berichterstattung unter dem Kyotoprotokoll verwendet. Nur für NF3 wird das GWP-100 eingesetzt, da das Gas erst 2012 in die Liste der Gase aufgenommen wurde (UN 2012).

^c (IPCC, 2007, 33); AR4 Technical Summary

^d Die Angabe der Lebenszeit von CO₂-Molekülen ist abhängig vom genutzten Modell und variiert entsprechend. Die Angaben beziehen sich auf (IPCC, 2007, S. 33 ff.)



Gesamt mengen an ausgestoßenen THG. Es lassen sich aber keine Rückschlüsse auf das tatsächliche – und ggf. beeinflussbare – Verbrauchsverhalten der Bewohner ableiten.

- Bei verursacherbezogenen THG-Bilanzen werden die von Endverbrauchern im Bilanzraum etwa durch Konsum von Elektrizität oder Wärme hervorgerufenen THG-Emissionen als Berechnungsgrundlage genutzt. Emissionen, die durch die Umwandlung und die Verteilung von Gütern und Elektrizität entstehen, werden entsprechend dem Verursacherprinzip den Endverbrauchern zugeschrieben. Damit liegt der Fokus auf den Endverbrauchern selbst: es werden der Wärmebedarf und die durchschnittlichen Fahrleistungen als Bilanzierungsgrundlage angewendet. Bei positivem Stromaußenhandelsüberschuss wird dieser so behandelt, als würde er im Inland verbraucht, da ein positiver Effekt auf das BIP generiert wird.

Beide Methoden haben Vor- und Nachteile. Generell muss aber klar sein, dass es sich immer um theoretische Modelle handelt, sodass ein Bezug zu tatsächlichen Emissionen nicht direkt dargestellt werden kann. Im Ansatz des RCF werden diese beiden Methoden kombiniert. Das ist notwendig, um besser auf die tatsächlichen Einflussmöglichkeiten der regionalen und kommunalen Entscheidungsträger eingehen zu können. Wenn sich etwa auf dem Gebiet eines Landkreises ein großes Kohlekraftwerk befände, müssten die dort entstehenden THG-Emissionen voll einbezogen werden, was die THG-Bilanz deutlich verschlechtert. Gleichzeitig bestehen kaum Handlungsspielräume für die Kommunalpolitik dort auf eine Emissionsreduzierung hinzuwirken. Dagegen gibt es im Bereich der regenerativen Energien durchaus kommunale Spielräume und die nahezu emissionsfreien Energien sollten in der Bilanz auch gutgeschrieben werden.

Zusammengefasst werden in der vorliegenden Untersuchung entsprechend der international anerkannten IPCC-Methodik folgende Sektoren einbezogen:

1. Energie
 - a. Strom
 - b. Heizwärme
2. Verkehr
3. Industrielle Prozessemissionen
4. Landwirtschaft
 - a. Gärung im Magen
 - b. Düngewirtschaft
 - c. Landnutzung (Forst- und Waldflächen), aggregierte Quellen und atmosphärische Deposition
5. Abfall

In den Berechnungen nach dem RCF-Ansatz wird bilanziell davon ausgegangen, dass die vor Ort aus erneuerbaren Energien produzierte Wärme- und Elektrizität auch vor Ort verbraucht wird. Übersteigt die Produktion aus Erneuerbaren den Verbrauch, werden Gutschriften erteilt, die in negativen Werten der THG-Emissionen für den Energiesektor resultieren könnten. Die Emissionen, die aus dem Verbrauch von Wärme resultieren,



werden witterungsbereinigt, d.h. es wird mittels eines Faktors der Effekt der Temperaturschwankungen herausgerechnet. Dies führt wiederum dazu, dass es sich bei den Ergebnissen um modellhafte Zahlen im Sinne eines Potenzials handelt. Diese Vorgehensweise erscheint gerechtfertigt, da Einflüsse der Witterung wiederum nicht direkt durch regionale Akteure zu beeinflussen sind. Im Bereich der Mobilität werden die THG-Emissionen auf Grundlage der angemeldeten Fahrzeuge und der jährlichen Fahrleistungen ermittelt, wodurch wiederum ein Bezug zum Verhalten der Endnutzer hergestellt werden kann. Einpendler und Durchreisende werden vernachlässigt. Ebenso werden Schienenverkehr und öffentlicher Nahverkehr hier nicht einbezogen. Die THG-Emissionen, die durch industrielle Prozesse verursacht werden und nicht auf Energienutzung beruhen, werden in der Bilanzierung ebenfalls berücksichtigt.

Die große Herausforderung bei der Bilanzierung von Treibhausgasen ist die Verfügbarkeit von Datensätzen. Auch hier werden zwei prinzipielle Vorgehensweisen unterschieden:

- Bei Top-Down-Verfahren werden Datensätze zu THG-Emissionen aus unterschiedlichen Sektoren oder Angaben zu Verbräuchen aus Statistiken der Bundesländer oder des Bundes herangezogen, etwa aus der Umweltökonomischen Gesamtrechnung oder den Veröffentlichungen der Länderarbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. Diese Daten werden dann über Einwohnerwerte auf die regionalen und lokalen Gegebenheiten runtergerechnet. Damit steigt die inhärente Unschärfe der Bilanzergebnisse an, da auf spezifische Aspekte „vor Ort“ kein Bezug genommen wird.
- Bei Bottom-Up-Verfahren sollen möglichst regionalspezifische Datensätze herangezogen werden. Neben den noch recht unkompliziert beschaffbaren Angaben zu regionalen Stromverbräuchen oder der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, müssen dafür weitere Verbrauchsdaten entsprechend der Sozialstruktur, tatsächlich gefahrenen Kilometer, verbreiteten Heizsystemen, Stand der Technik bei elektrizitätsverbrauchenden Produkten, Wirtschaftsstrukturen und Produktionsmengen von Industrieunternehmen usw. erhoben werden.

Wünschenswert wäre es, eine THG-Bilanz zu erstellen, die größtenteils regionalspezifische Werte enthält und damit die Gegebenheiten der Landkreise und Kommunen optimal darstellt. Dies ist jedoch unter den vorhandenen Rahmenbedingungen oft leider nicht möglich und ggf. auch nicht notwendig. Durch die anderen Unsicherheitsfaktoren etwa in den theoretischen Kausalitätsmodellen zum Zusammenhang zwischen THG-Emissionen und Klimawandeleffekt, die Unterschiede in den Emissionsfaktoren und etwaige Probleme von Doppelzählungen und allgemeinen Messungenauigkeiten, sind die Ergebnisse zwangsläufig mit Unsicherheiten behaftet. Daher könnte man besser dafür argumentieren, die Zielstellung des THG-Emissionsmonitoring effizient, mit relativ wenig Aufwand bei gleichzeitig hinreichender Genauigkeit zu erreichen, anstatt Ressourcen für eine detaillierte und umfassende Datenerhebung aufzuwenden.

In der Regel wird bei der Ermittlung des RCF ein Methodenmix angewendet, d.h. der regional erzeugte Strom aus erneuerbaren Energien wird auf Basis von regionalspezifischen Primärdaten in die Bilanzierung einbezogen. Wo möglich, werden auch die Auswirkun-



gen kommunaler Klimaschutz- und Energieeinsparprogramme berücksichtigt. Nicht mit vertretbarem Aufwand beschaffbare Daten werden durch statistische Werte aufgefüllt.

Zur Sicherung der Aussagefähigkeit und der Datenqualität werden im vorliegenden Bericht alle Datenquellen und die Berechnungsmethodik transparent und nachvollziehbar offengelegt. Die Ergebnisse einzelner Sektoren werden zusammenfassend mit einem Qualitätsniveau belegt, das die Grenzen der Interpretierbarkeit und die Aussagekraft entsprechend Tabelle 1.4 charakterisiert. Auf die Berechnung eines Qualitätsindikators (DIFU, 2001; Hertle et al., 2012) wird zugunsten der qualitativen Gütebetrachtung verzichtet.

Tabelle 1.4: Datenqualitätsstufen

Datenqualitätsstufe	Bemerkung
*	Verwendung von statistischen Werten des Bundes und Anwendung eines Top-Down-Berechnungsverfahrens
**	Verwendung von statistischen Werten des Bundeslandes und Anwendung eines Top-Down-Berechnungsverfahrens
***	Verwendung regionaler Primärdaten für Bottom-up-Berechnungen und Hochrechnung mittels statistischer Daten auf Länder- oder Bundesniveau nach Top-Down-Verfahren
****	Ausschließliche Nutzung von spezifischen regionalen Datensätzen

Die langfristigen Prognosen für den Ausbau der regenerativen Energien und der Senkung der Treibhausgasemissionen stellen Trendfortschreibungen dar und beziehen sich jeweils auf die Erfüllung oder Übererfüllung der Zielgrößen der Bundesrepublik Deutschland oder des Freistaates Sachsen.

Zusammenfassend zeichnet sich die vorliegende THG-Bilanz durch folgende Aspekte aus:

- Ein Vergleich der Entwicklungen und ein Trendmonitoring bezogen auf unterschiedliche Basisjahre bis zum Basisjahr 1990 wird ermöglicht.
- Es werden über CO₂ hinaus auch andere Treibhausgase berücksichtigt, die im Rahmen des Kyoto-Protokolls eine Rolle spielen. Dazu werden CO₂-Äquivalente ausgewiesen.
- Die Bilanzierungsmethodik orientiert sich an den realisierbaren Handlungsmöglichkeiten in der Kommune.
- Es werden verschiedene Verbrauchssektoren entsprechend der IPCC-Methodik differenziert dargestellt.
- Durch die Nutzung von jahresscharfen Emissionsfaktoren werden auch Vorketten einbezogen, sodass bspw. keine emissionsfreien Energieträger postuliert werden, sondern Umwelteffekte beim Rohstoffabbau und bei der Herstellung von PV-Anlagen oder Windenergieanlagen eingeschlossen sind.
- Die Ergebnisse werden auch als pro-Kopf-Wert angegeben und erlauben konkrete Rückschlüsse auf die vielfältigen Zielstellungen der nationalen und internationalen Klimapolitik.



Hintergrund

- Die Methodik konzentriert sich auf die möglichen Handlungsfelder in der Kommune. Die Ergebnisse des tatsächlichen Handelns können dargestellt werden.



2 Treibhausgasbilanz der Stadt Zittau

Im folgenden Kapitel werden die Treibhausgasemissionen in den betrachteten Sektoren jeweils für Deutschland und den Untersuchungsraum dargestellt. Für die Berechnung der Sektoren Energie und Verkehr wurden weitgehend regional spezifische Daten verwendet, während die Sektoren industrielle Prozesse, Landwirtschaft und Abfall auf der Grundlage von statistischen Daten generisch ermittelt wurden. Basis für den vorliegenden Treibhausgasbericht sind Daten aus dem Jahr 2013.

2.1 Sektor Energie

Der größte Anteil an den weltweiten Treibhausgasemissionen ist mit 42 % auf die Energieumwandlung zurückzuführen (IEA, 2013, S. 13). Für die Erzeugung von Elektrizität und Wärme werden vorwiegend fossile Energieträger (Steinkohle, Braunkohle, Erdöl, Erdgas, Torf) eingesetzt, bei deren Verbrennung diverse Luftschadstoffe (z. B. wie NO_x , SO_2 , NMVOCs, Quecksilber) und Treibhausgase – größtenteils CO_2 , aber auch CH_4 und N_2O – emittiert werden. Weniger klimaschädliche Möglichkeiten der Energieumwandlung beruhen auf dem fossilen Energieträger Uran oder auf regenerativen Energieträgern, die in der Gesamtbilanz weitaus weniger Treibhausgase verursachen.

Weil der Sektor Energieumwandlung einen derart großen Anteil an den globalen Treibhausgasemissionen aufweist, konzentrieren sich klimapolitische Maßnahmen auf die Dekarbonisierung des Energiesektors¹, also den Ausbau klimafreundlicherer Energien. Bei der Elektrizität sind dabei bereits Erfolge sichtbar. So konnte der Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Bruttostromerzeugung, wie in Abbildung 2.1 ersichtlich ist, von lediglich 3,6 % im Jahr 1990 auf 22,9 % im Jahr 2012 gesteigert werden (AGEB, 2013). Insbesondere die Photovoltaik wurde in den Jahren 2012 und sogar nach Abschmelzen der Erneuerbare Energien Gesetz (EEG)-Förderung weiter ausgebaut und machte im Jahr 2013 bereits etwa 4,5 % der Bruttostromerzeugung aus (AGEB, 2013), (BMUB, 2013, S. 4). Im Bereich der Windenergie erfolgte in 2012 ein Zubau von Anlagen mit einer Leistung von 2440 MW, etwa ein Viertel davon über Repowering bestehender Anlagen (BMUB, 2013, S. 4). Obwohl in Deutschland 31 GW Onshore- und 280 MW Offshore-Windenergieumwandlungskapazitäten vorhanden waren, bleibt die tatsächliche Stromproduktion letztlich von den Windverhältnissen abhängig (BMUB, 2013, S. 5). Der Anteil der Windenergie an der Bruttostromerzeugung seit 2011 schwankt um 8 % (AGEB, 2013), dennoch bleibt die Windenergie die wichtigste erneuerbare Energiequelle. Der allgemeine Aufwärtstrend setzt sich bei der Biomassennutzung in Biogasanlagen mit etwas abgeschwächter Dynamik fort. Im Jahr 2012 wurden noch etwa 350 MW Stromerzeu-

¹Ein anderer Ansatz wäre mit absoluten Einsparungen oder relativen Effizienzsteigerungen verbunden. Letztere sind aber wegen der zu erwartenden Rebound-Effekte nicht hinreichend, haben jedoch in einem Instrumentenmix einen wichtigen Beitrag zu leisten.



gungskapazität durch Biogasanlagen zugebaut, wobei im Bereich der flüssigen Biomasse auch Anlagen stillgelegt wurden. Immerhin wird der Anteil der Biomasse im Jahr 2013 auf 6,8 % der Bruttostromerzeugung geschätzt (AGEB, 2013).

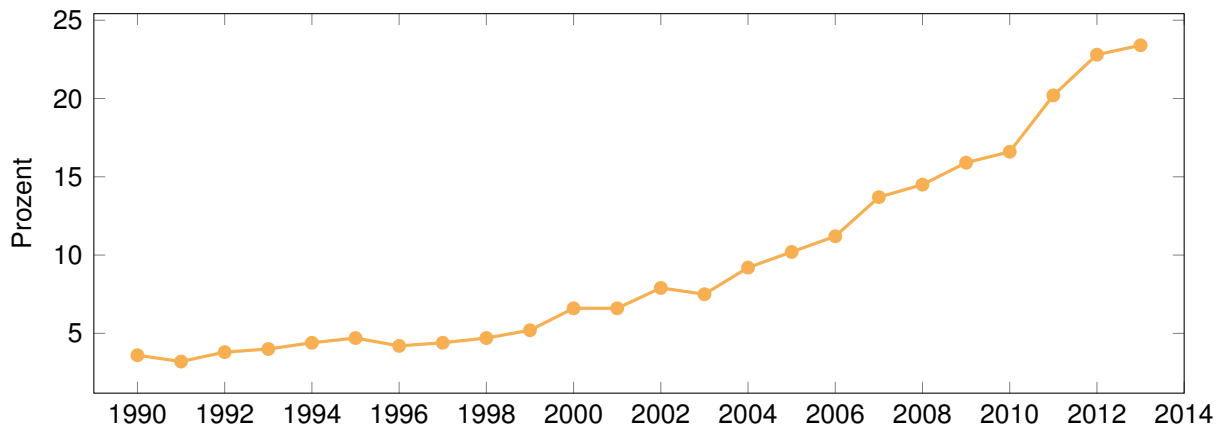


Abbildung 2.1: Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Bruttostromerzeugung in Deutschland

Aktuell dominieren weiterhin die fossilen Energieträger die Stromerzeugung: Braun- sowie Steinkohle machen insgesamt 44 %, Erdgas und Erdöl 13,3 % des Strommixes aus (AGEB, 2013). Derzeit wird auch mehr Braunkohlestrom erzeugt, als zu Beginn der 1990er Jahre².

Emissionsfaktoren

Zur Darstellung der potenziellen Klimaauswirkungen werden Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix verwendet, die von mehreren Aspekten abhängig sind (vgl. Tabelle 2.1), etwa von den jeweiligen Anteilen der Energieträger selbst, wobei Erdgas im Vergleich zu Braunkohle einen deutlich geringeren Emissionsfaktor aufweist. Bei erneuerbaren Energieträgern wird häufig von einem CO₂-Emissionsfaktor gleich Null ausgegangen. Werden jedoch die Auswirkungen in der Gesamtbilanz betrachtet und die Aufwendungen für die Herstellung von Photovoltaikmodulen oder der Abbau von Rohstoffen mit einbezogen, kommen sogenannte LCA-Faktoren zum Einsatz. Häufig sind dann erneuerbare Energien nicht mehr absolut emissionsfrei.

Ein weiterer Einflussfaktor bezieht sich auf den Wirkungsgrad bei der Umwandlung der in fossilen Brennstoffen gebundener chemischer Energie in Strom durch konventionelle Kraftwerke. Steigt der durchschnittlich realisierte Wirkungsgrad³, so werden pro kWh Strom weniger Brennstoffe eingesetzt. Damit sinkt der Emissionsfaktor insgesamt. Der zugrunde gelegte Emissionsfaktor bezieht sich auf die gesamte in Deutschland erzeugte Strommenge inklusive der Stromexporte (Bruttostromerzeugung). Wird nur der Inlandss-

²1990: 170,9 Mrd. kWh; 1991:158,3 Mrd. kWh; 2009: 145,9 Mrd. kWh; 2012: 160,7 Mrd. kWh; Schätzung für 2013: 162 Mrd. kWh; Werte nach AG Energiebilanzen 2013

³Durch das UBA werden ersatzweise Brennstoffnutzungsgrade entsprechend der Input/Outputrelation des Brennstoffeinsatzes und der Bruttostromerzeugung verwendet, weil die Ermittlung durchschnittlicher Wirkungsgrade von Kraftwerken mit hohen Unsicherheiten behaftet ist (UBA, 2013a, S. 16 ff., Tab. 2 und 3)



tromverbrauch betrachtet, verändert sich der Wert entsprechend des Stromhandelssaldos. Dies wird aber im Weiteren nicht berücksichtigt.

Tabelle 2.1: Übersicht zu Emissionsfaktoren im Sektor Energie (UBA, 2013a; IINAS, 2013)

Brennstoff	UBA CO ₂ -Emissionsfaktor (2010 bezogen auf Stromverbrauch)	GEMIS 4.8-CO ₂ - Emissionsfaktor	GEMIS 4.8 LCA- Emissionsfaktor
	[g CO ₂ /kWh]	[g CO ₂ /kWh]	[g CO ₂ -äq./kWh]
Erdgas	411	386 ^a	415 ^b
Steinkohle	902	836	888
Braunkohle	1.161	1.000	1.009
Erneuerbare Energien	0	44 ^c	82
Strommix 2010	546	538	562

^aMittelwert aus den Prozessen Erdgas-GuD-Kraftwerk, Erdgas-BHKW 50 kW, Erdgas-BHKW 500 kW, Erdgas-GuD-HKW 100 MW nach (IINAS, 2013)

^bMittelwert aus den Prozessen Erdgas-GuD-Kraftwerk, Erdgas-BHKW 50 kW, Erdgas-BHKW 500 kW, Erdgas-GuD-HKW 100 MW nach (IINAS, 2013)

^cMittelwert aus folgenden Prozessen: Wasser-Kraftwerk größer 10 MW, Wind Park onshore, Solar-PV (monokristallin), Solar-PV (polykristallin), Geothermie (ORC), Deponiegas-GM, Klärgas-BHKW, Biogas-Gülle-BHKW, Biogas-Mais-BHKW, Rapsöl-BHKW, (Alt)Holz-Kraftwerk

Die Kohlendioxidemissionen einer Kilowattstunde Strom im deutschen Strommix sanken zwischen 1990 und 2010 um 26 % von 744 g CO₂/kWh auf 546 g CO₂/kWh (vgl. Abbildung 2.2). Wegen der unzureichenden Internalisierung externer Kosten, der mangelnden Effektivität des europäischen Emissionshandels und aufgrund der Abschaltung von deutschen Kernkraftwerken, mussten trotz des deutlichen Ausbaus der erneuerbaren Energien wieder mehr fossile Brennstoffe - insbesondere Braunkohle - eingesetzt werden, weshalb der spezifische CO₂-Emissionsfaktor in 2011 und 2012 auf 564 bzw. 576 g CO₂/kWh angestiegen ist (UBA, 2013a). Besonders in Ostdeutschland ist und bleibt der Energiemarkt auf absehbare Zeit durch den fossilen Energieträger Braunkohle bestimmt.

Obwohl für die Bereitstellung von *Prozess- und Raumwärme* (vgl. Abbildung 2.3) nahezu die Hälfte des deutschen Endenergieverbrauches aufgewendet wird (Rentzing, 2013), stagniert der Anteil der erneuerbaren Energien am Wärmeverbrauch seit mehreren Jahren bei etwa 10 % (BMUB, 2013, S. 6). Die Energieträger Erdgas und Erdöl dominieren dabei die Wärmebereitstellung. Auch Kohle wird weiterhin verwendet.

Gas- und Öl-Heizwert-Kessel dominieren mit knapp 17 Millionen Anlagen den bundesweiten Bestand der Wärmeerzeuger für Heizungsanlagen im Jahr 2012. Etwa 4 Millionen Gas-Brennwertkessel waren in diesem Zeitraum installiert⁴.

⁴Angaben nach Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik, und Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks, Zusammenstellung: Statista 2014 <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/165282/umfrage/gesamtbestand-der-zentralen-waermeerzeuger-in-deutschland> nicht messpflichtige Anlagen ausgenommen



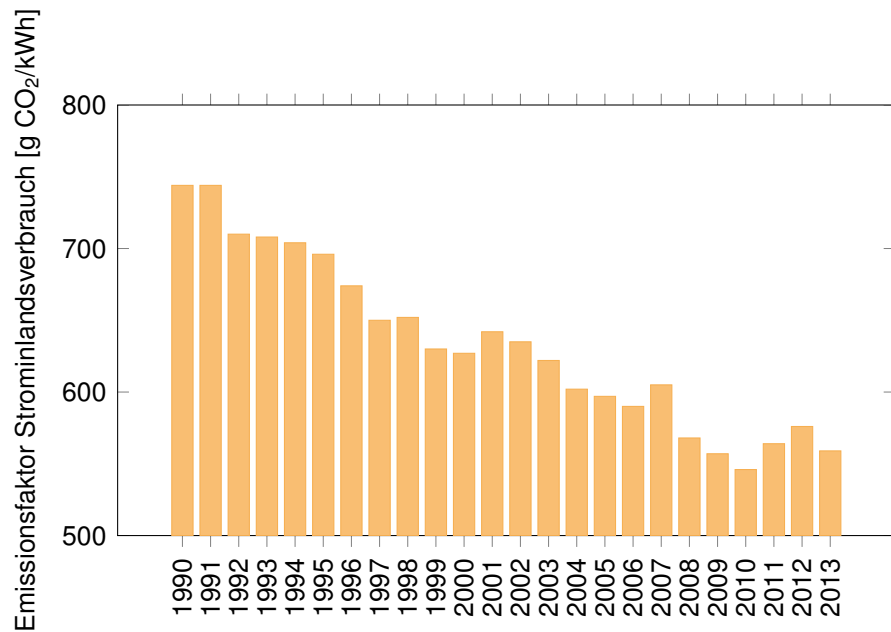


Abbildung 2.2: Entwicklung der Emissionsfaktoren im deutschen Strommix

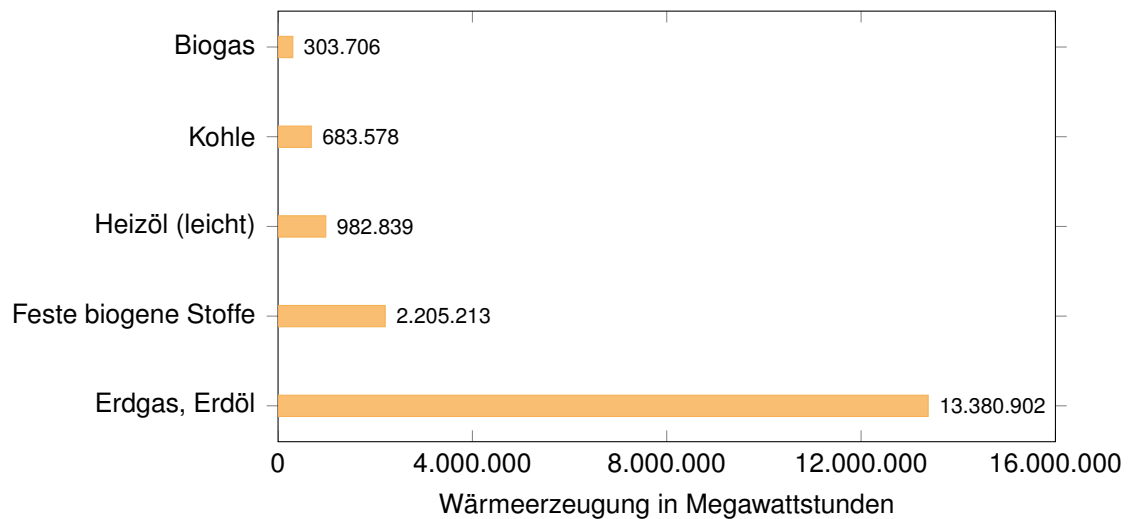


Abbildung 2.3: Nettowärmeerzeugung in Deutschland nach ausgewählten Energieträgern im Jahr 2012, angeben in Megawattstunden



Der Großteil der Öl- und Gasheizungen wurde zwischen 1991 und 1997 installiert und ist demnach älter als 15 Jahre (ZIV, 2011, S. 14). Nach der Aufhebung des Verbotes von elektrischen Nachtspeicherheizungen können etwa 1,5 Millionen Anlagen über 2019 hinaus betrieben werden (vgl. Rentzing, 2013). Die Nutzung der höchstveredelten Energieform zur Erzeugung von Wärme ist zwar energiewirtschaftlich nicht sinnvoll, aber für die Aufnahme von „Überschussstrom“ etwa aus Windkraft oder PV-Anlagen, könnten Speicherheizungen künftig eine wichtige Rolle bei der Integration erneuerbarer Energien spielen. Insgesamt 12,8 % der 38,4 Millionen Wohnungen in 2012 (BDEW, 2013a) werden bundesweit durch Fernwärme versorgt, wobei hier der Anteil in Ostdeutschland tendenziell höher ist, u. a. aufgrund der Koppelproduktion von Strom und Wärme in konventionellen Braunkohlekraftwerken. Als Brennstoffe werden aktuell Gase, Kohle und Abfälle eingesetzt (BMW, 2013). In der Abbildung 2.4 ist die Beheizungsstruktur in Deutschland mit den Anteilen der verschiedenen Energieträger in Prozent dargestellt.

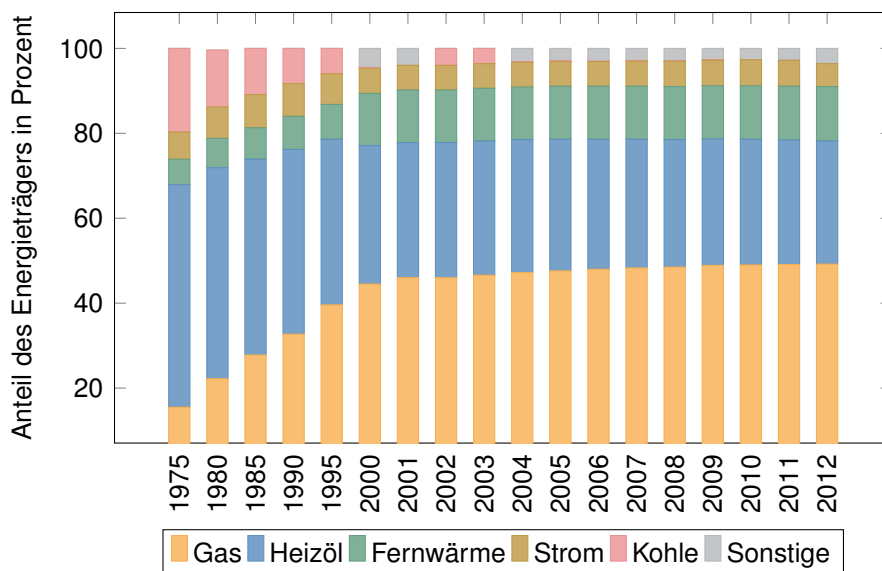


Abbildung 2.4: Beheizungsstruktur in Deutschland (BDEW, 2013b)

Neben der Kraftwärmekopplung in Biogasanlagen⁵ kommen vorwiegend feste biogene Stoffe (z. B. Scheitholz und Holzpellets) als erneuerbare Energieträger zum Einsatz. Solar Kollektoren und Wärmepumpen tragen zunehmend zur Wärmebereitstellung bei (BMUB, 2013, S. 7) - in 2012 mit etwa 9 %. Abbildung 2.5 zeigt die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien und Abbildung 2.6 die Struktur der Energiebereitstellung im Jahresvergleich 2007 und 2012.

Die anspruchsvollen klimapolitischen Ziele der Bundesregierung nach denen bis 2050 die Wärmeversorgung komplett aus ökologisch verträglichen Quellen gedeckt werden soll, kann nur erreicht werden, indem die energetische Sanierung von Bestandsgebäuden, die Erneuerung des deutschen Heizungsbestandes und die Kraft-Wärme-Kopplung vorangetrieben werden, um dort die Verschwendung von Wärmeenergie signifikant zu reduzieren.

⁵einschließlich Deponie- und Klärgas



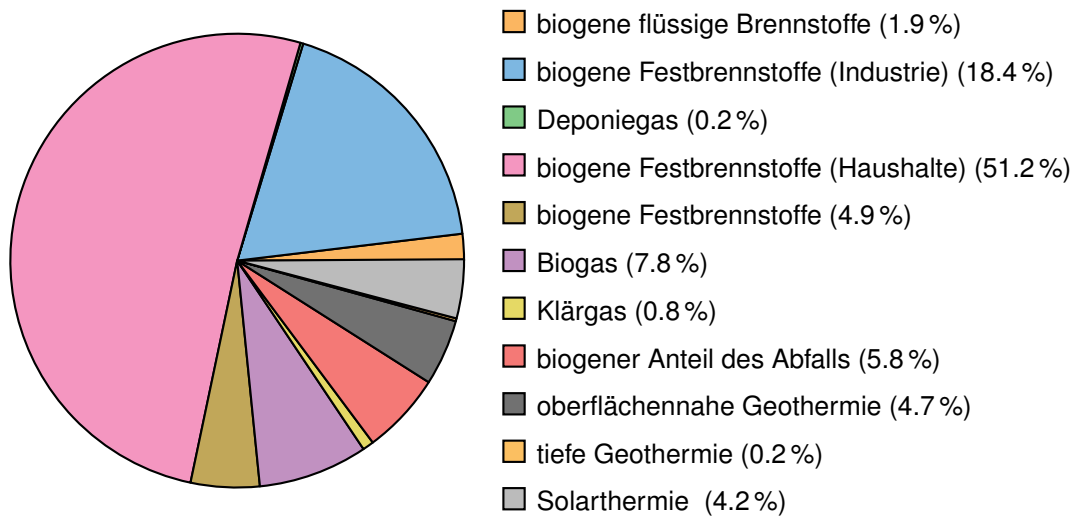


Abbildung 2.5: Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien: 144,3 TWh (BMUB, 2013, S. 7)

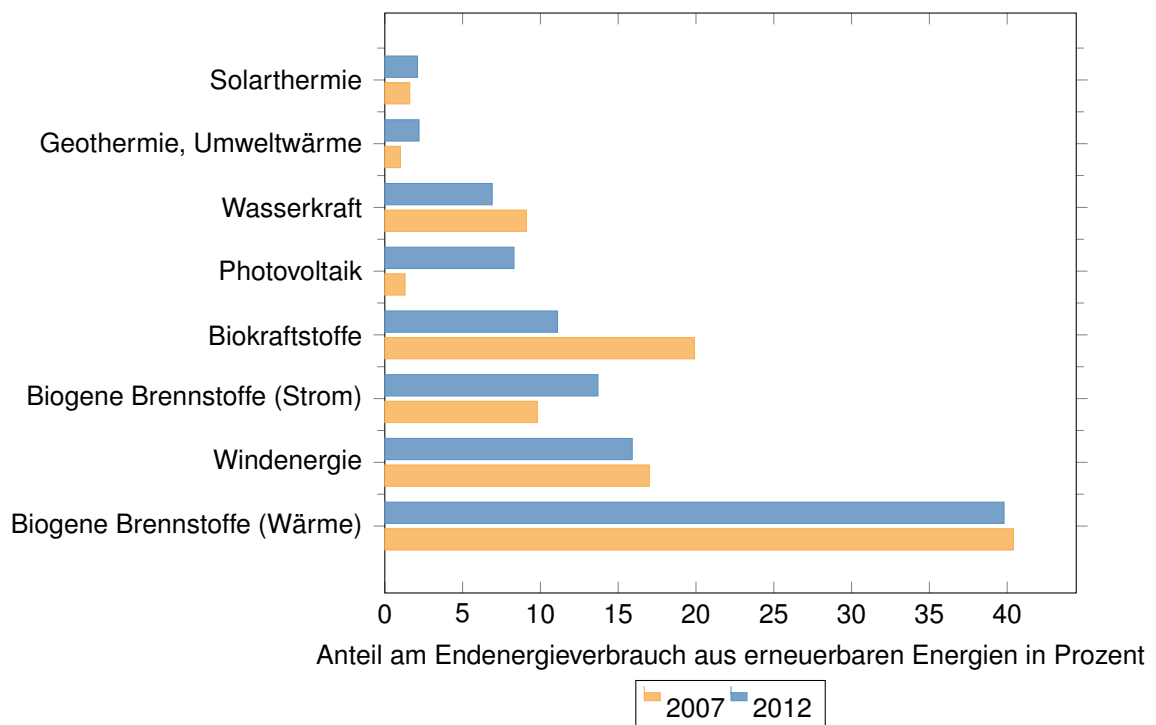


Abbildung 2.6: Struktur der Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energieträgern in Deutschland im Jahresvergleich 2007 und 2012



Mit dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) und der Energieeinsparverordnung (EnEV) wurden damit die regulativen Grundlagen gelegt. Allein der Anteil der finanziellen Förderung für die energetische Sanierung muss von den aktuellen 2.2 Mrd. EUR für das Marktanzreiz- und CO₂-Gebäudesanierungsprogramm (Rentzing, 2013, S. 64) künftig weiter erhöht werden.

Energiedaten der Stadt Zittau

Die für die Berechnung der THG-Emissionen durch den Verbrauch von Elektrizität benötigten Daten wurden aus statistischen Werten ermittelt. In Tabelle 2.2 sind die Ausgangsdaten für die Berechnung der energiebezogenen THG-Emissionen der Stadt Zittau dargestellt.

Bezogen auf die Anzahl der Einwohner liegt der Stromverbrauch in der Stadt Zittau bei 4.505,88 kWh/EW·a im Jahr 2013, während der bundesdeutsche Mittelwert für den Brutto-Inlandstromverbrauch⁶ etwa 7500 kWh/EW·a ausmacht - allerdings inklusive der Netzverluste und des Eigenverbrauches der Erzeugungsanlagen. Ein Dreipersonenhaushalt verbraucht durchschnittlich 3560 kWh/a bzw. 5030 kWh/a, wenn Warmwasser elektrisch bereitet wird⁷.

Der Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Gesamtstromproduktion in der Stadt Zittau ist in Abbildung 2.7 für die Jahre 1990 bis 2013 dargestellt. Im angegebenen Zeitraum hat sich der Anteil der erneuerbaren Energien im Untersuchungsraum deutlich erhöht. Gegenwärtig werden die erneuerbaren Energien in der Stadt Zittau von der Stromerzeugung durch Biomasse, Biogas/Biomethan, Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik dominiert.

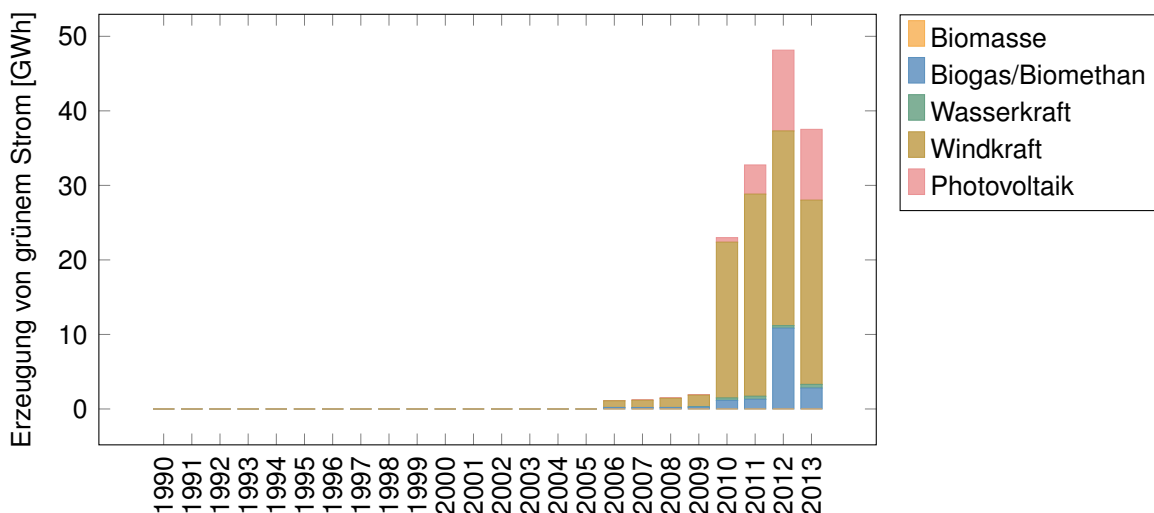


Abbildung 2.7: Anteile erneuerbarer Energien an der jährlichen Gesamtproduktion von „grünem Strom“ in der Stadt Zittau

⁶Die Angaben beziehen sich auf die Erfassung der AG Energiebilanzen zum 15.02.2012 und basieren auf der Datenquelle (BDEW, 2013a).

⁷<http://www.die-stromsparinitiative.de/stromkosten/stromverbrauch-pro-haushalt/index.html>



Tabelle 2.2: Ausgangsdaten für die Berechnung der energiebezogenen THG-Emissionen der Stadt Zittau

Jahr	Stromproduktion Erneuerbare Energien	Gesamtverbrauch Elektrizität	Anteil Erneuerbare Energien am Gesamtverbrauch
	[kWh]	[kWh]	[%]
1996	0,00	85.140.000,00	0,00
1997	0,00	87.278.000,00	0,00
1998	0,00	85.353.000,00	0,00
1999	0,00	83.537.000,00	0,00
2000	0,00	82.400.000,00	0,00
2001	0,00	83.845.000,00	0,00
2002	0,00	79.400.000,00	0,00
2003	0,00	76.200.000,00	0,00
2004	0,00	73.800.000,00	0,00
2005	0,00	72.400.000,00	0,00
2006	1.129.049,00	72.000.000,00	1,57
2007	1.213.205,00	72.100.000,00	1,68
2008	1.486.891,00	74.400.000,00	2,00
2009	1.926.101,00	70.900.000,00	2,72
2010	22.988.000,00	116.260.000,00	19,77
2011	32.738.000,00	120.613.000,00	27,14
2012	48.142.000,00	124.985.000,00	38,52
2013	37.516.000,00	121.519.000,00	30,87

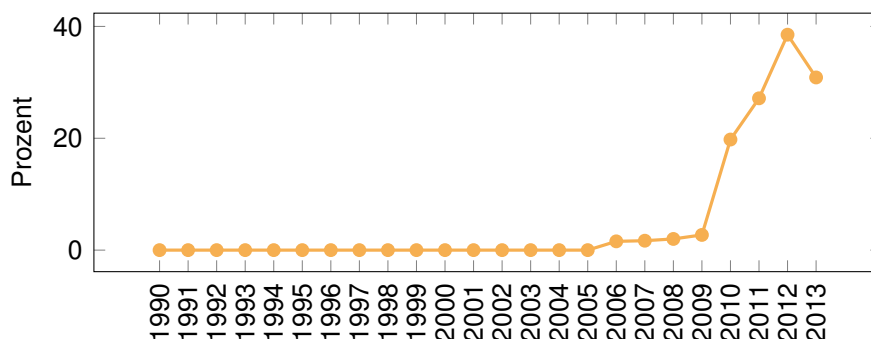


Abbildung 2.8: Prozentualer Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch



Ermittlung der elektrizitätsbezogenen THG-Emissionen

Zur Ermittlung der elektrizitätsbezogenen THG-Emissionen wurden Emissionsfaktoren für die einzelnen Energieträger nach GEMIS 4.6 (2010) herangezogen. Diese Emissionsfaktoren werden genutzt, um den potenziellen Beitrag zum Klimawandel durch die Nutzung der Energieträger zu ermitteln (Global Warming Potential – GWP-100, angegeben in CO₂-Äquivalenten). Die Werte beziehen sich auf den gesamten Lebenszyklus, d.h. alle Prozesse zur Ressourcengewinnung und Verstromung sowie Transporte und Materialvorleistungen werden mit einbezogen. Für den Stromverbrauch wurde jeweils der in diesem Jahr angesetzte Emissionsfaktor verwendet, um die potenziellen Treibhausgasemissionen zu berechnen (siehe Abbildung 2.2).

Für die Eigenproduktion von Strom aus den erneuerbaren Energien Biomasse, Biogas/Biomethan, Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik wurde ein Bonus gewährt und dieser von den Gesamtemissionen abgezogen. Auch die Erzeugung von Elektrizität aus erneuerbaren Energieträgern ist mit Emissionen verbunden, die z. B. aus der Herstellung der PV-Module oder dem Anbau von Biomasse resultieren. Es wird ferner davon ausgegangen, dass der erzeugte Strom aus erneuerbaren Energien entweder in das Niederspannungsnetz eingespeist wird und dann als „vor Ort verbraucht“ gilt, oder, dass eine Einspeisung in das Hochspannungsnetz erfolgt und damit THG-Emissionen andernorts eingespart werden können.

Der Einwohnerwert an elektrizitätsbezogenen Treibhausgasemissionen (vgl. Tabelle 2.3) beträgt im Jahr 2013 1,93 Tonnen pro Einwohner.

Ermittlung der raumwärmebezogenen THG-Emissionen

Die Erhebung von spezifischen Daten zur Wärmeversorgung in der Stadt Zittau hätte den Rahmen dieser Untersuchung weit überschritten. Daher wurden statistische Daten zum Raumwärmebedarf pro Person verwendet (BDEW, 2014; UBA, 2011). Lagen keine aktuelleren Daten vor, mussten Schätzwerte herangezogen werden.

Für die vor Ort produzierte Fernwärme wurde entsprechend der Brennstoffzusammensetzung ein Bonus berücksichtigt. Aufgrund der Nutzung statistischer Daten kann eventuelle durch erdgasbefeuerte Kessel produzierte Fernwärme nicht berücksichtigt werden. Eine gesonderte Ausweisung des Wärmebedarfes von öffentlichen Liegenschaften, Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) erfolgt nicht.

Die erhobenen Daten sind in Tabelle 2.4 abgebildet.

Für die Jahre ab 1990 wurden die Werte auf Grundlage des temperaturbereinigten Raumwärmebedarfes und auf der Basis der statistischen Angaben zur Heizungsstruktur in Deutschland ermittelt (UBA, 2011). Für den Raumwärmebedarf und die Erzeugung von Fernwärme wurden Emissionsfaktoren für Wärmeerzeugungsanlagen in Häusern (niedri-



Tabelle 2.3: Elektrizitätsbezogene THG-Emissionen der Stadt Zittau

Jahr	THG Strom gesamt [t CO ₂ -äq.]	Einwohnerwert [t CO ₂ -äq./EW]
1996	58.065,48	1,67
1997	56.992,53	1,65
1998	55.735,51	1,65
1999	52.544,77	1,58
2000	51.335,20	1,87
2001	53.996,18	1,68
2002	50.339,60	1,60
2003	48.082,20	1,54
2004	45.018,00	1,46
2005	43.946,80	1,74
2006	43.361,06	1,74
2007	44.434,80	1,51
2008	43.228,84	1,50
2009	39.606,27	1,38
2010	53.065,30	1,89
2011	50.973,86	1,85
2012	49.757,67	1,83
2013	52.077,74	1,93



Tabelle 2.4: Raumwärmebezogene THG-Emissionen der Stadt Zittau

Jahr	THG Wärme/EW (statistisch)	THG Wärme/EW (mit Fernwärmebonus)
	[t CO ₂ -äq./EW]	[t CO ₂ -äq./EW]
1990	2,53	kein Bonus
1991	2,52	kein Bonus
1992	2,51	kein Bonus
1993	2,50	kein Bonus
1994	2,50	kein Bonus
1995	2,50	kein Bonus
1996	2,48	1,78
1997	2,46	1,78
1998	2,44	1,79
1999	2,42	1,78
2000	2,40	1,64
2001	2,39	1,69
2002	2,38	1,74
2003	2,37	1,74
2004	2,36	1,73
2005	2,36	1,63
2006	2,42	1,72
2007	2,22	1,66
2008	2,35	1,79
2009	2,42	2,36
2010	2,41	2,34
2011	2,33	1,76
2012	2,39	1,80
2013	2,31	1,67



gerer Leistungsbereich) nach GEMIS 4.5 herangezogen. Industrielle Prozesswärme wird hier nicht berücksichtigt.

2.2 Sektor Verkehr

Der Verkehrs- und Transportsektor trägt weltweit mit ca. 22,65 % zu den gesamten Treibhausgasemissionen bei (IEA, 2014, S. 54). Dies ist auf die Verbrennung fossiler Rohstoffe bzw. Energieträger in Form von Treibstoffen zurückzuführen. Verdeutlicht wird dies in Abbildung 2.9, wobei unterschiedliche Verkehrsträger berücksichtigt werden.

In Deutschland hat der motorisierte Individualverkehr den größten Anteil, gefolgt vom Güterverkehr. Im Sektor Verkehr werden 31 % der Endenergie in Deutschland verbraucht, was etwa 20 % der CO₂-Emissionen entspricht. Der öffentliche und schienengebundene Nah- und Fernverkehr macht von den 20 % lediglich 0,40 % aus (BSL Transportation Consultants GmbH & Co. KG, 2013, S. 5). Insofern ist es gerechtfertigt, diesen Anteil in der Bilanz zu vernachlässigen.

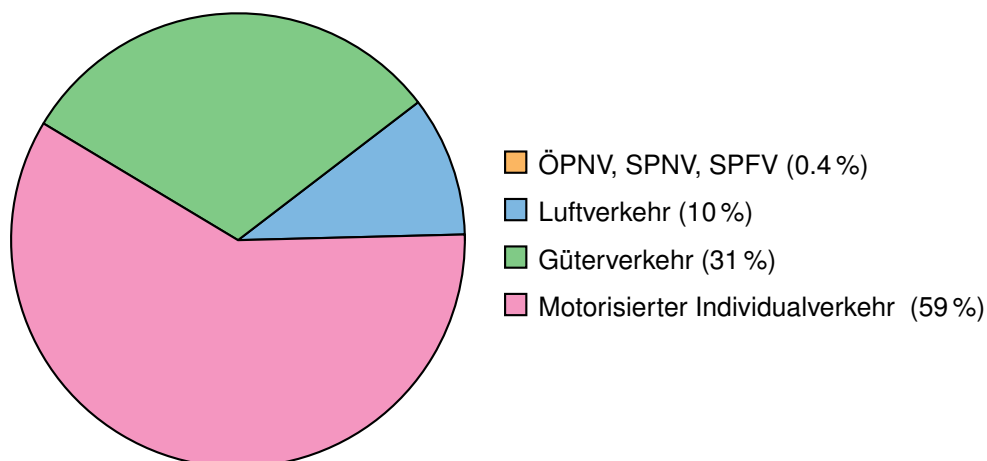


Abbildung 2.9: Verteilung der CO₂-Emissionen durch den deutschen Verkehr im Jahr 2013 nach Verkehrsträgern^a

^aNach (BSL Transportation Consultants GmbH & Co. KG, 2013, 5), Darstellung nach Statista 2013

Im motorisierten Individualverkehr nahmen die Neuzulassungen von PKW in den letzten Jahren zwar ab, befinden sich aber seit den 1990er Jahren auf dem hohen Niveau von rund 3 Millionen PKW p.a. Aufgrund der sogenannten Abwrackprämie kam es zu einem Peak im Jahr 2009, als 3,9 Millionen PKW zugelassen wurden (KBA, 2013). Sowohl die durchschnittliche Fahrleistung als auch die durchschnittlich gefahrenen Kilometer nehmen tendenziell leicht ab, wobei es regionale Unterschiede in einzelnen Bundesländern sowie zwischen Otto- und Dieselmotoren gibt. Letztere legen oft größere Strecken zurück. Im Jahr 2012 lag die durchschnittliche Fahrleistung von PKW mit Otto-Motor bei rund 11.000 km (vgl. Abbildung 2.10) und die von Diesel-PKW bei rund 21.000 km (DIW, 2013, S. 18)



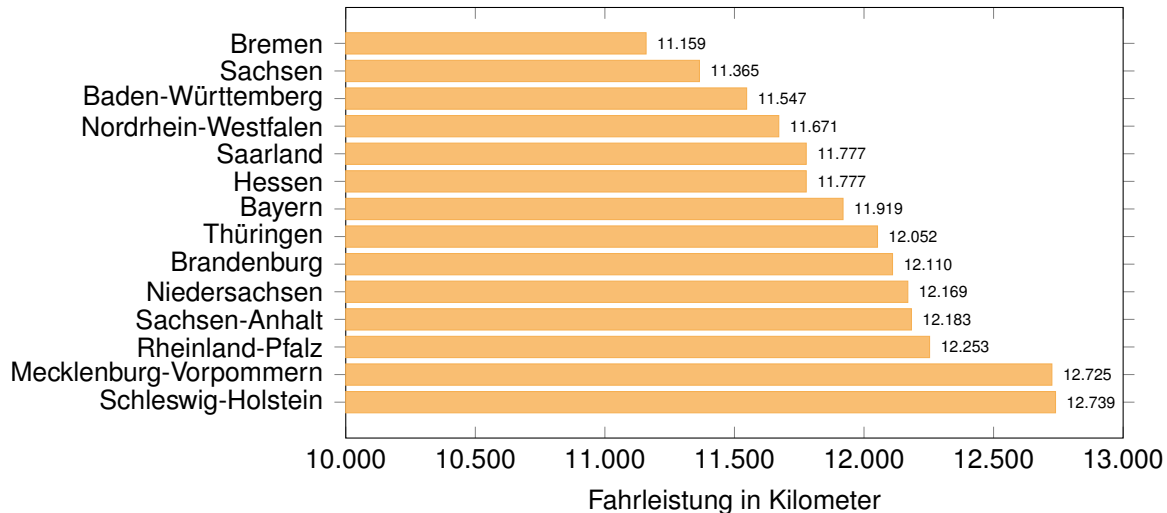


Abbildung 2.10: Durchschnittliche jährliche Fahrleistung der Personenkraftwagen mit Otto-Motor auf Basis einer Auswertung von KfZ-Versicherungsverträgen^a

^anach Toptarif 2013 und Statista 2013

Der Transport von Gütern erfolgt größtenteils auf Straßen mit LKW (71 %) oder schienengebunden per Eisenbahn (17 %). Von geringerer Bedeutung sind die Binnenschifffahrt oder die Luftfracht (vgl. Tabelle 2.5). Fluide werden auch per Rohrfernleitung transportiert, was im Rahmen dieser THG-Bilanzen keine Berücksichtigung findet.

Tabelle 2.5: Transportleistungen einzelner Verkehrsträger in Deutschland in den Jahren 2011 und 2012 (in Milliarden Tonnenkilometern)

Jahr	Straßengüterverkehr	Eisenbahnen ^a	Binnenschifffahrt	Luftfracht
2011	465,50	113,30	55,00	1,50
2012	454,40	110,10	58,50	1,40

^aNach (BGL, 2013, S. 52)

Prognosen zufolge wird die Personenverkehrsleistung in Deutschland von 2010 bis 2025 auf 1.200 Milliarden Personenkilometer tendenziell ansteigen (Gerwens, 2013). Wenn der von der Bundesregierung angestrebte Hochlauf der Elektromobilität realisiert wird und diese dann konsequent mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben wird (Stichwort: „rollende Speicher“), könnte auch die individuelle Mobilität von THG-Emissionen entkoppelt werden.

Ermittlung verkehrsbedingter THG-Emissionen der Stadt Zittau

Für den Bereich Verkehr wurde der Bestand an gemeldeten Kfz auf Basis der Regionaldaten des Sächsischen Statistischen Landesamtes herangezogen (StaLA, 2013). Daher können nur PKW, LKW, Zugmaschinen und Krafträder betrachtet werden. Es wurden Werte für die bundesweite durchschnittliche Fahrleistung (DIW, 2013) auf die Region übertragen und Emissionsfaktoren aus dem Verkehrsbilanzmodell TREMOD (IFEU, 2006)



übernommen (vgl. Tabelle 2.6). Die verkehrsbedingten THG-Emissionen, die der Stadt Zittau zuzurechnen sind, stagnieren im Zeitraum von 1999 bis 2010 auf hohem Niveau.

Tabelle 2.6: Berechnung der verkehrsbezogenen THG-Emissionen der Stadt Zittau

Jahr	Krafträder	PKW	LKW	THG Verkehr (statistisch)	THG Verkehr/EW
	[Anzahl]	[Anzahl]	[Anzahl]	[t CO ₂ -äq.]	[t CO ₂ -äq./EW]
2006	559	12.488	927	39.930,49	1,60
2007	686	13.083	842	45.971,78	1,57
2008	741	12.721	847	44.608,26	1,54
2009	767	13.052	888	46.182,03	1,61
2010	770	12.987	905	45.948,25	1,64
2011	795	12.873	902	45.626,23	1,66
2012	800	12.891	909	45.104,63	1,66
2013	802	12.625	909	44.422,38	1,65

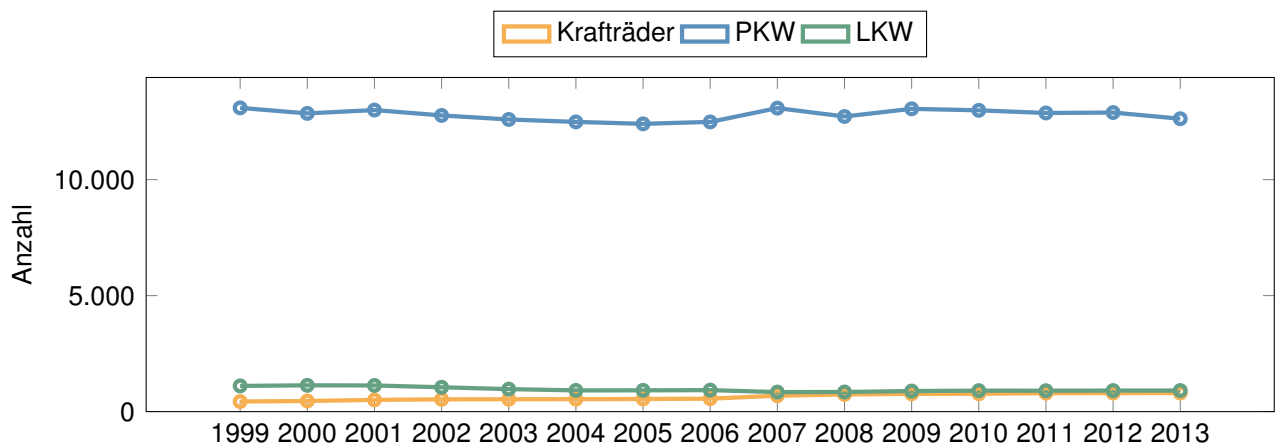


Abbildung 2.11: Zugelassene Fahrzeuge

Es ist tendenziell von Reduzierungen auszugehen, vor allem aufgrund der Effizienzsteigerungen beim motorisierten Individualverkehr und den Umstieg auf alternative Antriebe. Dagegen kann beim Güterverkehr mit Zuwächsen gerechnet werden, die hier nicht berücksichtigt sind, da vom sogenannten Inländerprinzip ausgegangen wird, indem der Durchgangsverkehr und generell in die Region kommender Verkehr nicht berücksichtigt wurde. Ebenso sind Pendlerströme nicht erfasst, weil die Jahresfahrleistung aller in der Stadt Zittau gemeldeten Fahrzeuge berücksichtigt wird, unabhängig von der Frage, wo die damit verbundenen Emissionen anfallen.

2.3 Sektor Industrie

Über den Energieverbrauch hinaus verursachen bestimmte industrielle Herstellungsprozesse sowie die Anwendung von Lösemitteln und anderen Produkten neben bestimmten



Luftschadstoffen wie SO_2 , NO_x und flüchtigen organischen Schadstoffen (NMVOC) auch THG-Emissionen. Von den gesamten 931 Millionen Tonnen CO_2 -äq. Treibhausgasemissionen, die für 2012 in Deutschland prognostiziert wurden, entfallen knapp 8 % auf industrielle Prozesse und die Anwendung von beispielsweise Lösemitteln (UBA, 2013c, S. 4). Die Hauptemissionsquelle besteht in der chemischen oder physikalischen Transformation von Rohstoffen, etwa bei der Herstellung mineralischer Produkte (v. a. Zementklinker, Kalk), der Stahl- und Eisenherstellung in Hochöfen und bei der Produktion von chemischen Grundstoffen wie Ammoniak.

Darüber hinaus werden Treibhausgase auch als Produkte genutzt und in verschiedenen Anwendungen eingesetzt. Hierzu zählen etwa die Nutzung von halogenierten Fluorkohlenwasserstoffen in Kühlschränken, in Schäumen oder in Sprühdosen. Treibhausgase wie Schwefelhexafluorid, Distickstoffmonoxid und fluorierte THG werden in der Elektro- und Halbleiterindustrie als Inert- und Prozessgase sowie in der Lebensmittelindustrie eingesetzt. Einige hiervon gelangen auch in Endprodukte (z. B. SF_6 in Sportschuhen, Distickstoffmonoxid als Narkotikum). Auch durch mangelhaftes Recycling alter FCKW-haltiger Kühlschränke werden THG freigesetzt⁸.

Für die Abschätzung der Emissionen wird unterstellt, dass es über den gesamten Lebenszyklus der verwendeten Produkte zu Freisetzungen kommt. Diese können über Massenbilanzen oder spezifische Emissionsfaktoren dargestellt werden, so dass sich Annahmen über die potenzielle Freisetzung der THG aus den hergestellten, importierten oder verwendeten Mengen ableiten lassen (Eggleston et al., 2006, S. 4). Die tatsächlichen Freisetzungen variieren mit der jeweiligen Anlagenspezifität (verwendete Technologie und technischer Stand, Handling, gesetzliche Rahmenbedingungen usw.), weshalb die Einschätzung der THG Emissionen mit recht hohen Unsicherheiten behaftet ist. Die zeitliche Entwicklung der THG-Emissionen aus industriellen Prozessen ist in Abbildung 2.12 dargestellt.

Die Zementproduktion gilt als eine der größten Quellgruppen für THG aus industriellen Prozessen. Beim Brennen des Klinkers wird prozessbedingt CO_2 emittiert⁹. Portlandzement besteht aus Kalkstein und Ton. Damit aus dem Kalkstein das Calciumoxid entsteht, muss das Kalkbrennen bei 850°C bis 900°C durchgeführt werden, was prozessbedingt zur Freisetzung von CO_2 führt. Calciumoxid wird unter weiterer Temperaturerhöhung bis auf 1.450°C zu Klinker gebrannt, der anschließend abgekühlt und gemahlen wird und unter Zugaben von Calciumsulfat und weiteren Zuschlagstoffen (z. B. Flugaschen, Hüttensande, Puzzolane) zu (Portland-)Zement weiterverarbeitet wird (UBA, 2013c, S. 270).

Zur Freisetzung von CO_2 kommt es durch den Einsatz von Kalkstein (CaCO_3) als Rohstoff. Somit ist diese direkt an die Produktionsmengen des Klinkers gekoppelt. Aus anlagenspezifischen Untersuchungen wurde für Deutschland ein Emissionsfaktor von $0,53\text{ t CO}_2/\text{t}$ Zementklinker ermittelt (UBA, 2013c, S. 270). Da die Klinker- und Zementproduktion kon-

⁸<http://www.klimaretter.info/konsum/nachricht/15806-fckw-kontrollen-sind-zu-lasch>

⁹Es entstehen aber auch andere Luftschadstoffe wie NO_x und SO_2 .



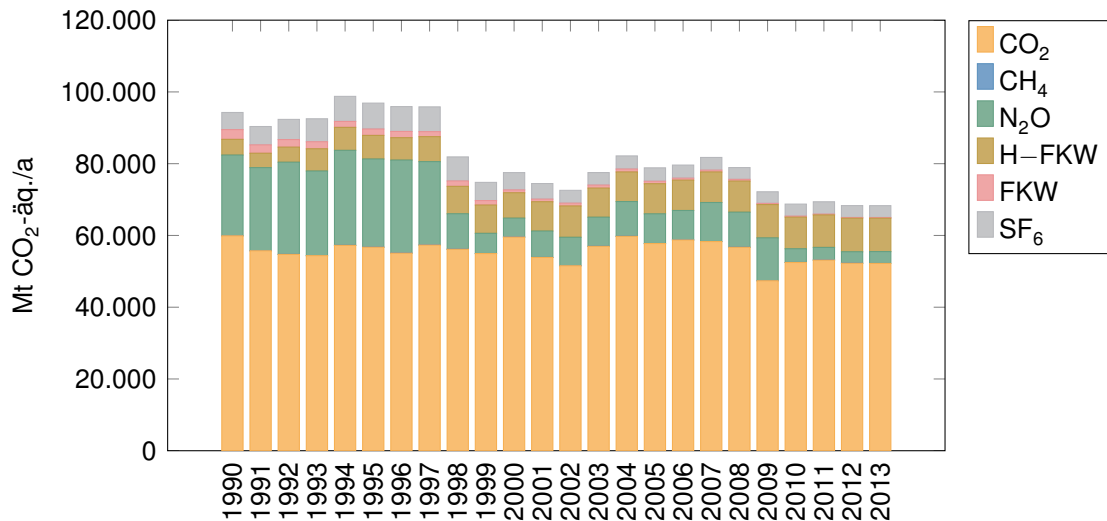


Abbildung 2.12: THG-Emissionen aus industriellen Prozessen (UBA, 2013c)

junkturrellen Schwankungen unterliegt, lassen sich die rohstoffbedingten CO₂-Emissionen nur im Größenordnungsbereich von 12.000 bis 16.000 kt/a angeben (UBA, 2013c, S. 271)(Ruppert et al., 2009).

Dagegen ist die Produktion von Brannt- und Dolomitkalk in Deutschland durch die breiten Anwendungsmöglichkeiten weniger von der wirtschaftlichen Konjunktur abhängig (UBA, 2013c). Auch hier entstehen beim Brennen des Kalksteins oder Dolomits prozessbedingt CO₂-Emissionen, die mit dem Abgas emittiert werden und von der Produktionsmenge linear abhängig sind. Für Deutschland werden für die Herstellung von Kalkstein und Dolomit Emissionsfaktoren von 0,746 t CO₂/t Branntkalk bzw. 0,867 t CO₂/t Dolomitkalk angesetzt (UBA, 2013c, S. 275). Auch die Verwendung von Kalkstein kann relevant für die Emission von THG sein, etwa bei der Glasherstellung, der Keramik- und Ziegelproduktion, der Rauchgasentschwefelung, bei der Bodenkalkung in der Land- und Forstwirtschaft oder der Eisen- und Stahlherstellung.

Bei der Herstellung von keramischen Erzeugnissen wie Dach- und Mauerziegeln werden aufgrund des Kalksteingehaltes und möglichen organischen Verunreinigungen in den Rohstoffen 28,6 kg CO₂/t Produkt freigesetzt (UBA, 2013c, S. 292). Die nicht-energetisch verursachten CO₂-Emissionen bei der Primärstahlherstellung resultieren aus dem Einsatz von kohlenstoffhaltigen Reduktionsmitteln (z. B. Koks¹⁰) und der Verwendung von Kalkstein zur Aggregation von Eisenerz in Sinteranlagen und Hochöfen, die wiederum mit spezifischen Emissionsfaktoren dargestellt werden.

¹⁰Dabei wird Koks in diesem Falle gleichzeitig als Brennstoff und Reduktionsmittel eingesetzt. Doppelzählungen in den Sektoren Industrielle Prozessemissionen und dem Sektor Energie werden in der nationalen THG-Berichterstattung vermieden (UBA, 2013c).



Ermittlung der THG-Emissionen aus industriellen Prozessen in der Stadt Zittau

Die Ermittlung der THG-Emissionen aus industriellen Prozessen kann nur durch Abschätzungen erfolgen, da eine Auswertung der spezifischen Luftemissionen anhand der Erklärungen von Unternehmen erfolgen müsste, welche unter das Bundesimmissionsschutzgesetz (z. B. 11.BImSchV, 31.BImSchV) oder das Treibhausgasemissionshandelsgesetz fallen und bestimmte Freisetzungsgrenzwerte überschreiten. Auf diesen Analyseschritt muss im Rahmen einer regionalen Treibhausgasbilanz verzichtet werden. Stattdessen wird auf Basis von Einwohnerwerten auf die im Rahmen des Kyoto-Protokolls gemeldeten Werte zurückgegriffen (Bundesrepublik Deutschland).

In der Tabelle 2.7 werden die THG-Emissionen aus Industrieprozessen sowie der Lösemittel- und Produktverwendung in den Jahren 1990 bis 2013 dargestellt.

2.4 Sektor Landwirtschaft und Landnutzung

Die durch Land- und Forstwirtschaft verursachten THG-Emissionen tragen 7,7 % zu den deutschen Gesamtemissionen im Jahr 2011 bei. Die THG stammen vor allem aus der enterischen Fermentation (Pansengärung) bei der Verdauung und den Ausscheidungen von Nutztieren auf Weide und Stall, aus der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (Gülle, Jauche, Mist) sowie der anaeroben Vergärung von Gülle in Biogasanlagen (vgl. Abbildung 2.13). Der Großteil der Emissionen stammt jedoch aus landwirtschaftlichen Böden, wenn der Stickstoff aus Düngemitteln nicht mehr gebunden werden kann und als Distickstoffmonoxid freigesetzt wird.

Die relevanten THG sind in diesem Sektor Methan (CH_4) und Distickstoffmonoxid (N_2O) (siehe Abbildung 2.14). Außerdem kann es zur Freisetzung von Stickstoff (N_2), Ammoniak (NH_3) und Stickstoffmonoxid (NO) kommen. Ammoniak- und Stickoxid-Emissionen, vor allem aus der Intensivtierhaltung und Gülleausbringung, führen zur Nitratbelastung des Trink- und Grundwassers, zur Versauerung von Gewässern und Böden, tragen zur Nährstoffanreicherung (Eutrophierung) bei und führen mithin zur Verminderung der Artenvielfalt in früher nährstoffarmen Habitaten (IFEU, 2013, S. 7). Diese Umwelteffekte sind aber bei der Betrachtung der Klimawandelfolgen nicht von Bedeutung.

Fermentation bei der Verdauung

Besonders Milchkühe sind aufgrund der hohen Bestandszahlen, den hohen Tiergewichten und der hohen Leistung und der damit gekoppelten Nahrungs- und Energieaufnahme eine wichtige Emissionsquelle im Bereich der Landwirtschaft. Insbesondere Methan (CH_4) verursacht ein etwa 25-mal höheren Beitrag zum Klimawandel (nach IPCC, 2007, bezogen auf das GWP100) als CO_2 . Methan entsteht durch die mikrobielle Umsetzung im Verdauungstrakt von Rindern (insbesondere Milchkühe), Schweinen, Schafen, Ziegen, Pferden, Eseln und Maultieren sowie Büffeln. Die Methanemissionen in Deutschland sind im Zeitraum 1990 bis 2011 bereits um 30 % gefallen, was auf die abnehmenden Tierzahlen, aber auch die bessere Verdaulichkeit des Futters zurückzuführen ist. Es kam allerdings



Tabelle 2.7: THG-Emissionen aus Industrieprozessen und der Lösemittel- und Produktverwendung für die Stadt Zittau auf Basis bundesdeutscher Datensätze

Jahr	Industrieprozesse							Lösemittel- und Produktverwendung		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	H-FKW	FKW	SF ₆	pro Kopf	CO ₂	N ₂ O	pro Kopf
	[t CO ₂ -äq.]							[t CO ₂ -äq./EW]		
1990	25.884,84	1,73	9.727,56	1.888,12	1.170,30	2.067,90	1,18	1.102,88	831,91	0,06
1991	27.461,94	1,48	11.416,48	1.978,64	1.149,73	2.522,21	1,13	1.229,57	907,76	0,05
1992	25.782,40	1,41	12.107,15	1.976,16	990,43	2.654,67	1,14	1.129,91	828,82	0,05
1993	24.751,68	0,91	10.741,45	2.817,16	893,22	2.915,95	1,14	1.091,72	763,02	0,05
1994	25.472,17	0,89	11.786,14	2.847,85	735,21	3.112,20	1,21	869,62	708,96	0,04
1995	20.509,57	2,17	8.888,58	2.375,54	643,60	2.610,93	1,18	738,70	545,98	0,04
1996	23.384,93	2,55	11.015,14	2.644,33	738,05	2.943,71	1,17	867,15	606,83	0,04
1997	24.122,88	2,53	9.783,65	2.928,19	588,33	2.905,89	1,17	883,34	566,87	0,04
1998	23.170,17	2,48	4.077,35	3.150,64	621,38	2.766,51	1,00	889,16	521,94	0,04
1999	22.306,67	2,44	2.285,71	3.198,21	506,99	2.057,99	0,91	804,52	480,20	0,04
2000	19.870,94	2,00	1.763,85	2.358,25	264,33	1.610,66	0,94	603,41	367,46	0,04
2001	20.940,44	1,94	2.861,54	3.174,09	281,45	1.689,48	0,90	646,09	398,46	0,03
2002	19.709,17	1,91	3.034,12	3.334,63	301,65	1.364,90	0,88	615,92	333,77	0,03
2003	21.556,45	1,89	3.071,06	3.066,14	320,50	1.320,22	0,94	585,00	272,82	0,03
2004	22.387,81	1,87	3.630,26	3.090,73	304,99	1.370,58	1,00	609,23	213,57	0,03
2005	17.705,24	1,53	2.537,82	2.571,85	213,09	1.144,27	0,96	501,00	128,16	0,02
2006	17.829,37	1,52	2.493,54	2.565,78	166,94	1.108,81	0,97	498,71	130,82	0,03
2007	20.819,10	2,14	3.882,07	3.042,16	179,98	1.263,43	0,99	555,30	140,70	0,02
2008	19.987,44	1,76	3.449,33	3.052,76	169,91	1.159,06	0,96	518,55	120,21	0,02
2009	16.584,83	1,40	4.185,07	3.245,06	119,38	11.325,66	1,24	458,98	110,28	0,02
2010	17.974,50	1,71	1.310,42	3.014,82	97,64	1.150,09	0,84	542,33	102,44	0,02
2011	18.184,40	1,71	1.209,99	3.097,02	78,73	1.178,84	0,86	515,49	98,58	0,02
2012	17.641,76	1,69	1.082,26	3.155,96	70,58	1.116,71	0,85	484,91	87,12	0,02
2013	17.427,36	0,00	1.101,73	3.104,87	66,77	1.101,73	0,85	467,40	100,16	0,02



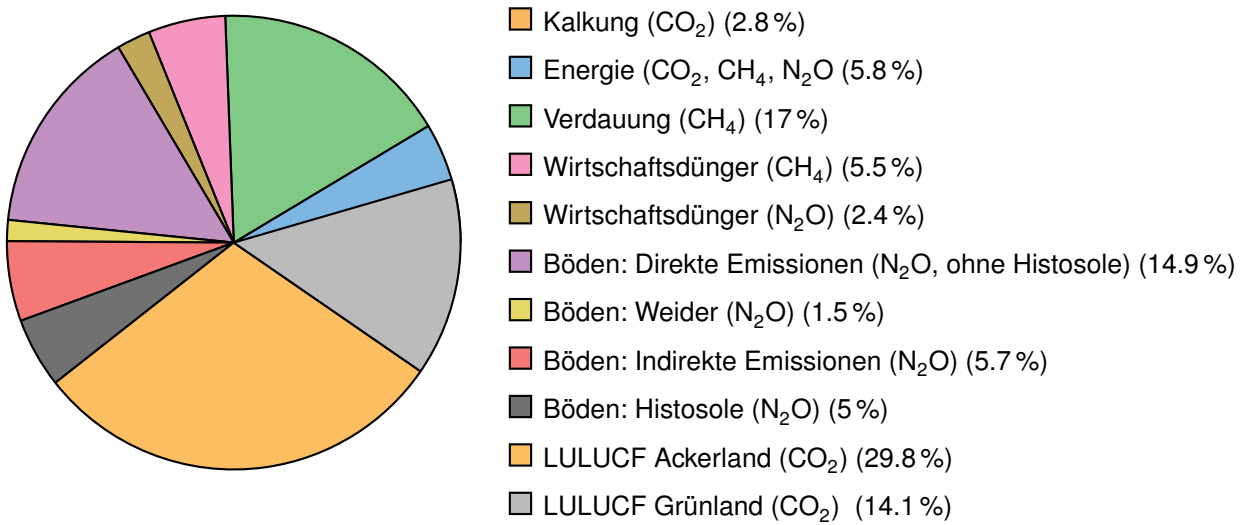


Abbildung 2.13: THG-Emissionen des deutschen Agrarsektors^a

^anach (Osterburg et al., 2013)

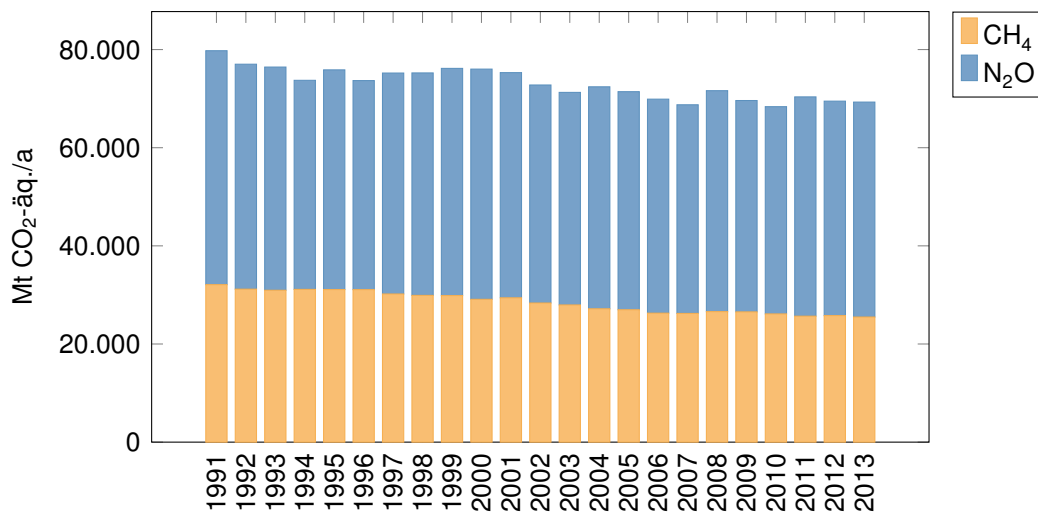


Abbildung 2.14: Methan und Distickstoffoxid-Emissionen aus dem Sektor Landwirtschaft (UBA, 2013b)



teilweise zu Reboundeffekten durch zunehmendes Tiergewicht und höhere Milchleistung. In diesem Teilssektor wurden zwischen 25 und 27 kt CO₂-äq. emittiert (UBA, 2013b,c).

Die Abschätzung der Emissionen kann über die Bestands- bzw. Platzzahlen und artspezifischen Emissionsfaktoren erfolgen. Für die CH₄-Emissionen aus der Verdauung bei Milchkühen wird in Deutschland ein Emissionsfaktor von 132 kg/Platz·a angegeben, ein im Gegensatz zu anderen europäischen Ländern recht hoher Wert (Polen: 97 kg/Platz·a; Frankreich 119 kg/Platz·a; UK 111 kg/Platz·a; Niederlande: 128 kg/Platz·a)¹¹.

Die Beeinflussung der THG-Emissionen aus Verdauung kann durch bestimmte Fütterungsstrategien unterstützt werden, indem etwa besonders energiereiche Futtermittel eingesetzt werden, um eine hohe Milchleistung zu erzielen. Allerdings stehen Hochleistungstiere unter anderem bezüglich Tierwohl und Medikamenteneinsatz in der Kritik, so dass auch organisatorische Maßnahmen (Abdeckung von Lagern, Biogasgewinnung, Ausbringungstechniken und –zeitpunkte) in betriebsspezifische Klimastrategien einbezogen werden können (vgl. Paulsen, 2013).

Wirtschaftsdünger-Management

Methanogene Bakterien zersetzen Biomasse unter anaeroben Bedingungen, wie sie etwa bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern im Stall oder im Lager auftreten. Dabei wird Methan, aber auch Lachgas (N₂O) und Stickstoffmonoxid (NO) freigesetzt, wenn es zu Nitrifikations- und Denitrifikationsprozessen kommt. Letztlich werden die spezifischen Emissionspotenziale durch Tierrassen, deren Ausscheidungen, die Leistung sowie Ernährung, die Aufenthaltszeiten auf der Weide oder im Stall, der Stalltyp und die etwaigen Stickstoffeinträge durch Stroheinsatz sowie den Lagerungstyp bestimmt (UBA, 2013c, S. 439), (Eggleston et al., 2006).

Die potenziellen Emissionen werden entsprechend über tierartspezifische Emissionsfaktoren ermittelt, wobei der Effekt bestimmter Wirtschaftsdünger-Managementsysteme¹² und geographischer Faktoren (z. B. Klimaregion) berücksichtigt werden muss. Bei Milchkühen beträgt der im Jahr 2010 verwendete Emissionsfaktor¹³ 20,98 kg CH₄/Platz·a und für sonstige Rinder 8,33 kg CH₄/Platz·a. Bei Schweinen liegt der Wert bei 3,51 kg CH₄/Platz·a. Bei Geflügel ist der Effekt des Wirtschaftsdünger-Managements mit 0,04 kg CH₄/Platz·a fast vernachlässigbar.

Immerhin fast 20 % der gesamten Methanemissionen des Sektors im Größenordnungsreich von 240.000 bis 280.000 t/a, sind auf den Umgang mit Wirtschaftsdüngern zurückzuführen (UBA, 2013c, S. 441-443, Tab. 191 bezogen auf das Jahr 2010). Der Rückgang der Emissionen um fast 26 % zwischen 1990 und 2011 kann mit den abnehmenden Tierbeständen nach 1990 sowie mit der zunehmenden Güllevergärung zur Biomasseproduktion

¹¹Was neben der Milchleistung und Gesamtenergieaufnahme auch auf Unterschiede in den Modellrechnungen zurückzuführen sein dürfte.

¹²Fest- oder Flüssigmist, güllenbasiertes oder strohbasiertes Wirtschaftsdüngersystem

¹³IEF steht für „Implied Emission Factor“ (UBA, 2013c, S. 441 ff.).



erklärt werden. Durch die Vergärung von Gülle konnten im Vergleich zum konventionellen Wirtschaftsdüngermanagement 13,2 % CH₄- und N₂O-Emissionen eingespart werden. Den größten Beitrag zu den Methanemissionen bringt die Rinderhaltung (etwa zwei Drittel), gefolgt von der Schweinehaltung (etwa ein Drittel) – andere Tierrassen tragen nur einen geringen Anteil (UBA, 2013c, S. 442), (UBA, 2013c, S. 451). Die Abbildung 2.15 zeigt dabei den zeitlichen Verlauf der CH₄- und N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden infolge des Wirtschaftsdüngermanagements.

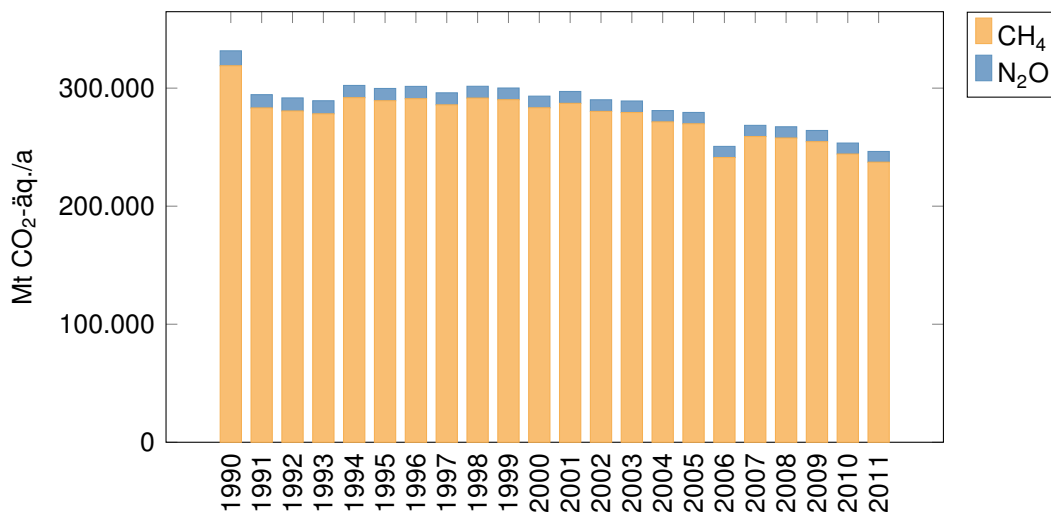


Abbildung 2.15: Emissionen aus Landwirtschaftlichen Böden (UBA, 2013b)

Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden

Die mikrobiellen Prozesse der Nitrifikation und Denitrifikation haben die Bildung von Distickstoffoxid bzw. Lachgas (N₂O) zur Folge. Die Emissionen aus Böden sanken bis 2011 um 12,4 % im Vergleich zu 1990, dennoch machen sie mit knapp 94 % den Hauptteil der landwirtschaftlichen N₂O-Emissionen aus. Direkte Lachgas-Emissionen entstehen durch die Ausbringung von Gülle, Jauche, Mist sowie von Klärschlamm und Mineraldüngern auf Feldern, aber auch durch den Weidegang oder aufgrund der biologischen N-Fixierung insbesondere durch Leguminosen oder durch Ernterückstände.

Die Emissionen verhalten sich proportional zur ausgebrachten Stickstoffmenge¹⁴, so dass über die auf Länderebene erfassten Verkaufsmengen von Mineraldüngern und über Informationen zu N-Mengen, die nach der Ausbringung von Wirtschaftsdünger im Boden verbleiben, Abschätzungen getroffen werden können. Einbezogen werden auch die Angaben aus der amtlichen Abfallstatistik zu Wirtschaftsdüngerimporten und –exporten. Die Ausbringung von Klärschlämmen wird in Deutschland durch das Umweltbundesamt und das statistische Bundesamt erfasst. Der Emissionsfaktor für Wirtschaftsdünger und Klärschlämme wird mit 0,0125 kg/kg N₂O-N angesetzt (UBA, 2013c, S. 458). Über die Betrachtung der Dauer des Weideganges und der gesamten N-Ausscheidung, kann ein

¹⁴abzüglich der Stickstoffverluste durch NH₃- und NO-Emissionen



N_2O -Emissionsfaktor abgeleitet werden, der 0,02 kg/kg N beträgt und für alle Tierarten gleich angesetzt wird (Eggleston et al., 1996).

Die Einbeziehung der Lachgasemissionen durch biologische N-Fixierung kann gelingen, wenn die Anbauflächen der Feldfrüchte und deren spezifische Fixierungsleistungen bekannt sind. Ernterückstände, also Pflanzenteile die nach Ernte und Strohentnahme im Boden zurückbleiben, werden mikrobiologisch umgebaut, wobei der Stickstoff als wichtiger Pflanzennährstoff im Boden verbleibt. Er wird freigesetzt, wenn die N-Bindungspotenziale der Bodenmatrix ausgeschöpft sind. Die rechnerische Behandlung erfolgt analog der Vorgehensweise bei Wirtschaftsdüngern und Klärschlämmen. Indirekte N_2O -Emissionen ergeben sich infolge der Deposition reaktiven Stickstoffs, der Auswaschung sowie des Oberflächenabflusses (UBA, 2013c, S. 457 ff.).

Landnutzung und Landnutzungsänderungen¹⁵

Böden und die darauf anzutreffende Vegetation haben im komplexen Kohlenstoffkreislauf und somit im globalen Klimasystem eine regulierende Funktion. Im Allgemeinen besitzen Pflanzen, besonders mehrjährige Pflanzen wie sie in Waldökosystemen oder in Feuchtgebieten (Torfgebiete und Moore) zu finden sind, eine CO_2 -Bindungsfunktion, da beim Aufbau von Biomasse (bzw. Phytomasse auf Ackerland, Grünland oder bei Gehölzen) aus der Atmosphäre Kohlenstoffe entnommen werden. Diese Landschaften dürfen unter bestimmten Voraussetzungen als CO_2 -Senken gelten. Auch in Totholz und in Böden können Kohlenstoffe durch langfristige Mineralisierungsprozesse gebunden werden.

Wenn jedoch die Nutzung intensiver wird, kann sich der Kohlenstoff-Speicher auch in eine Quelle wandeln und es kann zu verstärkenden Effekten auf den Klimawandel kommen. Werden etwa Wälder abgeholzt oder organische Böden entwässert („Drainage“), um die Fläche für landwirtschaftliche Zwecke zu nutzen, kann dies auch aufgrund des Humusverlustes zu teils erheblichen THG-Emissionen führen (2011: 207.000 t CO_2 -äq./a in Deutschland) (UBA, 2013c, S. 548). Landnutzungsänderungen sollten deshalb aus Perspektive des Klimaschutzes besonders berücksichtigt werden. Die bei Waldbränden emittierten THG (CH_4 , N_2O) werden in den nationalen Daten berücksichtigt.

Aufforstungsprojekte wirken sich positiv auf die Klimabilanz aus, wenn dauerhaft mehr Kohlenstoffe gebunden als durch anderweitige Landnutzungsänderungen freigesetzt werden. In diesem Zusammenhang wird von einem Kohlenstoffpool gesprochen, wenn die spezifischen Ausprägungen und die Änderungen von Landnutzungen als Gleichgewichtsmodell betrachtet werden. Es ist demnach möglich, den Zuwachs von Wald und die Holzernnten gegenüberzustellen, wobei davon ausgegangen werden kann, dass geerntetes Holz abgebaut und das gebundene CO_2 wieder freigesetzt wird. In den Modellen (Eggleston et al., 2006) zeigt sich, dass es bei der Reduktion von Waldflächen, bei fehlender oder

¹⁵vgl. <http://www.umweltbundesamt.de/daten/klimawandel/treibhausgas-emissionen-in-deutschland/emissionen-der-landnutzung-aenderung>



unzureichender Aufforstung sowie intensiver Bewirtschaftung zu einer Abnahme des langfristigen Kohlenstoffsenkungspotenzials kommt (UBA, 2013c).

Ein großer Teil der THG-Emissionen im Ackerbau resultiert aus der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung von Mooren und Feuchtgebieten (2011: 25.289.000 t CO₂ in Deutschland) (UBA, 2013c, S. 548). Reduzierungsmöglichkeiten ergeben sich durch die Beförderung umweltfreundlicher Bewirtschaftungsformen, die Einbringung organischer Substanz in Form von Wirtschaftsdüngern in den Ackerboden oder die Verringerung der Bodenbearbeitung.

Insgesamt fällt der Anteil an den gesamten THG-Emissionen in diesem Sektor mit 0,03 % an dem gesamtdeutschen THG-Emissionen (vgl. Abbildung 2.16) sehr gering aus. Die Emissionen entstehen darüber hinaus vorwiegend bei biologischen Prozessen, die sich einer Steuerbarkeit entziehen. Der Schutz bestimmter Landschaften und Biotoptypen sowie die Förderung umweltverträglicher Landwirtschaft bleibt dennoch aus Gründen des Schutzes der Biodiversität und des Grundwasserschutzes von Belang.

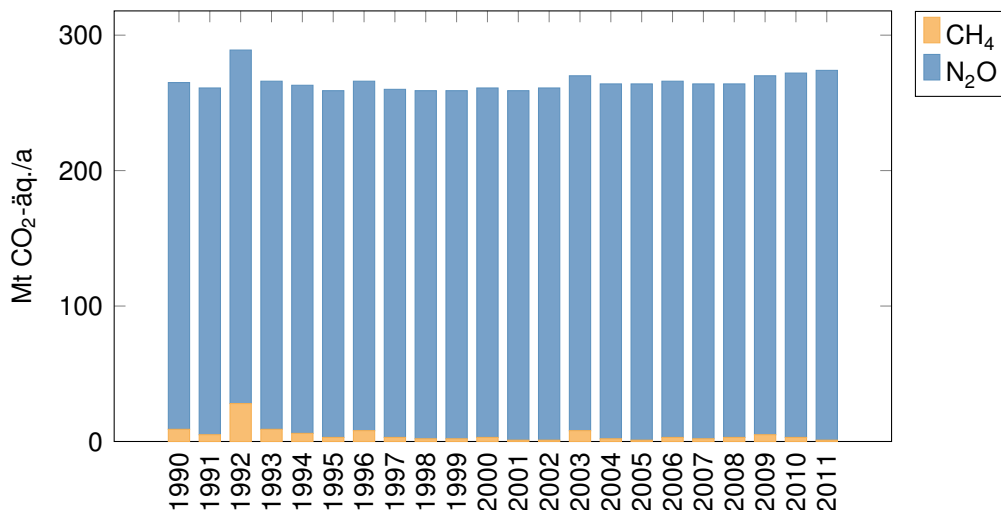


Abbildung 2.16: Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (UBA, 2013b)

Für die Ermittlung der THG-Emissionen dienen die statistischen Erhebungen der Landnutzungen ("Landnutzungsmatrix", Amtlich Topografisch-Kartographisches Informationssystem ATKIS®, CORINE Landnutzungsdaten u. a.) als Ausgangsbasis der Modellierung. Aus diesen Quellen lassen sich Flächen mit spezifischen Nutzungsarten identifizieren. Die THG-Emissionen, die aus der Landnutzung und aus Landnutzungsänderungen resultieren, bewegen sich bundesweit stabil im Bereich von 260 bis 290 kt CO₂-äq. pro Jahr.

Aggregierte Quellen: Kalkung und Ausbringung von Mineraldüngern

Unter aggregierten Quellen werden die THG-Emissionen zusammengefasst, die infolge der Kalkung auf Waldflächen und Kulturland (hauptsächlich zur pH-Einstellung) sowie aus der Verwendung von mineralischen Düngemitteln auf landwirtschaftlichen Flächen



resultieren. Die THG-Emissionen, die auf die Herstellung von Kalk zurückzuführen sind, werden im Sektor industrielle Prozesse verrechnet.

Das Ausbringen von Kalk erfolgt mit dem Ziel, den pH-Wert in Böden zu erhöhen, damit der Versauerung entgegenzuwirken und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Die Kalkungen sind in Deutschland in den letzten Jahren rückläufig und die resultierenden CO₂-Emissionen bewegen sich um die 65.000 t/a in Wäldern und 1.776.000 t/a auf Ackerflächen (vgl. UBA, 2013c, S. 524, S. 548). Daten hierfür werden aus den amtlichen Statistiken zur Düngemittelverwendung entnommen, wobei unterstellt wird, dass die Abgabemenge p.a. auch ausgebracht wurde.

Aus der Mineraldüngeranwendung können direkte N₂O-Emissionen resultieren, wenn der Stickstoff nicht in zureichendem Maße gebunden wird. Eine Erhebung kann wiederum aus den statistischen Daten zur Mineraldüngerausbringung erfolgen, zu deren Angabe die deutsche Düngemittelwirtschaft verpflichtet ist.

Ermittlung THG-Emissionen aus der Land- und Forstwirtschaft für die Stadt Zittau

Für eine möglichst genaue Ermittlung der THG-Emissionen aus der Land- und Forstwirtschaft ist aus amtlichen Statistiken die Anzahl der Nutztiere¹⁶ zu eruieren.

Mit den entsprechenden Emissionsfaktoren kann die Emission von THG pro Haltungsplatz und Jahr ermittelt werden. Liegen diese Befunde nicht vor, können statistische Daten aus dem nationalen Treibhausgasinventar ermittelt werden.

Tabelle 2.8 weist die Emissionen aus der Landwirtschaft für die Stadt Zittau auf Basis bundesdeutscher Datensätze auf der Basis statistischer Datensätze (Bundesrepublik Deutschland) aus.

Die Emissionen aus den Landnutzungsänderungen sind für Deutschland in aller Regel geringfügig und zu vernachlässigen.

2.5 Sektor Abfall

Laut IPCC zählen Deponien, die Verwertung von biologischen Abfällen (Kompostierung), die Müllverbrennung sowie Abwasserentsorgung zum Sektor Abfall (vgl. Eggleston et al., 2006).

Siedlungs-, Bio- und Grünlandabfälle

Da in Deutschland eine geordnete Abfallbehandlung bzw. Deponierung vorgeschrieben ist, wird die „wilde“ Deponierung nicht weiter berücksichtigt. Entsprechend der TAsi (Technische Anleitung Siedlungsabfall) und anderen Regelungen der Abfallwirtschaft dürfen auf Siedlungsabfalldeponien keine unbehandelten Abfälle mehr entsorgt werden. Durch die Be-

¹⁶Milchkühe, Rinder, Büffel, Schafe, Ziegen, Kamele, Pferde, Esel und Maultiere, Schweine



Tabelle 2.8: Übersicht zu THG-Emissionen aus der Landwirtschaft für die Stadt Zittau auf Basis bundesdeutscher Datensätze

Jahr	CH ₄	N ₂ O	Summe pro Kopf
	[t CO ₂ -äq.]	[t CO ₂ -äq.]	[t CO ₂ -äq./EW]
1990	0,00	22.344,12	0,65
1991	15.816,30	23.494,80	0,99
1992	14.691,14	21.599,21	0,95
1993	14.092,63	20.707,13	0,94
1994	13.854,71	18.961,16	0,90
1995	11.242,43	16.188,76	0,93
1996	13.197,02	19.114,17	0,93
1997	12.707,22	18.948,25	0,92
1998	12.340,15	18.705,38	0,92
1999	12.123,07	18.795,50	0,93
2000	9.714,70	15.657,06	0,92
2001	11.433,72	17.839,82	0,91
2002	10.841,55	16.985,50	0,88
2003	10.579,94	16.390,21	0,86
2004	10.181,90	16.950,47	0,88
2005	8.272,67	13.626,40	0,87
2006	7.979,64	13.236,57	0,85
2007	9.367,88	15.183,66	0,84
2008	9.376,12	15.872,21	0,87
2009	9.293,35	15.079,76	0,85
2010	8.952,30	14.469,08	0,84
2011	8.788,59	15.294,80	0,88
2012	8.707,76	14.757,97	0,86
2013	8.513,36	14.622,95	0,86



grenzung des zulässigen organischen Anteils auf max. 3-5 % auf Siedlungsabfalldeponien, wird die Entstehung von Methan bei Abbauprozessen stark vermindert.

In Deutschland werden Siedlungsabfälle mit dem Ziel der Kreislaufführung bzw. Weiterverwendung getrennt erfasst und (stofflich oder energetisch) verwertet. Dadurch konnte die anfallende Menge des zu deponierenden Abfalls sehr stark reduziert werden, was sich zwangsläufig auf das Methanbildungspotenzial auswirkt. Das klimawirksame Methan stammt demnach aus Altdeponien. Dieses führte, auch Dank der vorgeschriebenen technischen Maßnahmen zur Erfassung und Behandlung des Deponiegases (z. B. in BHKW), zu einer Reduzierung der Methanemission aus Deponien von 1,8 Mio Tonnen in 1990 auf 0,5 Mio Tonnen im Jahr 2011 und damit zu einer Senkung der gesamtdeutschen THG-Emissionen um 3 % (UBA, 2013c, S. 599).

Mit der künftig zu erwartenden Minderung der CH_4 -Bildung in Altdeponien werden sich die THG-Emissionen in diesem Bereich auf niedrigem Niveau stabilisieren (UBA, 2013c, S. 598). Um allerdings die Methanbildung in Siedlungsabfalldeponien zu reduzieren, sind Vorbehandlungen der Abfallfraktionen notwendig, die entweder über thermische Verfahren (Müllverbrennung)¹⁷ oder über eine Mechanisch-Biologische Abfallbehandlung (MBA) erfolgen. Abbildung 2.17 zeigt die THG-Emissionen für den Sektor Abfall.

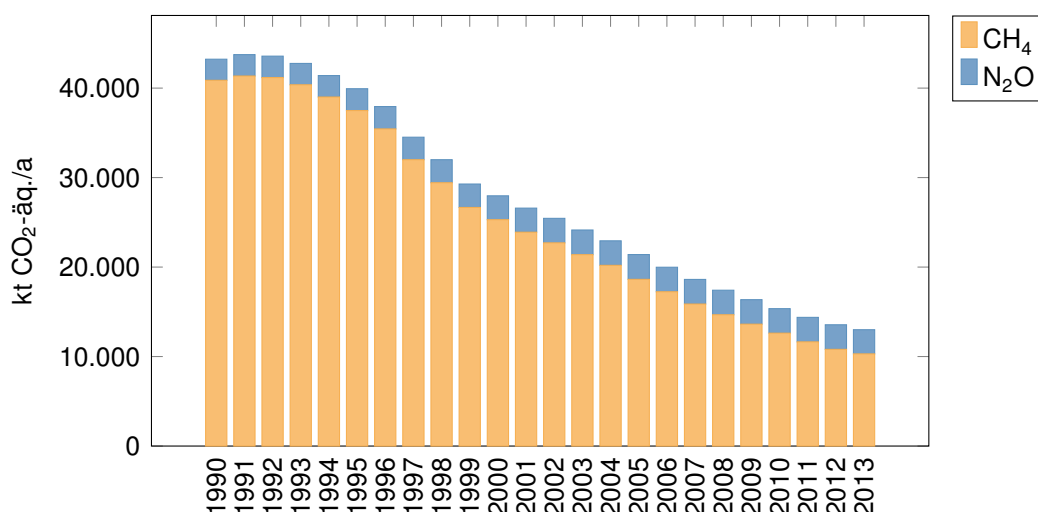


Abbildung 2.17: Entwicklung der gesamtdeutschen THG-Emissionen im Sektor Abfallwirtschaft

Bei der alternativen Kompostierung und Mechanisch-Biologischen Abfallbehandlung (MBA) von Siedlungsabfällen und Bioabfällen, u. a. aus der Landschaftspflege (z. B. Garten- und Parkabfälle), müssen die dadurch verursachten CH_4 -Emissionen und vor allem auch N_2O -Emissionen (Harborth et al., 2013) berücksichtigt werden. Es wird erwartet, dass die Bedeutung dieser Abfälle zukünftig steigt. Die Emissionsfaktoren sind in Tabelle 2.9 dargestellt.

¹⁷Dabei anfallende THG-Emissionen werden im Sektor Energie berücksichtigt.



Tabelle 2.9: Emissionsfaktoren für die Kompostierung von Bioabfall aus Haushalten und Grünabfälle^a

Quelle	CH ₄ -Emissionen	N ₂ O-Emissionen
	[kg CH ₄ /Mg]	[g N ₂ O/Mg]
Bioabfall	2,5	83
Grünabfall	3,36	60,3

^a(Döhler, 2003), (IFEU, 2002) nach (UBA, 2013c, 621)

Bei der MBA-Vorbehandlung von Siedlungsabfällen dominieren eher einfache technische Konzepte, bei denen Abgase zumeist nicht erfasst und/oder behandelt werden. Durch technische Weiterentwicklung und durch die Anwendung von Abgasreinigungsverfahren (z. B. Biofilter) konnten die Geruchsemissionen deutlich reduziert werden. Es kam auch zu einer Minderung der THG-Emissionen, da die MBA-Anlagen seit 2005 strengere Anforderungen der 30.BImSchV zu erfüllen haben. Die Emissionsfaktoren für MBA-Anlagen sind in Tabelle 2.10 abgebildet.

Tabelle 2.10: Emissionsfaktoren für MBA-Anlagen^a

MBA-Anlagentyp	CH ₄ -Emissionen	N ₂ O-Emissionen
	[g CH ₄ /Mg Abfall]	[g N ₂ O/Mg Abfall]
Offene MBA	150	190
Geschlossene MBA mit Biofilter	150	375
MBA-Anlagen nach 30.BImSchV	55	100

^a(Döhler, 2003), (IFEU, 2002) nach (UBA, 2013c, S. 621)

Abwasserbehandlung

Die Methanemissionen aus der Abwasserbehandlung sind dank der technischen Fortschritte im Bereich der kommunalen und industriellen Kläranlagen von 1990 bis 2011 um fast 97 % gesunken (UBA, 2013c, S. 609). Industrielles Abwasser fällt in großen Mengen in der chemischen Industrie (310 Mio. m³ in 2007), bei der Herstellung von Papier und Pappe und bei der Energieumwandlung an. Die Befrachtung des Abwassers mit Nährstoffen und Schwefel sowie anderen Schadstoffen ist stark von der jeweiligen Branche abhängig. Mehr als drei Viertel des Abwassers kann unbehandelt als Prozesskühlwasser verwendet werden.

Der überwiegende Teil des zu reinigenden Abwassers wird aerob und/oder anaerob in kommunalen oder privaten Kläranlagen behandelt. Dabei kommt es zu keinen signifikanten Methanfreisetzungen, da anaerobe Abwasseranlagen als geschlossene Systeme konzipiert sind und das entstehende Methan in der Regel energetisch genutzt oder abgebrannt wird. Bei der aeroben Abwasserreinigung kommt es aufgrund der Biologie ebenfalls zu keinen Methanemissionen. Nur bei der Kompostierung und aus abflusslosen Gruben kann es aufgrund nicht steuerbarer aerober und anaerober Prozesse zu Methanfreisetzungen



kommen. Dies dürfte aufgrund des stark angestiegenen Anschlussgrades an öffentliche Kanalisation, Kleinkläranlagen und kommunale Kläranlagen seit den 1990er Jahren keine hohe Bedeutung mehr haben. Allerdings entsteht bei der Stickstoffelimination bei Denitrifikation und Nitrifikation Lachgas, dessen Emissionswerte in Bezug auf 1990 um etwa drei Prozent angestiegen sind, derzeit aber stabil stagnieren.

Ermittlung THG-Emissionen aus der Abfall- und Abwasserbehandlung für die Stadt Zittau

Die Ermittlung der THG-Emissionen aus der Abfall- und Abwasserbehandlung erfolgt mit Rückgriff auf statische Daten (Bundesrepublik Deutschland). Diese sind in Tabelle 2.11 dargestellt.



Tabelle 2.11: Berechnung der THG-Emissionen aus Abfall- und Abwasserbehandlung für die Stadt Zittau

Jahr	CH ₄	N ₂ O	Summe pro Kopf
	[t CO ₂ -äq.]	[t CO ₂ -äq.]	[t CO ₂ -äq./EW]
1990	17.664,23	1.018,18	0,54
1991	20.379,74	1.176,83	0,54
1992	19.403,00	1.127,55	0,54
1993	18.379,83	1.086,25	0,53
1994	17.359,44	1.065,88	0,51
1995	13.555,42	882,60	0,49
1996	15.049,79	1.060,79	0,46
1997	13.465,57	1.059,25	0,42
1998	12.140,45	1.062,45	0,39
1999	10.823,33	1.062,28	0,36
2000	8.442,12	890,44	0,34
2001	9.290,97	1.044,94	0,32
2002	8.681,42	1.047,18	0,31
2003	8.093,13	1.042,86	0,29
2004	7.567,39	1.025,50	0,28
2005	5.712,47	848,70	0,26
2006	5.233,86	831,69	0,24
2007	5.667,94	981,68	0,23
2008	5.172,06	966,94	0,21
2009	4.769,38	957,52	0,20
2010	4.323,18	936,99	0,19
2011	3.985,26	937,18	0,18
2012	3.649,98	926,59	0,17
2013	3.438,73	834,64	0,16



3 Ergebnisse

Die Analyse der einzelnen Sektoren zeigt, dass auf jeden Einwohner der Stadt Zittau im Jahr 2013 **7,75 t CO₂-äq./EW** entfallen. Mit Bezug auf die statistische Pro-Kopf-Emissionen von ca. 11,00 t CO₂-äq./EW (Bundesrepublik Deutschland) ist dies ein überdurchschnittlich guter Wert, der den Bundesdurchschnitt von 11,00 t CO₂-äq./EW deutlich unterschreitet. Eine Übersicht aller THG-Emissionen über alle Sektoren ist in Tabelle 3.1 dargestellt.

Die klima- und energiepolitischen Zielstellungen von EU und Bund (vgl. Tabelle 1.2) konnten – ceteris paribus – bereits erreicht werden. Die THG-Emissionen wurden rein rechnerisch in der Stadt Zittau bereits um 54,80 % im Vergleich zu 1990 gesenkt.

Wählt man 2006 als Referenzjahr, um eine Betrachtung auf Basis belastbarer spezifischer Werte zu erlangen und die „Nach-Wende-Effekte“ von demografischer und wirtschaftlicher Entwicklung weniger zu betonen, so zeigt sich ein anderes Bild. Die Reduktion der THG-Emissionen, v. a. durch den Ausbau der erneuerbaren Energien, erreicht dann einen Wert von lediglich 1%. Wird auf das Jahr 2006 referenziert, zeigt sich damit sogar eine Steigerung der THG-Emissionen von ca. 5%. Diese auf den ersten Blick ernüchterte Analyse erklärt sich u. a. aus einer starken Zunahme des Elektrizitätsverbrauches von 70.9 GWh auf 116 GWh zwischen 2009 und 2010. Ob dies durch eine reale Verbrauchssteigerung verursacht wird oder einer Änderung bei der Erfassung statistischer Daten zugeschrieben werden muss, kann bis dato nicht geklärt werden.

Es darf davon ausgegangen werden, dass sich die Stadt Zittau auf einem guten Weg befindet. Künftig sollte mehr Aufmerksamkeit auf nutzerbezogene Einsparungen bei gleichzeitiger Erhöhung der Energieeffizienz gerichtet werden.



Tabelle 3.1: THG-Emissionen aller Sektoren für die Stadt Zittau

	Energie	Industrie- prozesse	Lösemittel- und Produkt- verwen- dung	Landwirt- schaft und LULUC	Abfallwirt- schaft	Verkehr	Summe	Reduktion
	[t CO ₂ - äq./EW]	[t CO ₂ - äq./EW]	[t CO ₂ - äq./EW]	[t CO ₂ - äq./EW]	[t CO ₂ - äq./EW]	[t CO ₂ - äq./EW]	[t CO ₂ - äq./EW]	[%]
1990	12,79	1,18	0,06	0,65	0,54		15,23	0,00
1991	12,27	1,13	0,05	1,00	0,54		14,99	1,53
1992	11,56	1,14	0,05	0,95	0,54		14,24	6,44
1993	11,41	1,14	0,05	0,94	0,53		14,07	7,62
1994	11,12	1,21	0,04	0,91	0,51		13,79	9,45
1995	11,03	1,18	0,04	0,93	0,49		13,67	10,21
1996	11,26	1,17	0,04	0,93	0,46		13,87	8,90
1997	10,87	1,17	0,04	0,92	0,42		13,42	11,83
1998	10,76	1,00	0,04	0,92	0,39		13,11	13,89
1999	10,44	0,91	0,04	0,93	0,36		12,68	16,72
2000	10,41	0,94	0,04	0,93	0,34		12,65	16,90
2001	10,63	0,90	0,03	0,92	0,32		12,81	15,90
2002	10,43	0,88	0,03	0,88	0,31		12,53	17,69
2003	10,38	0,94	0,03	0,87	0,29		12,51	17,85
2004	10,18	1,00	0,03	0,88	0,28		12,36	18,81
2005	10,00	0,96	0,02	0,87	0,26		12,11	20,48
2006	4,12	0,97	0,03	0,85	0,24	1,60	7,81	48,69
2007	3,70	0,99	0,02	0,84	0,23	1,57	7,35	51,71
2008	3,82	0,96	0,02	0,87	0,21	1,54	7,42	51,25
2009	3,80	1,24	0,02	0,85	0,20	1,61	7,72	49,28
2010	4,30	0,84	0,02	0,84	0,19	1,64	7,83	48,55
2011	4,16	0,86	0,02	0,88	0,18	1,66	7,76	49,01
2012	4,20	0,85	0,02	0,86	0,17	1,66	7,76	49,01
2013	4,21	0,85	0,02	0,86	0,16	1,65	7,75	49,08



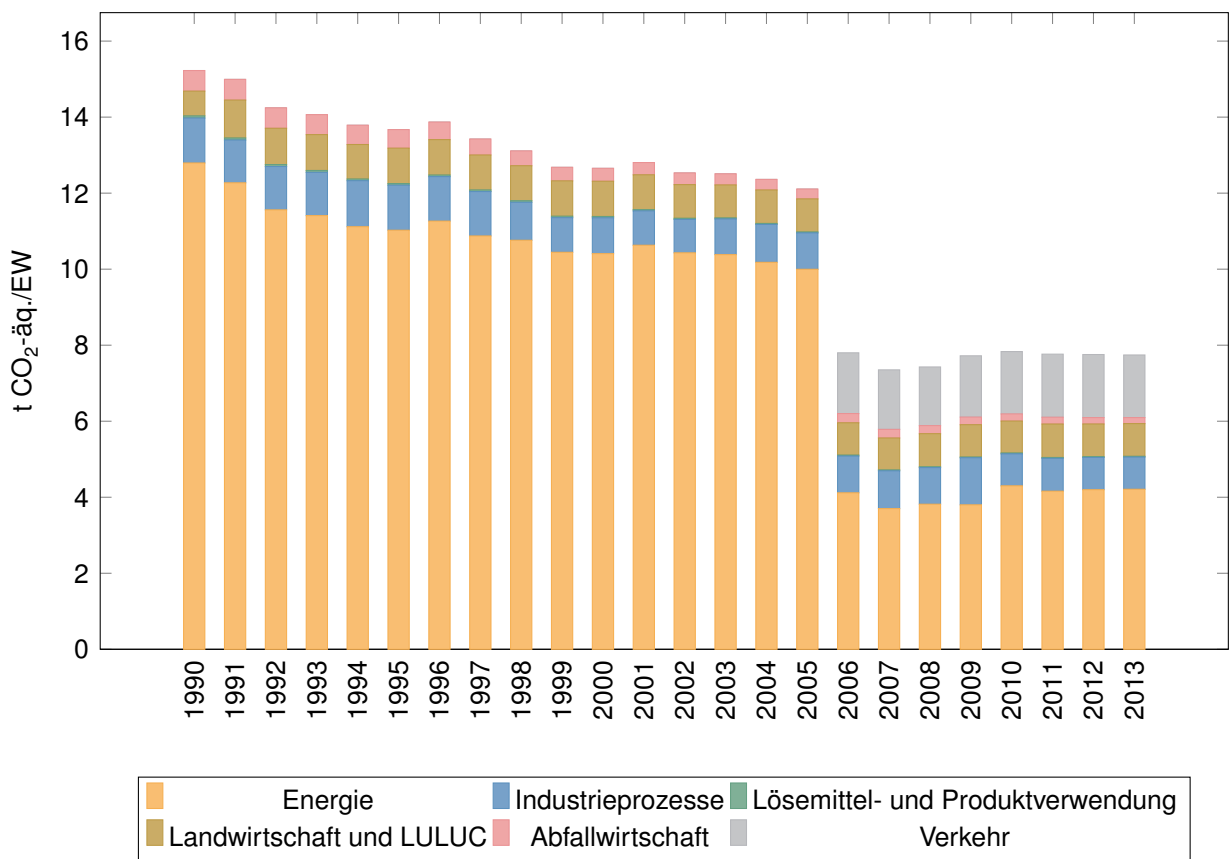


Abbildung 3.1: THG-Emissionen aller Sektoren pro Kopf für die Stadt Zittau



Empfehlungen aufgrund der ermittelten Ergebnisse

Für die Klimaschutzbemühungen der Stadt Zittau werden folgende Bereiche besonders empfohlen zur Unterlegung mit einzelnen Maßnahmenpaketen:

- Stromproduktion (mit Ausbau erneuerbarer Energie)
- Wärmeproduktion
- Öffentlicher Dienst (Liegenschaften und Straßenbeleuchtung)
- Verkehr

mit CO₂ Einspar Szenarien hinterlegt. Als Anregung für die weitere Arbeit im Klimaschutz werden die Minderungszenarien für den Bereich Industrie ebenfalls über die Jahre dargestellt. Diese oben genannten Bereiche sollten in folgenden kommunalen Handlungsfeldern dargestellt werden:

- Ausbau von erneuerbaren Energien
- Senkung des Energieverbrauchs in Gebäuden
- Senkung des Energieverbrauchs in der Straßenbeleuchtung
- Verbesserung Umweltverbund, Flächenmanagement - speziell der Verbesserung von Radinfrastruktur

Die zu Grunde liegenden Werte der Betrachtung CO₂ Potenziale „Öffentlicher Dienst“ ist im Energie- und Klimaschutzkonzept der Großen Kreisstadt Zittau in entsprechenden Kapiteln zu finden.

Grundlage dieser Abschätzungen sind Szenarien für die Entwicklung der CO₂-Emissionen in den angegebenen Sektoren in Deutschland. In den verwendeten Quellen werden verschiedene Annahmen für Szenarien gemacht. Die Bandbreite reicht von Referenzszenarien (Fortsetzung derzeitiger Umweltpolitik, vorhersehbare Effizienzsteigerungen) zu Szenarien mit umfassenden Maßnahmen zur Emissionsvermeidung. Die Annahmen hinter den Szenarien sind in Tabelle 3.2 zusammengefasst¹.

Die dabei zusammengestellten Reduktionsszenarien mit Bezug auf die Stadt Zittau lassen sich für die ausgewählten Bereiche gemäß Tabelle 3.3 darstellen.

¹Bundesgeschäftsstelle European Energy Award, Dr. Michael Lüken



Quelle	Annahmen Referenzszenario	Annahmen weiterer Szenarien
Ewi (2005)	Grundlegende energiepolitische Weichenstellung, die wirksam oder wahrscheinlich sind	-
Ewi (2010)	Die bislang angegebenen angelegten Politiken werden in Zukunft fortgeschrieben	Vier Szenarien mit verschiedenen Vorgaben für ambitionierte Emissionsminderung und Steigerung des Anteils der EE bis 2020 bzw. 2050
IER (2010)	Reduzierung CO ₂ -Emissionen in ETS Sektoren, EE tragen bis 2020 18% zum Endenergieverbrauch bei, Weiterentwicklung EF, zeitlich befristete Fortschreibung des KWKG Gesetzes	Verschiedene Sensitivitätsanalysen - hier nicht relevant
WWF (2009)	Ambitionierte Fortsetzung heutiger Energie- und Klimaschutzpolitik	Innovationsszenario und „Modell Deutschland“ mit zusätzlichen klima- und energiepolitischen Maßnahmen

Tabelle 3.2: Übersicht der Referenzszenarien

	2010	2020	2030	2040	2050
Öffentliche Liegenschaften und Straßenbeleuchtung					
von	3.133	-19%	595	-50%	1.567
bis		-31%	971	-69%	2.162
Liegenschaften	2.465				
Straßenbeleuchtung	668				
Industrie					
von	22.654	-10%	2.265	-14%	3.172
bis		-32%	7.249	-48%	10.874
Verkehr					
von	45.948	6%	2.757	-7%	3.216
bis		-12%	5.414	-39%	17.920
Stromproduktion (mit Ausbau erneuerbarer Energien)					
von	53.065	-9%	4.776	-17%	9.021
bis		-27%	14.328	-57%	30.247
Wärmeproduktion					
von	64.995	-24%	15.599		
bis		-85%	55.246		

Tabelle 3.3: Reduktionsszenarien für die Stadt Zittau in % und in t CO₂ äq/a



Kritische Diskussion und Einschränkungen

Die vorliegende Emissionsbilanz zeigt Gegebenheiten auf und erlaubt Rückschlüsse auf zugrundeliegende Ursachen. Damit können beispielsweise Fragen nach den emissionsintensivsten Bereichen geklärt und Lösungsansätze zur Emissionsminderung erarbeitet werden. Um spezifische Einflussnahme auf ursächliche Gegebenheiten zu ermöglichen, kann eine detaillierte Datenerfassung erfolgen. Insofern muss die Interpretation der Ergebnisse immer unter Berücksichtigung der Datenlage erfolgen. Entsprechend des vorgestellten Konzepts zur Datengüte, wurden regionale Primärdaten verwendet und Datenlücken in einem Top-Down-Verfahren aus Bundes- und Landesdaten abgeleitet – dies entspricht der Datenqualitätskategorie $\star\star\star^2$.

Für eine Kontrolle der Wirksamkeit der ergriffenen Maßnahmen und für eine generelle Ermittlung der Tendenzen sind regelmäßige Emissionsbilanzen erforderlich. Eine Vergleichbarkeit mit der vorliegenden Bilanz kann nur durch die Anwendung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Methodik garantiert werden. Die Erfassung kommunaler Daten und die Bilanzierung erfordern einen hohen zeitlichen sowie personellen Aufwand. Andererseits ist eine kontinuierliche Berechnung der klimarelevanten Emissionen, nach einheitlicher Methodik, die Basis für eine wirksame Klimaschutz- und Energiepolitik. Wollen Kommunen bzw. Landkreise Kontrolle über die Wirksamkeit lokaler Emissionsminderungskonzepte, so empfiehlt sich eine langfristige Zusammenarbeit mit einem Team von Wissenschaftlern, welches regelmäßige Bilanzierungen vornimmt.

²vgl. Tabelle 1.4



Tabellenverzeichnis

1.1	Übersicht zu aktuellen Ergebnissen der Klimaforschung	6
1.2	Übersicht klima- und energiepolitischer Ziele	8
1.3	Kyoto-Gase THG des Kyoto-Protokolls	11
1.4	Datenqualitätsstufen	14
2.1	Übersicht zu Emissionsfaktoren im Sektor Energie	18
2.2	Ausgangsdaten für die Berechnung der THG-Emissionen	23
2.3	Elektrizitätsbezogene THG-Emissionen	25
2.4	Raumwärmebezogene THG-Emissionen	26
2.5	Transportleistungen einzelner Verkehrsträger in Deutschland	28
2.6	Berechnung der verkehrsbezogenen THG-Emissionen	29
2.7	THG-Emissionen aus Industrieprozessen	33
2.8	Übersicht zu THG-Emissionen aus der Landwirtschaft	40
2.9	Emissionsfaktoren für die Kompostierung von Bioabfall	42
2.10	Emissionsfaktoren für MBA-Anlagen	42
2.11	THG-Emissionen aus Abfall- und Abwasserbehandlung	44
3.1	THG-Emissionen aller Sektoren	46
3.2	Übersicht der Referenzszenarien	49
3.3	Reduktionsszenarien für die Stadt Zittau in % und in t CO ₂ äq/a	49





Abbildungsverzeichnis

1.1	Prozessdiagramm zur Treibhausgasminderung	7
2.1	Anteil der erneuerbaren Energieträger an der Bruttostromerzeugung in Deutschland	17
2.2	Entwicklung der Emissionsfaktoren im deutschen Strommix	19
2.3	Nettowärmeerzeugung in Deutschland	19
2.4	Beheizungsstruktur in Deutschland (BDEW, 2013b)	20
2.5	Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien: 144,3 TWh	21
2.6	Struktur der Endenergiebereitstellung	21
2.7	Anteile erneuerbarer Energien an der jährlichen Gesamtproduktion	22
2.8	Prozentualer Anteil erneuerbarer Energien am Stromverbrauch	23
2.9	Verteilung der CO ₂ -Emissionen im Verkehr	27
2.10	Durchschnittliche jährliche Fahrleistung der Personenkraftwagen	28
2.11	Zugelassene Fahrzeuge	29
2.12	THG-Emissionen aus industriellen Prozessen	31
2.13	THG-Emissionen des deutschen Agrarsektors	34
2.14	Methan und Distickstoffoxid-Emissionen	34
2.15	Emissionen aus Landwirtschaftlichen Böden	36
2.16	Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft	38
2.17	Entwicklung der gesamtdeutschen THG-Emissionen	41
3.1	THG-Emissionen aller Sektoren pro Kopf	47





Literaturverzeichnis

AG Energiebilanzen e.V. AGEB. Bruttostromerzeugung in Deutschland von 1990 bis 2013 nach Energieträgern, 2013.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. BDEW. Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland 2012, 2013a.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. BDEW. Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland in den Jahren 1975 bis 2013. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/162218/umfrage/beheizungsstruktur-des-wohnbestandes-in-deutschland-seit-1975/>, 2013b.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. BDEW. Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland 2013, 2014.

Bundesverband Güterkraftverkehr, Logistik und Entsorgung e.V. BGL. Jahresbericht 2013, Frankfurt a.M., 2013.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB. Kommunaler Klimaschutz – Möglichkeiten für die Kommunen, 2011.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit BMUB. Erneuerbare Energie 2012. Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand 28. Februar 2013.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi. Zahlen und Fakten Energiedaten, 2013.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie BMWi. Zweiter Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“, 2014.

BSL Transportation Consultants GmbH & Co. KG. Marktreport SPNV - Ein Lagebericht zum Wettbewerb im Schienenpersonennahverkehr, Hamburg 2013.

Döhler, Helmut. Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien, Februar 2003.

Deutsches Institut für Urbanistik. Klimaschutz in Kommunen - Praxisleitfaden, Berlin 2011.



- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e.V. DIW. Bestand und Fahrleistung der in Deutschland zugelassenen Kraftfahrzeuge, Berlin 2013.
- Eggleston, Simon; Buendia, Leandro; Miwa, Kyoto; Ngara, Todd and Tanabe, Kiyoto. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Japan 1996.
- Eggleston, Simon; Buendia, Leandro; Miwa, Kyoto; Ngara, Todd and Tanabe, Kiyoto. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Japan 2006.
- Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln ewi. Energiereport IV. Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030. Energiewirtschaftliche Referenzprognose, Oldenburg Verlag, 2005.
- Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln ewi. Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung, Prognos: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, 2010.
- Gerwens, St. Pro Mobilität - Zahlen, Daten, Fakten: Finanzierung der Fernstraßen – Informationen zum Investitionsbedarf auf Bundesebene, 2013.
- Harborth, Peter; Fuß, Roland; Münnich, Kai; Flessa, Heinz and Fricke, Klaus. Nachweis starker N2O Hot-Spots auf einer MBA-Deponie: Ein Zielkonflikt für Minimierungsstrategien von Treibhausgasemissionen?, 2013.
- Hertle, Hans; Dingeldey, Miriam; Dünnebeil, Frank; Gugel, Benjamin; Hespeler, Sabrina and Kutzner, Frank. Pilotphase zum kommunalen Energie- und CO2-Bilanzierungstool BICO2 BW, Heidelberg, 2012.
- Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart, Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung, Zentrum für Europäische Wirtschaftsförderung. Die Entwicklung der Energiemärkte bis 2030, 2009,2010.
- Intergovernmental Panel On Climate Change IPCC. Climate Change 2007 - The Physical Science Basis, Cambridge, United Kingdom and New York 2007.
- Intergovernmental Panel On Climate Change IPCC. Climate Change 2014 - Synthesis Report, Cambridge, United Kingdom and New York 2014.
- Intergovernmental Panel On Climate Change IPCC. Climate Change 2014 - Fünfter Sachstandsbericht des IPCC - Synthesebericht, Cambridge, United Kingdom and New York 2014.
- International Energy Agency IEA. CO2 Emissions From Fuel Combustion, 2013.
- International Energy Agency IEA. CO2 Emissions From Fuel Combustion, 2014.



- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH IFEU. Ökobilanz Bioabfallverwertung: Untersuchung zur Umweltverträglichkeit von Systemen zur Verwertung von biologisch-organischen Abfällen, 2002.
- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH IFEU. Daten- und Rechenmodell TREMOD: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960–2030, 2006.
- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH IFEU. Umweltwissen Schadstoffe - Ammoniak und Ammonium. Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2013.
- Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien GmbH IINAS. GEMIS 4.8 Ergebnisdaten, 2013.
- Kraftfahrt-Bundesamt KBA. Fahrzeugklassen und Aufbauarten - Zeitreihe 1955 bis 2013. http://www.kba.de/cln_030/nn_277816/DE/Statistik/Fahrzeuge/Neuzulassungen/FahrzeugklassenAufbauarten/n_fzkl__zeitreihe.html, 2013.
- Kühnhold, Kerstin. Treibhausgasbilanzen als Instrumente regionaler Klimapolitik – Darstellung der Modelle, Methoden und Herausforderungen, 2010.
- Marletto, Vittorio and Emilia-Romagna, Arpa. Planung von Maßnahmen zu Klimaschutz und Klimaanpassung für Regionen und Kommunen EnercitEE - Clipart-Abschlussbericht, 2012.
- Osterburg, Bernhard; Kätsch, Stephanie and Wolf, Anne. Szenarioanalysen zur Minderung von Treibhausgasemissionen der deutschen Landwirtschaft im Jahr 2050, Braunschweig 2013.
- Öko Institut e.V. Globales Emissionsmodell Integrierter Systeme – Version 4.6, 2010.
- Paulsen, Hans Marten. Treibhausgasemissionen aus Verdauung und Wirtschaftsdüngern - gibt es eindeutige Aussagen?, 2013.
- Rentzing, Sascha. Energie – Im Wärmemarkt schlummert ein riesiges Potenzial. *Technology Review TR 12/13*, 2013.
- Ruppert, Johannes; Scheuer, Wilfried and Schäfer, Stefan. Bereitstellung einer qualitätsgesicherten Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung zur Umsetzung von internationalen Luftreinhalte- und Klimaschutzvereinbarungen für ausgewählte Industriebranchen: Teilvorhaben 03 Zementindustrie (FKZ 370742301/03), Düsseldorf, 2009.
- Statistisches Landesamt Freistaat Sachsen StaLA. Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern im Freistaat Sachsen. http://www.statistik.sachsen.de/download/100_Berichte-H/H_I_2_j13_SN.pdf, 2013.



Stocker, Thomas F; Qin, Dahe; Plattner, Gian-Kasper; Tignor, M; Allen, Simon K; Boschung, Judith; Nauels, Alexander; Xia, Yu; Bex, Vincent and Midgley, Pauline M. Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Cambridge, UK and New York, 2013.

Umweltbundesamt UBA. Energieeffizienz in Zahlen, 2011.

Umweltbundesamt UBA. Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2012, 2013a.

Umweltbundesamt UBA. Emissionen ausgewählter Treibhausgase nach Quellkategorien, 2013b.

Umweltbundesamt UBA. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar - Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013, 2013c.

Umweltbundesamt UBA. Emissionen ausgewählter Treibhausgase nach Quellkategorien in Deutschland, 2014.

Will, Markus. Entwicklung der Energiepreise in Deutschland – welchen Anteil hat die Energiewende?, 2013.

Will, Markus. Emissionsfaktoren in Ökobilanzen und bei der Erstellung regionaler Treibhausgasbilanzen, 2014.

Ökoinstitut e.V., Prognos, WWF. Modell Deutschland, Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, 2009.

Zentralinnungsverband Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks ZIV. Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 2011. http://www.schornsteinfeger.de/bilder_ziv/files/erhebungen2011.pdf, 2011.



