

Klimaschutzteilkonzept Stadt Chemnitz

-

Erschließung der Potenziale regenerativer Energien im Hinblick auf die CO₂-Reduzierungsziele 2050

Jan Markus Mücke, Holger Böhme, Thorsten Urbaneck

Technische Universität Chemnitz

Fakultät für Maschinenbau

Professur Technische Thermodynamik

2019 – 2020

Auftraggeber:

Stadt Chemnitz; Umweltamt Chemnitz

Jan Markus Mücke, Holger Böhme, Thorsten Urbaneck

Klimaschutzteilkonzept Stadt Chemnitz - Erschließung der Potenziale regenerativer Energien
im Hinblick auf die CO₂-Reduzierungsziele 2050

2019 – 2020

Technische Universität Chemnitz

Fakultät für Maschinenbau

Professur Technische Thermodynamik

17.03.2021

ISBN 987-3-9812586-6-0

Inhaltsverzeichnis

1	Energie- und Treibhausgas-Bilanz	1
1.1	Stationärer Bereich	2
1.1.1	Endenergieverbrauch	3
1.1.2	Treibhausgas-Emissionen	6
1.2	Verkehr.....	9
1.2.1	Straßenverkehr.....	9
1.2.2	Öffentlicher Personennahverkehr	13
1.2.3	Schienenverkehr.....	14
1.2.4	Schiffsverkehr.....	14
1.2.5	Flugverkehr.....	15
1.2.6	Übriger Verkehr	16
1.2.7	Treibhausgas-Emissionen im Sektor Verkehr in Deutschland und Chemnitz	16
1.3	Nichtenergetische Emissionen	17
1.3.1	Abfall.....	17
1.3.2	Abwasser.....	20
1.3.3	Landwirtschaft	20
1.3.4	Industrie.....	21
1.3.5	Zusammenfassung nichtenergetische Emissionen	22
1.4	Zusammenfassung der Treibhausgas-Emissionen für Chemnitz im Jahr 2017.....	23
2	Potenzialanalyse	24
2.1	Stand erneuerbare Energiequellen 2017	24
2.2	Biomasse / Abfall	27
2.2.1	Energetische Nutzung von Siedlungsabfällen	27
2.2.2	Holzheizkraftwerk	30
2.2.3	Ersatzbrennstoffanlage.....	31
2.3	Solarenergie.....	31
2.3.1	Dachflächen.....	31
2.3.2	Freiflächen.....	35
2.4	Windkraftanlagen Chemnitz – Repowering.....	37
2.5	Umgebungswärme und Geothermie	41
2.5.1	Geothermie.....	41
2.5.2	Abwärme aus Abwasser.....	44
2.6	Wasserkraft	46
2.7	Energieeinsparpotenziale.....	47
2.7.1	Hydraulischer Abgleich der Heizungssysteme	48

	2.7.2 Rebound-Effekte.....	48
2.8	Power-to-X	50
2.9	Zusammenfassung der Einsparmöglichkeiten durch die aufgezeigten Potenziale	51
3	Akteursbeteiligung.....	53
4	Maßnahmenkatalog.....	55
4.1	Grüne Fernwärme – Solarthermie in Ebersdorf und Borna-Heinersdorf	55
4.2	Agro-PV am Kornweg	57
4.3	Solar-Carports.....	59
4.4	Photovoltaik-Aufdachanlagen – Industrie und GHD.....	64
4.5	Solar-Aufdachanlagen – Zusammenarbeit mit Wohnungsgesellschaften und - genossenschaften	65
4.6	Solaranlagen Garagenhöfe	66
4.7	Maßnahmen private Haushalte	67
4.8	Wasserstofftankstelle	69
4.9	Regionale Wertschöpfung durch die neu vorgeschlagenen Maßnahmen.....	70
4.10	Bezug zur demografischen Entwicklung	71
4.11	Bezug zur wirtschaftlichen Entwicklung	71
4.12	Zusammenfassung der Einsparpotenziale durch die dargestellten Maßnahmen ..	71
5	Controlling	72
5.1	Allgemeine Informationen	72
5.2	Vorschläge für Chemnitz.....	73
6	Kommunikationsstrategie	75
6.1	Allgemeine Informationen	75
6.2	Instrumente der Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit.....	76
6.2.1	Pressearbeit	77
6.2.2	Drucksachen.....	77
6.2.3	Internetauftritte	77
6.2.4	Workshops, Vortragsreihen und Informationsveranstaltungen.....	77
6.3	Empfehlungen zur Umsetzung in Chemnitz	78
7	Zusammenfassung und Ausblick	81
8	Quellen.....	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: sektorspezifischer Endenergieverbrauch Chemnitz 2012 und 2017 [15].....	3
Abbildung 2: sektorspezifischer Endenergieverbrauch Chemnitz 2017 [15].....	3
Abbildung 3: sektorspezifischer Endenergieverbrauch Deutschland 2017	4
Abbildung 4: Endenergieverbrauch der kommunalen Gebäude in Chemnitz 2017 [15]	4
Abbildung 5: Vergleich des Endenergieverbrauchs pro Kopf und Sektor in Chemnitz und Deutschland 2017	5
Abbildung 6: Endenergieverbrauch nach Energieträgern in Chemnitz 2017 [15]	5
Abbildung 7: Vergleich des Endenergieverbrauchs pro Kopf und Energieträger in Chemnitz und Deutschland 2017	6
Abbildung 8: Vergleich des Endenergieverbrauchs pro Kopf für den Sektor private Haushalte in Chemnitz und Deutschland 2017	6
Abbildung 9: CO ₂ -Äquivalent-Emissionen pro Einwohner für die Sektoren private Haushalte und Industrie & GHD in Chemnitz 2017	7
Abbildung 10: CO ₂ -Äquivalent-Emissionen pro Einwohner für die Sektoren private Haushalte und Industrie & GHD in Deutschland 2017	8
Abbildung 11: CO ₂ -Äquivalent-Emissionen pro Einwohner für den Sektor private Haushalte in Chemnitz und Deutschland 2017	8
Abbildung 12: Darstellung von Berechnungspfaden zur Ermittlung der persönlichen THG-Bilanz im kommunalen motorisierten Straßenverkehr von Chemnitz mit unterschiedlichen Eingangsdaten, Zwischenergebnissen und Kommunenbezug	11
Abbildung 13: Zusammenstellung der persönlichen THG-Bilanz für einen Einwohner der Stadt Chemnitz für das Bezugsjahr 2017 in kg/EW und prozentualen Anteilen	17
Abbildung 14: Verteilung des einwohnerspezifischen Abfallaufkommens aus privaten Haushalten und Kleingewerben in Chemnitz 2017	18
Abbildung 15: Verteilung des einwohnerspezifischen Abfallaufkommens aus nicht haushaltsnahen Herkunftsbereichen in Chemnitz 2017.....	18
Abbildung 16: THG-Emissionen als CO ₂ -Äquivalent für Chemnitz im Jahr 2017 erzeugt durch die nicht-energetische Bereiche der Abfallbehandlung, Abwasserbehandlung und Landwirtschaft	22
Abbildung 17: Aufteilung der THG-Emissionen in Chemnitz 2017	23
Abbildung 18: Entwicklung der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Chemnitz von 2012-2017 [15].....	25

Abbildung 19: Entwicklung der Stromerträge aus erneuerbaren Energiequellen in Chemnitz von 2012-2017 [15]	25
Abbildung 20: Ertrag durch erneuerbare Wärmeenergieanlagen in Chemnitz 2017 [15].....	26
Abbildung 21: Ertrag durch Solarthermieanlagen in Chemnitz von 2012 bis 2017 [15]	26
Abbildung 22: Zuwachs an Umgebungswärme (Luft- und Erdwärmepumpen) [15].....	27
Abbildung 23: Potenzialpyramide Solarenergie [1]	32
Abbildung 24: sektorspezifische Potenziale für Photovoltaik-Erträge laut Solarkataster unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes und der Statik bzw. des Brandschutzes [15]	34
Abbildung 25: Kartenausschnitt Freiflächen für Solarthermie [15]	36
Abbildung 26: Anordnung der WKA des Windparks Chemnitz/Galgenberg mit vier neueren Anlagen (Baujahr 2010, Nennleistung 2.000 kW) und drei älteren Anlagen (Baujahr 2001, Nennleistung 1.000 kW bzw. 600 kW)	37
Abbildung 27: Karte zur möglichen Anordnung von WKA im Windpark Chemnitz/Galgenberg durch Repowering und Neuerrichtungen [36]	40
Abbildung 28: Karte zur theoretisch möglichen Anordnung von WKA in einem potenziellen Windpark Chemnitz/Euba durch Neuerrichtungen [36].....	41
Abbildung 29: Vergleich des CO ₂ -Äquivalent-Ausstosses der Ein- und Zweifamilienhäuser in Chemnitz für Heiz- und Warmwasserbedarf	44
Abbildung 30: Kanal- und Bypass-Wärmeübertrager zur energetischen Nutzung von Abwasser [46]	45
Abbildung 31: Anteile der Anwendungsbereiche am Endenergieverbrauch in Deutschland in den Jahren 2008 und 2017 [52]	47
Abbildung 32: Zusammenfassung verschiedener Abschätzungen zur Höhe von direkten Rebound-Effekten [55]	49
Abbildung 33: Potenzielle lokale Akteursgruppen im Klimaschutz [1].....	54
Abbildung 34: potenzielle Freifläche an der Glösaer Str. zur Installation einer Solarthermieanlage mit Anbindung an das bestehende Fernwärmenetz [71]	56
Abbildung 35: potenzielle Freifläche in Borna-Heinersdorf in der Nähe der Wittgensdorfer Straße (sog. Fischblase) zur Installation einer Solarthermieanlage mit Anbindung an das bestehende Fernwärmenetz [71]	56
Abbildung 36: Luftansicht oberes Areal Kornweg [71]	57
Abbildung 37: Beispiel einer Agro-PV Anlage mit hoher Aufständigung der Demeter-Hofgemeinschaft in Heggelbach am Bodensee [67]	58

Abbildung 38: Beispiel für eine Agro-PV Anlage mit bifazialen Modulen und senkrechter Installation [68]	58
Abbildung 39: Parkplatz P2 am Flughafen Niederrhein in Weeze überdacht durch 66 Solar-Carports mit insgesamt 15.296 PV-Modulen und 4053,44 kWp installierter Leistung [71]	61
Abbildung 40: Parkplätze im Umfeld der Arena Chemnitz bestehend aus vier Teilflächen mit insgesamt 50.900 m ² versiegelter Parkfläche [71]	62
Abbildung 41: Parkflächen des Chemnitz-Centers mit insgesamt 102.000 m ² als potenzielle Fläche für die Errichtung von Solar-Carports mit einer möglichen Gesamtleistung von 9,96 MWp [71].....	62
Abbildung 42: Parkflächen des Alt-Chemnitz-Centers mit insgesamt 36.600 m ² als potenzielle Fläche für die Errichtung von Solar-Carports mit einer möglichen Gesamtleistung von 3,57 MWp [71].....	63
Abbildung 43: Parkflächen des Neefeparks in Chemnitz mit insgesamt 34.800 m ² als potenzielle Fläche für die Errichtung von Solar-Carports mit einer möglichen Gesamtleistung von 3,40 MWp [71].....	63
Abbildung 44: Dachflächen von Industrie- und Technologiepark HECKERT GmbH Chemnitz (ITC, Otto-Schmerbach-Straße 19, 09117 Chemnitz) und das Volkswagen (Kaufahrtei 47, 09120 Chemnitz)	64
Abbildung 45: Technologie-Reifegrad oder Technology Readiness Level [77].....	69
Abbildung 46: Szenario für die Entwicklung der THG-Emissionen in Chemnitz auf Basis der Daten von 1990-2018 und der in diesem Bericht aufgezeigten Potenziale zur Erreichung der für 2050 ausgegebenen Ziele	74
Abbildung 47: Beispiele für Kommunikations- und Informationsinstrumente [1]	76
Abbildung 48: Kommunikationsnetzwerk im Rahmen der eea-Zertifizierung [15].....	78
Abbildung 49: Kommunikationsnetzwerk im Rahmen bereits erfolgter Klimaschutzarbeit [15]	79

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: CO ₂ -Faktoren und CO _{2eq} -Faktoren für Chemnitz im Jahr 2017 [2], [3], [4], [5], [6].....	2
Tabelle 2: CO ₂ -Faktoren und CO _{2eq} -Faktoren für Deutschland im Jahr 2017 [2], [3], [4], [5].....	2
Tabelle 3: Zusammenfassung der THG-Emissionen im stationären Bereich für Chemnitz im Jahr 2017 aufgeteilt nach Sektor und Energieträger	7
Tabelle 4: Fahrzeugkilometer pro Werktag für das Stadtgebiet Chemnitz im Jahr 2017 [8].....	9
Tabelle 5: Emissionen von Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffmonoxid sowie die resultierenden CO ₂ -Äquivalente aus dem Straßenverkehr Deutschlands 2017 [4].....	10
Tabelle 6: Fahrzeugkilometer in Deutschland im Jahr 2017 [9]	10
Tabelle 7: Gegenüberstellung der Ergebnisse verschiedener Berechnungsmöglichkeiten (Pfade) zur Ermittlung verkehrsbedingter THG-Emissionen und Einwohnerbilanzen für Chemnitz	11
Tabelle 8: Kraftstoffverbrauch nach Fahrzeugklassen und Kraftstoffart in Deutschland 2017 [9].....	12
Tabelle 9: Emissionsfaktoren der treibhausrelevanten Gase CO ₂ , CH ₄ und N ₂ O für verschiedenen Kraftstoffarten [4].....	12
Tabelle 10: THG-Emissionen des Straßenverkehrs als CO ₂ -Äquivalent mit GWP _{CH4} = 25 und GWP _{N2O} = 298	12
Tabelle 11: Emissionen von Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid sowie die resultierenden CO ₂ -Äquivalente aus dem Straßenverkehr Deutschlands 2017, berechnet über den nationalen Kraftstoffverbrauch (Tabelle 8) gemäß Pfad C aus Abbildung 12 [9]	12
Tabelle 12: Verbrauch der verschiedenen Verkehrsmittel des ÖPNV in Chemnitz [16], [17].....	14
Tabelle 13: Kraftstoffverbrauch und mittels Emissionsfaktoren berechnete THG-Emissionen im deutschen Schienenverkehr 2017 [4], [9].....	14
Tabelle 14: Kraftstoffverbrauch und mittels Emissionsfaktoren berechnete THG-Emissionen der inländischen Küsten- und Binnenschifffahrt sowie internationalen Hochseeschifffahrt 2017 [4], [9]	15
Tabelle 15: Kraftstoffverbrauch und mittels Emissionsfaktoren für Deutschland berechnete THG-Emissionen des nationalen und internationalen Flugverkehrs 2017 [4], [9].....	16

Tabelle 16: Emissionen von Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid sowie die resultierenden CO ₂ -Äquivalente aus dem übrigen Verkehr Deutschlands 2017 [4], [9].....	16
Tabelle 17: Zusammenfassung der Ergebnisse für THG-Emissionen nach eigenen Berechnungen mit Eingangsdaten aus dem veröffentlichten THG-Inventar für Deutschland 2017 [4], [9] sowie spezifische Daten für Fahrleistungen in Chemnitz nach Berechnungspfad C aus Abbildung 1 [15]	17
Tabelle 18: THG-Emissionen aus den nicht-energetischen Bereichen für Chemnitz 2017 als Gesamtbilanz und als persönliche Bilanz je Einwohner.....	22
Tabelle 19: Zusammenfassung der THG-Emissionen in Chemnitz 2017	23
Tabelle 20: Übersicht der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Chemnitz von 2012-2017 [15].....	24
Tabelle 21: Übersicht der Stromerträge aus erneuerbaren Energiequellen in Chemnitz von 2012-2017 [15].....	24
Tabelle 22: wirtschaftliche Gesamtpotenziale für Strom, Warmwasser und Heizungsunterstützung laut Solarkataster und so erreichbare CO ₂ -Einsparungen [15].....	33
Tabelle 23: mögliche Freiflächen für PV- und ST-Großanlagen im Chemnitzer Stadtgebiet [15].....	35
Tabelle 24: erwartete Jahreserträge bei einer Nutzung der Freiflächen mit Solarthermie und Photovoltaik sowie CO ₂ -Einsparpotenziale im Vergleich zu den Gesamtemissionen in Chemnitz im Jahr 2017	37
Tabelle 25: Attribute der aktuellen WKA des Windparks Chemnitz/Galgenberg [36].....	38
Tabelle 26: Attribute der Referenzanlagen gemäß Handlungsleitfaden des SMWA über die Berechnung der Ertragsprognosen für Windkraftanlagen empfohlen für neuanlagen und das Repowering [37]	38
Tabelle 27: Abwärmepotenzial Metallgießerei Chemnitz GmbH [40]	42
Tabelle 28: Abwärmepotenzial Härtetechnik Chemnitz GmbH [41]	42
Tabelle 29: Gebäudetypenkatalog der Stadt Chemnitz [15].....	43
Tabelle 30: Zusammenfassung der Einsparmöglichkeiten an THG-Emissionen durch die aufgezeigten Potenziale.....	51
Tabelle 31: Anlagenkosten in €/kWp für PV-Anlagen im Jahr 2018 [73].....	59
Tabelle 32: Chemnitzer Parkflächen in großen Einkaufszentren sowie an der Arena Chemnitz für die mögliche Errichtung von Solar-Carports als THG-Einsparpotenzial	61

Tabelle 33: Zusammenfassung aussichtsreiche Industrie- und GHD-Standorte für PV-Aufdach-Anlagen und die dort zu erwartenden Erträge und CO ₂ -Einsparungen.....	65
Tabelle 34: Potenziale der für eine Nutzung mit Solar-Aufdachanlagen geeigneten Standorte der in Chemnitz vertretenden Wohnungsgesellschaften und -genossenschaften [15].....	66
Tabelle 35: Potenziale der für eine Anbindung an das Fernwärmenetz günstig gelegenen dauerhaften Garagenhöfe für Solaranlagen [15]	66
Tabelle 36: Zusammenfassung der Einsparmöglichkeiten an THG-Emissionen durch die dargestellten Maßnahmen	71
Tabelle 37: Vorschläge zur Zuordnung von ausgewählten Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikationsinstrumenten	80

Abkürzungsverzeichnis

AEL	alkalische Elektrolyse
AGEB	Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
AWVC	Abfallwirtschaftsverband Chemnitz
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BGAA	Biogasaufbereitungsanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BISKO	Bilanzierungssystematik Kommunal
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BVGA	Bioabfallvergärungsanlage
CAWG	Chemnitzer Allgemeine Wohnungsbaugenossenschaft eG
CBC	City-Bahn Chemnitz GmbH
CH ₄	Methan
CNG	Compressed Natural Gas
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO _{2eq}	Kohlenstoffdioxid-Äquivalent
COP	Coefficient Of Power; Leistungszahl
CSG	Chemnitzer Siedlungsgemeinschaft eG
CVAG	Chemnitzer Verkehrs-Aktiengesellschaft
DB AG	Deutsche Bahn AG
DBFZ	Deutsches Biomasseforschungszentrum
Difu	Deutsches Institut für Urbanistik
EAP	Energiepolitisches Arbeitsprogramm
EBS	Ersatzbrennstoff
EF	Emissionsfaktor
EFDB	IPCC-Emissionsfaktoren-Datenbank
EFH	Einfamilienhaus

ESC	Entsorgungsbetrieb der Stadt Chemnitz
ETP	Euro Traffic Partner GmbH
EW	Einwohner
GEMIS	Globales Emissions-Modell integrierter Systeme
GGG	Grundstücks- und Gebäudewirtschafts-Gesellschaft m.b.H.
GH	Gesamthöhe
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistung
GWP	Global Warming Potential; relatives Treibhauspotenzial
Hz	Heizungsunterstützung
IEA	International Energy Agency
ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme
ITC	Industrie- und Technologiepark HECKERT GmbH Chemnitz
JAZ	Jahresarbeitszahl
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCOE	Stromgestehungskosten
LED	Light-Emitting Diode; Leuchtdiode
LNF	leichte Nutzfahrzeuge
LPG	Liquified Petroleum Gas
LTO	Landing/Take-off
MBA	mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage
MBS	mechanisch-biologische Stabilisierung
MFH	Mehrfamilienhaus
MPS	mechanisch-physikalische Stabilisierung
MRB	Mitteldeutsche Regiobahn

MVA	Müllverbrennungsanlage
NEB	Nationale Energiebilanz
NH	Nabenhöhe
NL	Nennleistung
N ₂ O	Distickstoffmonoxid
ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
örE	öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger
PEMEL	Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse
PKW	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik
RD	Rotordurchmesser
RL	Richtlinie
SAB	Sächsische Aufbaubank
SekBS	Sekundärbrennstoff
SNF	schwere Nutzfahrzeuge
SOEL	Solid Oxid Electrolysis; Feststoff-Oxid-Hochtemperatur-Elektrolyse
ST	Solarthermie
SUB	Subunternehmen
SWG	Sächsische Wohnungsgenossenschaft Chemnitz eG
THG	Treibhausgas
TREMOD	Transport Emission Model
TRL	Technology Readiness Level; Technologie-Reifegrad
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VREG	Vorrang-/Eignungsgebiet
VW	Volkswagen
WCW	Wohnungsbaugenossenschaft Chemnitz West eG

WG Einheit	Wohnungsgenossenschaft „EINHEIT“ eG Chemnitz
WKA	Windkraftanlage
WRRL	europäische Wasserrahmenrichtlinie
WW	Warmwasserbereitung
ZFH	Zweifamilienhaus

1 Energie- und Treibhausgas-Bilanz

Bevor eine Potenzialanalyse durchgeführt werden kann, ist es sinnvoll zuerst die tatsächlich anfallenden Endenergieverbräuche und Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) für Chemnitz zu analysieren, um die Handlungsschwerpunkte für das Klimaschutzteilkonzept identifizieren zu können. Hierfür wurden alle im betrachteten Territorium anfallenden Verbräuche auf Ebene der Endenergie berücksichtigt und den verschiedenen Verbrauchssektoren zugeordnet. Das Bezugsjahr ist 2017. Über spezifische Emissionsfaktoren erfolgt eine Berechnung der Kohlenstoffdioxid- und Kohlenstoffdioxid-Äquivalent-Emissionen (CO₂- und CO_{2eq}-Emissionen) in Summe und pro Einwohner. Die THG-Emissionen aus nicht energetischen Prozessen (Landwirtschaft, Abfall, Abwasser etc.) konnten aus der bisherigen CO₂-Bilanz für die Stadt Chemnitz übernommen werden. Die Emissionen sind als kgCO₂ und kgCO_{2eq} ausgewiesen. Die Darstellung der Verbräuche und Emissionen ist in folgende Sektoren aufgeteilt:

- private Haushalte,
- verarbeitendes Gewerbe/Industrie (Industrie) und Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD),
- öffentliche & kommunale Einrichtungen,
- Verkehr und
- nichtenergetische Emissionen.

Die verschiedenen Sektoren werden dabei nach der BSKO-Methode (Bilanzierungssystematik Kommunal) definiert [1]. Danach erfolgt im Sektor private Haushalte eine Berücksichtigung der Endenergiebedarfe aller privaten Nutzerinnen und Nutzer in Chemnitz (d. h. alle Ein- und Mehrpersonenhaushalte einschließlich der Personen in Gemeinschaftsunterkünften). Dazu gehören demnach auch sämtliche Wohnheime und kommunale Einrichtungen, die dem Zweck Unterkunft bzw. Wohnen dienen. Dies beinhaltet auch die Bewohnerschaft von gewerblichen oder städtischen Immobilien. Zu dem Sektor Industrie und GHD gehören Betriebe des verarbeitenden Gewerbes (Industrie und verarbeitendes Handwerk) von Unternehmen des produzierenden Gewerbes mit 20 und mehr Beschäftigten. Dies entspricht der Definition im Rahmen der Energieverbrauchserfassung der statistischen Landesämter. Einzelne Bereiche werden bereits ab zehn Mitarbeitern erfasst, sofern sie Mehrbetriebsunternehmen zugehören, die insgesamt mehr als 20 Mitarbeiter haben. GHD umfasst die Energieverbräuche aller bisher nicht erfassten wirtschaftlichen Betriebe. Hinzu kommen Betriebe des Bergbaus, der Gewinnung von Steinen und Erden sowie des verarbeitenden Gewerbes mit weniger als 20 Mitarbeitern. Aufgrund nicht getrennt vorliegender Daten zu den Sektoren Industrie und GHD erfolgt eine gemeinsame Auswertung. Die öffentlichen und kommunalen Einrichtungen umfassen alle Energieverbräuche der öffentlichen Gebäude und kommunalen Liegenschaften (eigene Immobilien und Mietobjekte). Innerhalb dieser Sektoren erfolgt eine Unterscheidung bzgl. der genutzten Endenergieträger:

- Kraftstoffe (Benzin, Diesel, Erdgas),
- elektrischer Strom,
- Erdgas,
- Fernwärme,
- Heizöl,
- Braunkohle (-briketts),
- Biomasse (Holzpellets) und
- Flüssiggas.

Zusätzlich zur endenergiebasierten Territorialbilanz für Chemnitz erfolgt ein Vergleich mit dem gesamtdeutschen Durchschnitt.

1.1 Stationärer Bereich

Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit von Bilanzen empfiehlt das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) im Rahmen der BSKO-Methode einheitliche Emissionsfaktoren zu nutzen, die auch CO₂-Äquivalente beinhalten. Im Rahmen der Harmonisierung soll überwiegend auf Daten der GEMIS-Datenbank (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme) und Studien des Umweltbundesamtes zurückgegriffen werden (Basisbilanz). Aus diesen Gründen erfolgte im Rahmen dieses Berichts zum Klimaschutzteilkonzept für Chemnitz die Nutzung von Werten aus diesen Quellen. Auf eine Witterungskorrektur wurde verzichtet, da bei offiziellen Energie- und THG-Bilanzen auf Landes- und Bundesebene ebenfalls keine Korrektur erfolgt. Folgerichtig sieht auch die Methodik im Rahmen des Harmonisierungsprozesses von einer Witterungskorrektur ab. Tabelle 1 nennt die genutzten CO₂- und CO_{2eq}-Faktoren für die oben aufgeführten Endenergieträger in Chemnitz, Tabelle 2 für den gesamtdeutschen Durchschnitt. Für die Fernwärme und den Strom in Chemnitz liegen keine CO_{2eq}-Faktoren vor, es erfolgt die Nutzung der CO₂-Faktoren¹.

Tabelle 1: CO₂-Faktoren und CO_{2eq}-Faktoren für Chemnitz im Jahr 2017 [2], [3], [4], [5], [6]

Endenergieträger	CO ₂ -Faktor [t/TJ]	CO _{2eq} -Faktor [t/TJ]
Strom	100,3	100,3
Erdgas	55,9	56,1
Fernwärme	109,2	109,2
Heizöl	74,0	74,2
Braunkohle	99,5	107,0
Biomasse	3,0	3,0
Flüssiggas	65,3	65,3

Tabelle 2: CO₂-Faktoren und CO_{2eq}-Faktoren für Deutschland im Jahr 2017 [2], [3], [4], [5]

Endenergieträger	CO ₂ -Faktor [t/TJ]	CO _{2eq} -Faktor [t/TJ]
Strom	135,0	137,6
Erdgas	55,9	56,1
Fernwärme	73,5	74,2
Heizöl	74,0	74,2
Steinkohle	97,6	104,4
Braunkohle	99,5	107,0
Biomasse	3,0	3,0
Flüssiggas	65,3	65,3

¹ Das bedeutet, dass die CO_{2eq}-Emissionen in Realität höher sind als die hier aufgelisteten Zahlenwerte. Bei einer Annahme der gleichen prozentualen Steigerung der CO_{2eq}-Faktoren im Vergleich zu den CO₂-Faktoren wie im Bundesdurchschnitt ergäben sich in Chemnitz ca. 1,0 % höhere CO_{2eq}-Emissionen bei der Fernwärme und ca. 1,9 % für den Strommix.

1.1.1 Endenergieverbrauch

Abbildung 1 bis Abbildung 3 zeigen die Werte für den Endenergieverbrauch in den Sektoren private Haushalte, Industrie & GHD sowie öffentliche und kommunale Einrichtungen für die Jahre 2012 und 2017 in Chemnitz und Deutschland. Da die Verbrauchsdaten für 2017 nicht bzw. nur teilweise sektorspezifisch vorliegen, erfolgt eine Aufteilung des Gesamtverbrauchs auf Basis der prozentualen Verteilung von 2012 in der Masterarbeit von Herrn Förtsch [7]. Der Gesamtendenergieverbrauch in Chemnitz für die Jahre 2012 und 2017 beträgt 3.282 GWh/a bzw. 3.182 GWh/a.

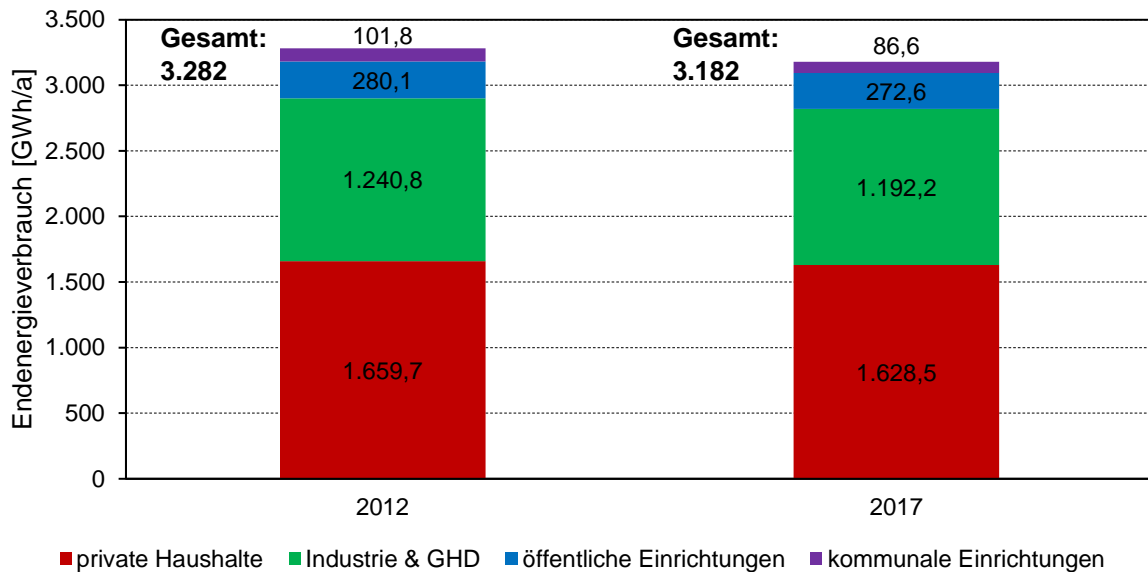


Abbildung 1: sektorspezifischer Endenergieverbrauch Chemnitz 2012 und 2017 [15]

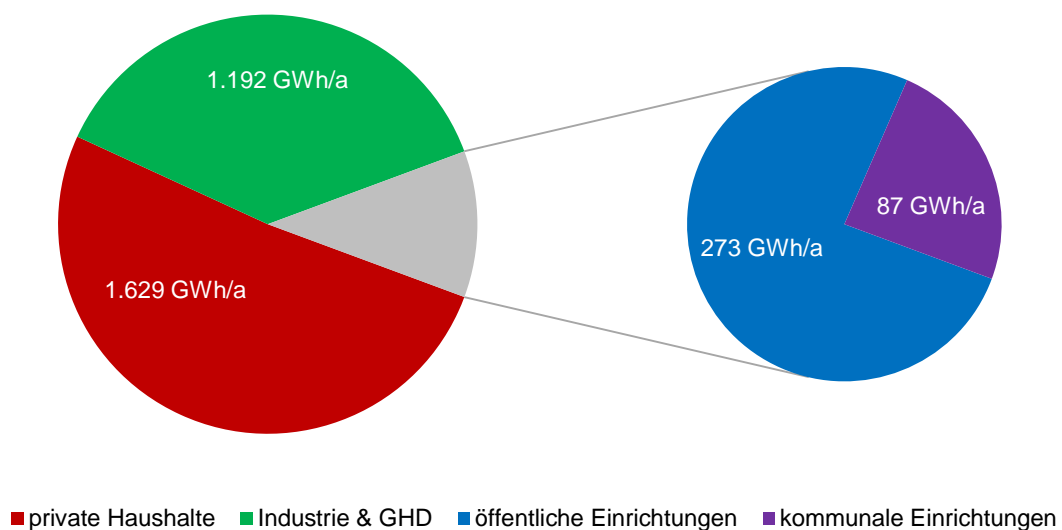


Abbildung 2: sektorspezifischer Endenergieverbrauch Chemnitz 2017 [15]

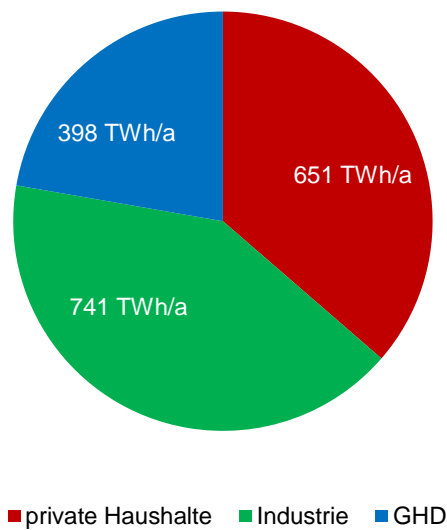


Abbildung 3: sektorspezifischer Endenergieverbrauch Deutschland 2017

Der Sektor kommunale Einrichtungen ist dabei hinsichtlich der eigenen und angemieteten Immobilien wie folgt aufgeteilt (Abbildung 4). Die angemieteten Objekte verbrauchen ausschließlich Strom und Fernwärme.

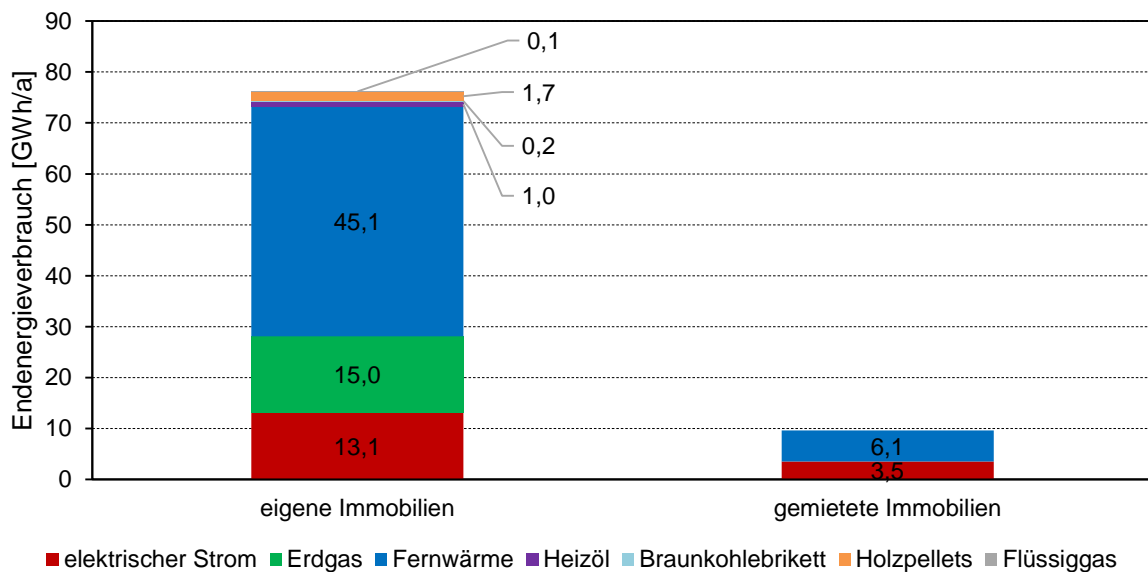


Abbildung 4: Endenergieverbrauch der kommunalen Gebäude in Chemnitz 2017 [15]

Bei einem Pro-Kopf-Vergleich des Endenergieverbrauchs (Abbildung 5) ist zunächst der deutlich niedrigere Verbrauch in Chemnitz im Vergleich zum Durchschnitt in Deutschland auffällig. Dies ist teilweise auf den Fakt zurückzuführen, dass in Chemnitz vergleichsweise wenig Industrie ansässig ist und dementsprechend auch generell weniger Verbrauch anfällt. Der Sektor private Haushalte kann besser verglichen werden und zeigt in Chemnitz dennoch um ca. 17 % niedrigere Verbrauchswerte.

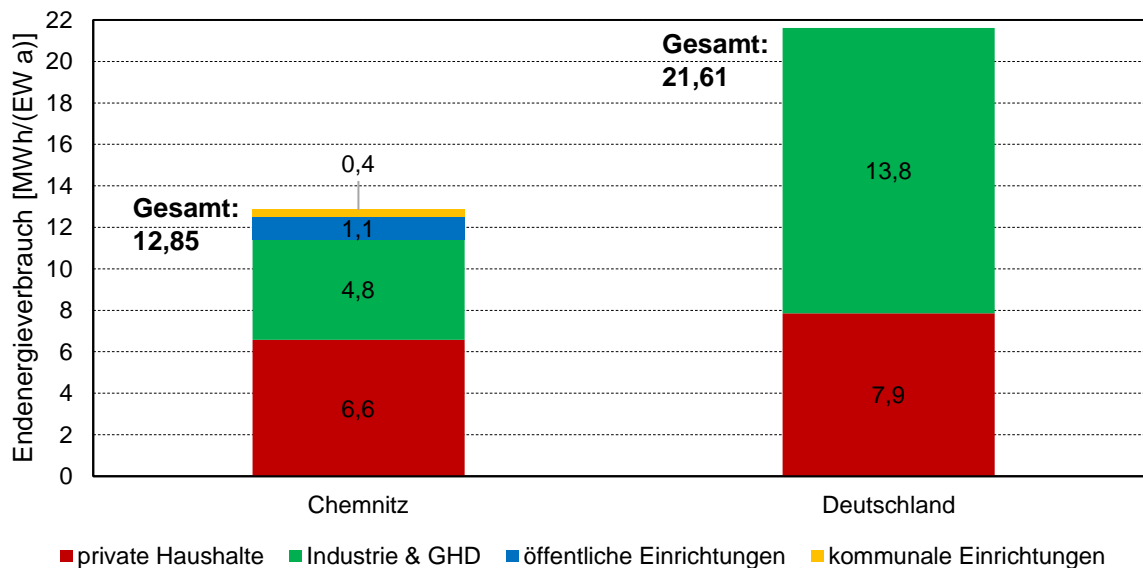


Abbildung 5: Vergleich des Endenergieverbrauchs pro Kopf und Sektor in Chemnitz und Deutschland 2017

Die Auswertung nach den genutzten Energieträgern (Abbildung 6) zeigt, dass vor allem Strom, Erdgas und Fernwärme zum Einsatz kommen. Die restlichen genutzten Energieträger (Heizöl, Braunkohle, Holzpellets) machen lediglich einen Anteil von insgesamt ca. 3 % aus.

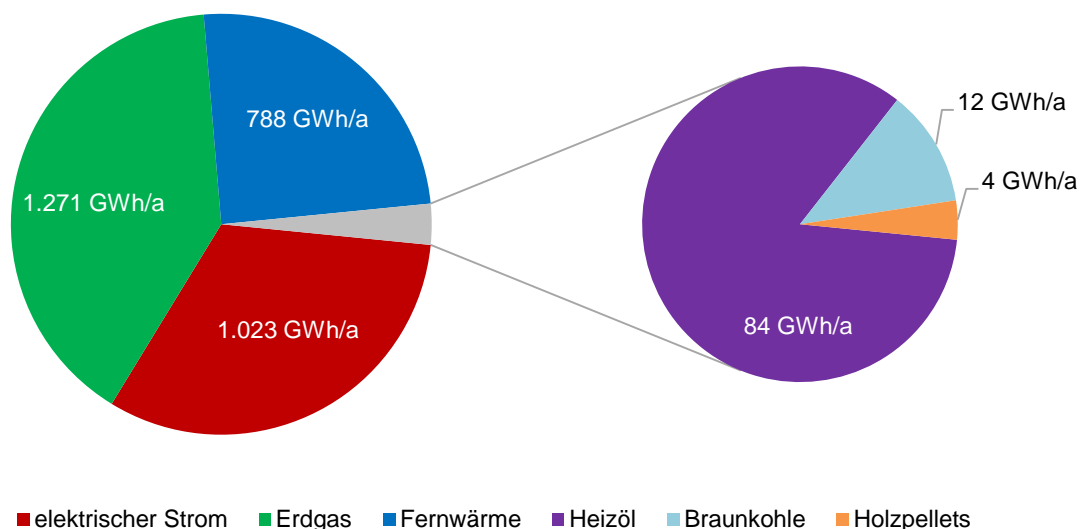


Abbildung 6: Endenergieverbrauch nach Energieträgern in Chemnitz 2017 [15]

Bei einem Pro-Kopf-Vergleich der genutzten Energieträger zwischen Chemnitz und Deutschland (Abbildung 7 und Abbildung 8), fällt vornehmlich die starke Nutzung der Fernwärme in Chemnitz auf. Weiterhin erfolgte im Jahr 2017 keine relevante Nutzung von Steinkohle, Flüssiggas oder anderen sonstigen Energieträgern.

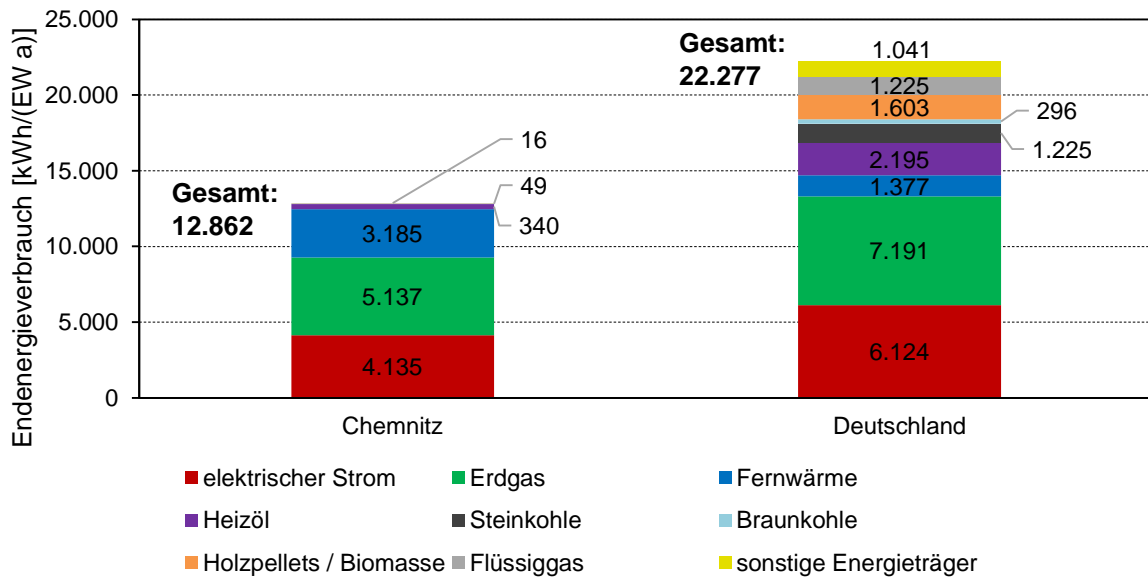


Abbildung 7: Vergleich des Endenergieverbrauchs pro Kopf und Energieträger in Chemnitz und Deutschland 2017

Ein Vergleich des Sektors private Haushalte zeigt einen geringen Strombedarf, einen leicht erhöhten Erdgasbedarf und einen deutlich erhöhten Fernwärmebezug. Im Gegenzug ergibt sich ein sehr geringer Bezug von Heizöl. Die Nutzung von Biomasse (bspw.: Holzpellets) ist ausbaufähig.

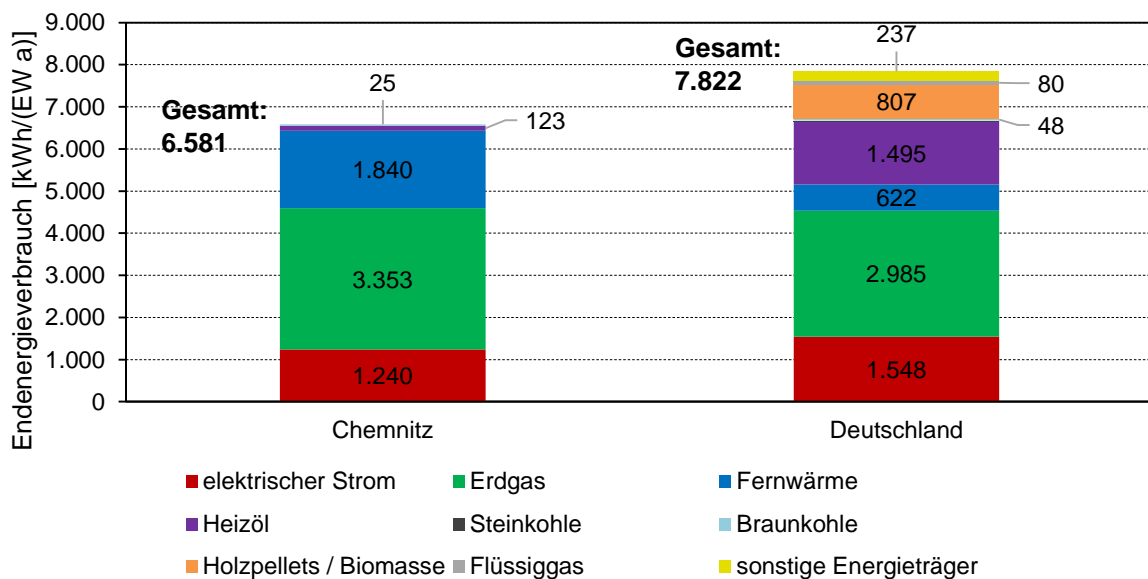


Abbildung 8: Vergleich des Endenergieverbrauchs pro Kopf für den Sektor private Haushalte in Chemnitz und Deutschland 2017

1.1.2 Treibhausgas-Emissionen

Tabelle 3 und Abbildung 9 bis Abbildung 11 zeigen die anfallenden THG-Emissionen pro Einwohner und Jahr in kgCO₂- und kgCO₂-Äquivalenten im Vergleich zum deutschlandweiten Durchschnitt. Diese Werte sind zwingend vor dem Hintergrundwissen der nicht uneingeschränkten Vergleichbarkeit der Werte für Chemnitz und Deutschland zu interpretieren. Wie

bereits angesprochen, liegen für den regionalen Strom- und Fernwärmemix keine CO_{2eq}-Faktoren vor. Hier erfolgte stattdessen die Nutzung des CO₂-Faktors.

Tabelle 3: Zusammenfassung der THG-Emissionen im stationären Bereich für Chemnitz im Jahr 2017 aufgeteilt nach Sektor und Energieträger

CO ₂ -Emissionen 2017	private Haushalte		Industrie & GHD		öffentliche Einrichtungen		kommunale Einrichtungen	
	[kt]	[kg/EW]	[kt]	[kg/EW]	[kt]	[kg/EW]	[kt]	[kg/EW]
elektrischer Strom	110,76	447,66	223,65	903,93	28,61	115,63	6,28	25,39
Erdgas	166,96	674,78	79,60	321,71	6,20	25,07	3,02	12,20
Fernwärme	178,89	723,00	53,51	216,27	57,17	231,05	20,12	81,33
Heizöl	8,13	32,88	10,90	44,06	3,07	12,43	0,27	1,08
Braunkohle	2,26	9,12	0,00	0,00	1,97	7,96	0,07	0,29
Biomasse	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07
Flüssiggas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,10
Gesamt	466,99	1.887,44	367,66	1.485,98	97,03	392,15	29,80	120,45

CO _{2eq} -Emissionen 2017	[kt]	[kg/EW]	[kt]	[kg/EW]	[kt]	[kg/EW]	[kt]	[kg/EW]
elektrischer Strom	110,76	447,66	223,65	903,93	28,61	115,63	6,28	25,39
Erdgas	167,55	677,20	79,88	322,86	6,22	25,16	3,03	12,24
Fernwärme	178,89	723,00	53,51	216,27	57,17	231,05	20,12	81,33
Heizöl	8,16	32,97	10,93	44,18	3,08	12,46	0,27	1,08
Braunkohle	2,43	9,81	0,00	0,00	2,12	8,56	0,08	0,31
Biomasse	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07
Flüssiggas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,10
Gesamt	467,78	1.890,63	367,98	1.487,25	97,21	392,87	29,82	120,52

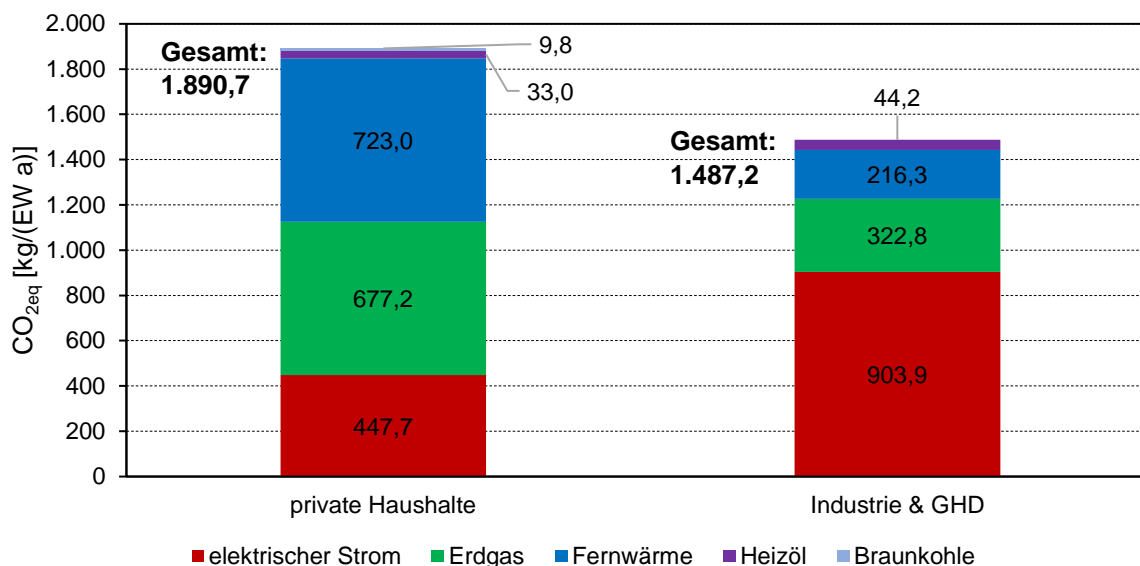


Abbildung 9: CO₂-Äquivalent-Emissionen pro Einwohner für die Sektoren private Haushalte und Industrie & GHD in Chemnitz 2017

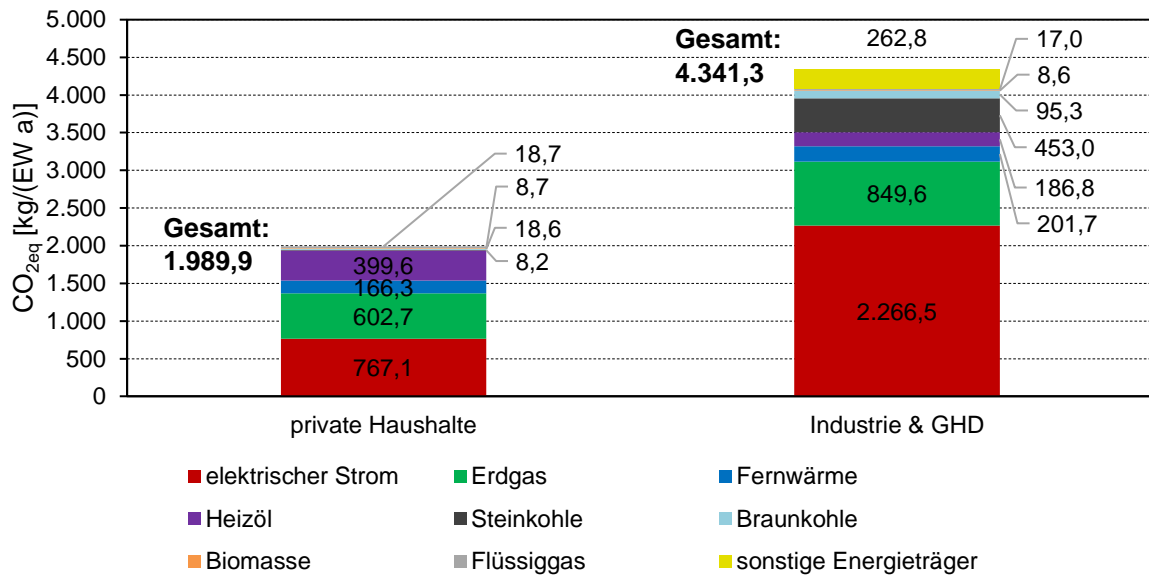


Abbildung 10: CO₂-Äquivalent-Emissionen pro Einwohner für die Sektoren private Haushalte und Industrie & GHD in Deutschland 2017

In Chemnitz fallen für die beiden Sektoren private Haushalte und Industrie & GHD weniger THG-Emissionen pro Einwohner an als der deutschlandweite Durchschnitt. Insbesondere der Vergleich der privaten Haushalte (Abbildung 11) ist interessant. Es ist zu erkennen, dass die THG-Emissionseinsparungen in Chemnitz zum einen auf den geringen Stromverbrauch und auf den niedrigen CO₂-Faktor für den lokalen Strommix (100,3 t/TJ in Chemnitz zu 135,0 t/TJ durchschnittlich in Deutschland) zurückzuführen sind. Weiterhin gleicht dies der erhöhte Faktor (und hohe Verbrauch) für die regionale Fernwärme (109,2 t/TJ in Chemnitz zu 73,5 t/TJ durchschnittlich in Deutschland) nur zum Teil wieder aus. Positiv hinzu kommt der vergleichsweise äußerst geringe Verbrauch an Heizöl.

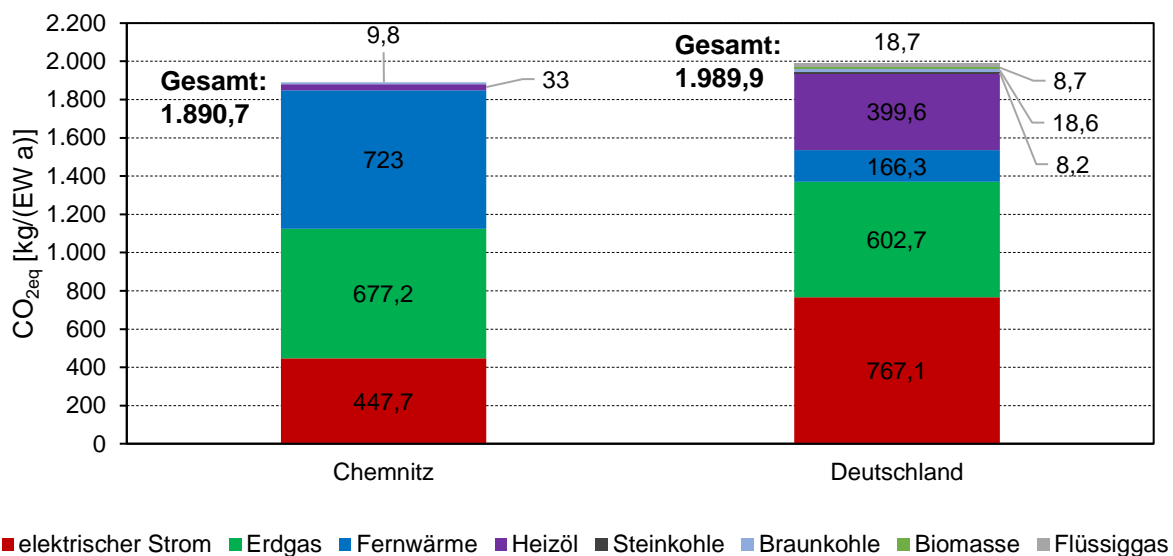


Abbildung 11: CO₂-Äquivalent-Emissionen pro Einwohner für den Sektor private Haushalte in Chemnitz und Deutschland 2017

1.2 Verkehr

Die THG-Emissionen infolge kommunaler Verkehrsaktivitäten wurden für Chemnitz als endenergiebasierte Territorialbilanz bestimmt. Aus kommunenspezifischen Fahrleistungen und Endenergieverbräuchen sowie nationalen Kennwerten der energieträgerspezifischen Emissionsfaktoren resultieren die verkehrsbedingten THG-Emissionen, die innerhalb des Territoriums bzw. im Stadtgebiet entstehen. Der Chemnitzer Verkehrssektor ist geprägt vom Straßenverkehr durch den motorisierten Individualverkehr, den öffentlichen Personennahverkehr mit Bussen und Straßenbahnen sowie den Güterverkehr. Die Eisenbahnstrecken im Stadtgebiet werden von den Eisenbahnunternehmen Deutsche Bahn AG (DB AG), Mitteldeutsche Regiobahn (MRB) und City-Bahn Chemnitz GmbH (Chemnitzer Modell) befahren. Es besteht keine relevante Anbindung an den Luft- und Schiffsverkehr.

Für die Erstellung der persönlichen THG-Bilanz je Einwohner wurde der tatsächliche Wirkungsbereich erweitert. Die Berücksichtigung des individuellen Mobilitätsverhaltens und des Gütertransports unabhängig vom Ort ihrer Erbringung ergänzt das einwohnerbezogene Handlungsfeld für die Stadt Chemnitz. Die THG-Emissionen durch den nationalen Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr fließen als Bundesdurchschnitt in die Einwohnerbilanz ein. Die Emissionen durch den internationalen Luft- und Schiffsverkehr sind ebenfalls ausgewiesen, jedoch ist eine adäquate Umlage auf den einzelnen Einwohner nicht zweckmäßig.

1.2.1 Straßenverkehr

Für den Straßenverkehr von Chemnitz wurden zum Berichtsjahr 2017 pro Werktag 4.446.001 zurückgelegte Fahrzeugkilometer ermittelt, wovon 1.176.891 km (etwa 26,5 %) den im Stadtgebiet verlaufenden Abschnitten der Bundesautobahnen A 4 und A 72 zugerechnet sind. Tabelle 4 enthält die aufgeschlüsselten Fahrleistungen für Personenkraftwagen (PKW), leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und schwere Nutzfahrzeuge (SNF, über 3,5 t). Zur makroskopischen Verkehrssimulation hat das Tiefbauamt der Stadt Chemnitz die Software *PTV Visum* eingesetzt, sodass die angegebenen Fahrleistungen in einer Territorialbilanz anwendbar sind. Die jährliche Fahrleistung inklusive Wochenendverkehr wird mit einem Ergänzungsfaktor von 0,9 angepasst [8] und beträgt somit $1.460 \cdot 10^6$ km.

Tabelle 4: Fahrzeugkilometer pro Werktag für das Stadtgebiet Chemnitz im Jahr 2017 [8]

	Fahrleistung ohne Autobahnen [km/d]	Fahrleistung nur Autobahnen [km/d]	Fahrleistung gesamt [km/d]
PKW	2.854.560	930.223	3.784.783
LNF ($\leq 3,5$ t)	263.181	98.392	361.573
SNF ($> 3,5$ t)	151.369	148.276	299.645
Summe	3.269.110	1.176.891	4.446.001

Der spezifische Endenergieverbrauch der im Stadtgebiet bewegten Kraftfahrzeuge ist stark von lokalen Betriebsbedingungen (Geschwindigkeiten, Fahrdynamik) und individuellen Fahrzeugeigenschaften (Technologien, Verbrauchseigenschaften) abhängig. Auf die Fahrleistung bezogene Verbrauchswerte können nur als Bundesdurchschnitt ermittelt und entsprechend auf Chemnitz bezogen werden. Als Grundlage soll der jährliche Bericht zum deutschen THG-Inventar dienen, den das Umweltbundesamt (UBA) gemäß Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019 angefertigt hat. In der Kategorie *Transport – Straßenverkehr* sind die bundesweiten CO₂-, CH₄- (Methan) und N₂O-Emissionen

(Distickstoffmonoxid) für das Berichtsjahr 2017 angegeben (Tabelle 5). Die Berechnung der Treibhausgase Methan und Distickstoffmonoxid in CO₂-Äquivalenten erfolgt gemäß *Viertem Sachstandsbericht des IPCC (AR4) [11]* mit relativen Treibhauspotenzialen (GWP) von 25 für CH₄ und 298 für N₂O bezogen auf deren Wirkungen über einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Tabelle 5: Emissionen von Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffmonoxid sowie die resultierenden CO₂-Äquivalente aus dem Straßenverkehr Deutschlands 2017 [4]

Jahr	CO ₂ [kt]	CH ₄ [kt]	CO _{2eq} [kt]	N ₂ O [kt]	CO _{2eq} [kt]	CO _{2eq} [kt]
2017	160.082,9	5,40	134,9	5,37	1.601,2	161.819,0

Tabelle 6: Fahrzeugkilometer in Deutschland im Jahr 2017 [9]

	Verbrennungs- motoren [·10 ⁶ km]	elektrische Antriebe [·10 ⁶ km]	Fahrleistung gesamt [·10 ⁶ km]
PKW	658.610	979	659.589
LNF (≤ 3,5 t)	41.531	64	41.595
SNF (LKW > 3,5 t)	61.474	15	61.489
SNF (Bus > 3,5 t)	3.737	5	3.742
Krafträder	16.512	26	16.538
Summe	781.864	1.089	782.953

Die mit dem Daten- und Rechenmodell TREMOD (Transport Emission Model) berechneten Werte basieren auf Kfz-Bestandsdaten, Kraftstoffverkäufen, Fahrleistungen, Verbräuchen sowie Emissionsfaktoren nationaler Quellen. Aus den angegebenen CO₂-Emissionswerten und dem Gesamtwert für das CO₂-Äquivalent als Treibhauspotenzial wurden auf die Fahrleistung bezogene Emissionen bestimmt. Im Bundesdurchschnitt führt ein zurückgelegter Fahrzeugkilometer somit zu einem Ausstoß von 204,5 g/km CO₂ bzw. 206,7 g/km CO_{2eq}. Der motorisierte Straßenverkehr im Stadtgebiet von Chemnitz hat zur Folge, dass jährlich 298,7 ktCO₂ oder insgesamt ein CO₂-Äquivalent von 301,9 kt in die Atmosphäre abgegeben wird. Bei 247.422 Einwohnern (Stichtag 31.12.2017, [10]) ergeben sich entsprechende persönliche THG-Bilanzen von 1.207 kgCO₂ bzw. 1.220 kgCO_{2eq} pro Einwohner von Chemnitz. Neben dem vorgestellten Berechnungspfad A (vgl. Abbildung 12) sind zwei weitere Berechnungspfade B und C zur Ermittlung der persönlichen THG-Bilanz wählbar. Die Pfade sind stark (A, C) oder schwach (B) kommunenspezifisch ausgerichtet und können hinsichtlich ihrer Eingangsdaten in unterschiedlichem Maße angepasst werden. Insbesondere liefert der Berechnungspfad C die Möglichkeit, kommunale Kraftstoffverbräuche sowie auf den Kraftfahrzeugbestand bezogene Emissionsfaktoren zu verwenden, sofern diese bekannt sind. Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse der unterschiedlichen Berechnungspfade. Bezogen auf den Straßenverkehr von Chemnitz liefert Pfad C eine 5 % höhere THG-Bilanz als Pfad A. Die Ergebnisse nach Pfad B entsprechen dem Bundesdurchschnitt für das THG-Inventar und geben mit +60 % eine wesentlich höhere persönliche THG-Bilanz wieder, die als nicht hinreichend repräsentativ zu betrachten ist. Aufgrund individueller Gegebenheiten der infrastrukturellen, wirtschaftlichen und demografischen Ausprägungen in Chemnitz besitzen die Ergebnisse der Pfade A und C eine höhere Aussagekraft für die lokale Einwohnerbilanz.

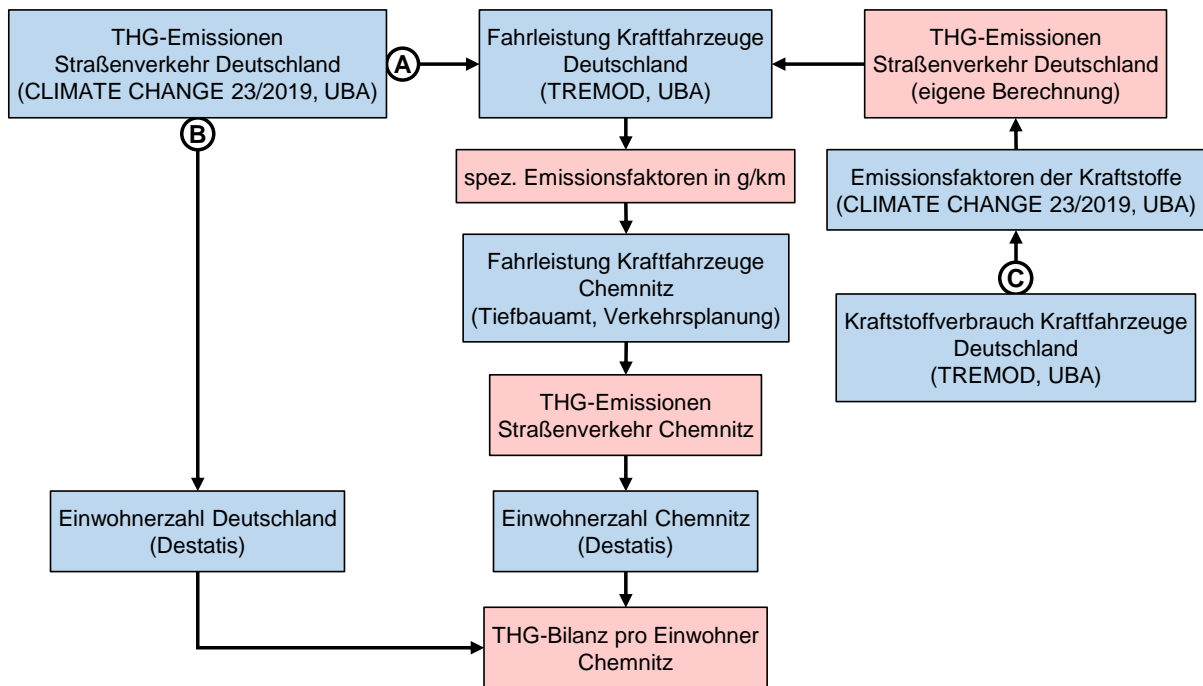


Abbildung 12: Darstellung von Berechnungspfaden zur Ermittlung der persönlichen THG-Bilanz im kommunalen motorisierten Straßenverkehr von Chemnitz mit unterschiedlichen Eingangsdaten, Zwischenergebnissen und Kommunenbezug

Um langfristig einen Bezug zum emissions- bzw. kraftstoffspezifischen Fahrzeugbestand herzustellen, sind in Tabelle 8 verschiedene Fahrzeugklassen und Kraftstoffarten hinsichtlich des jeweiligen bundesweiten Verbrauchs im Bezugsjahr 2017 zusammengefasst. Die klimarelevanten Emissionen pro Fahrzeugkilometer der Elektrofahrzeuge fallen trotz Berücksichtigung des deutschen Strommix geringer aus als bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Durch die relativ geringe Fahrleistung von Elektrofahrzeugen in Deutschland (vgl. Tabelle 6) soll angenommen werden, dass die Elektromobilität insbesondere für das Stadtgebiet von Chemnitz zunächst keine relevanten Mengen von Treibhausgasen verursacht. Zur Ermittlung der THG-Emissionen aus dem Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren enthält Tabelle 9 die zugehörigen Emissionsfaktoren nach Kraftstoffart. Für Bioethanol, Biodiesel und Biogas werden die Emissionsfaktoren zu CH₄ und N₂O durchweg denjenigen von konventionellem Ottokraftstoff, Diesel bzw. Erdgas gleichgesetzt.

Tabelle 7: Gegenüberstellung der Ergebnisse verschiedener Berechnungsmöglichkeiten (Pfade) zur Ermittlung verkehrsbedingter THG-Emissionen und Einwohnerbilanzen für Chemnitz

Berechnungspfad		A	B	C
spez. Emissionsfaktoren für [g/km]	CO ₂	204,5	–	214,2
	CO _{2eq}	206,7	–	216,4
Emission in Chemnitz [kt]	CO ₂	298,6	478,4	312,8
	CO _{2eq}	301,9	483,6	316,0
Einwohnerbilanz [kg]	CO ₂	1.206,9	1.933,5	1.264,2
	CO _{2eq}	1.220,0	1.954,5	1.277,3

Tabelle 8: Kraftstoffverbrauch nach Fahrzeugklassen und Kraftstoffart in Deutschland 2017 [9]

Fahrzeug- klasse	Benzin [TJ]	Diesel [TJ]	LPG [TJ]	CNG [TJ]	Bioethanol [TJ]	Biodiesel [TJ]	Biogas [TJ]	Summe [TJ]
PKW	688.601	639.270	13.101	3.836	29.312	33.906	911	1.408.937
LNF (≤ 3,5 t)	4.264	96.467	469	770	182	5.116	183	107.451
SNF (LKW > 3,5 t)	0	636.425	0	24	0	33.755	6	670.210
SNF (Bus > 3,5 t)	0	50.405	0	569	0	2.673	0	53.647
Krafträder	18.809	0	0	0	801	0	0	19.610
Summe	711.674	1.422.567	13.570	5.199	30.295	75.450	1.100	2.259.855

Tabelle 9: Emissionsfaktoren der treibhausrelevanten Gase CO₂, CH₄ und N₂O für verschiedenen Kraftstoffarten [4]

THG	Benzin [kg/TJ]	Diesel [kg/TJ]	LPG [kg/TJ]	CNG [kg/TJ]	Bioethanol [kg/TJ]	Biodiesel [kg/TJ]	Biogas [kg/TJ]
CO ₂	75.285	74.027	66.334	55.827	71.607	70.800	90.584
CH ₄	6,80	0,19	1,92	6,51	6,80	0,19	6,51
N ₂ O	0,56	3,29	1,32	0,87	0,56	3,29	0,87

Die berechneten Emissionen der treibhausrelevanten Gase CO₂, CH₄ und N₂O sowie die Summe der resultierenden CO₂-Äquivalente sind in Tabelle 10 zusammengefasst. Für Methan wurde ein GWP_{CH₄} von 25 und für Distickstoffoxid ein GWP_{N₂O} von 298 verwendet, jeweils bezogen auf 100 Jahre [11]. Aktuellere Kennwerte mit GWP_{CH₄} = 28 und GWP_{N₂O} = 265 [12] sind für das THG-Inventar 2017 [4] nach Maßgabe der letztgültigen UNFCCC-Leitlinien zur Berichterstattung (FCCC/CP/2013/10/Add. 3) bzw. der 2013 zur Klimakonferenz in Warschau getroffenen Entscheidung 24/CP.19 noch kein Bestandteil der Kalkulationen. Mit der nationalen Gesamtfahrleistung aus Tabelle 6 ergeben sich nach Pfad C ein bundesdurchschnittlicher Ausstoß von 214,2 g/km CO₂ bzw. 216,4 g/km CO_{2eq}. Die zugehörigen persönlichen THG-Bilanzen sind Tabelle 7 zu entnehmen.

Tabelle 10: THG-Emissionen des Straßenverkehrs als CO₂-Äquivalent mit GWP_{CH₄} = 25 und GWP_{N₂O} = 298

THG	Benzin [kt]	Diesel [kt]	LPG [kt]	CNG [kt]	Bioethanol [kt]	Biodiesel [kt]	Biogas [kt]	Summe [kt]
CO ₂	53.578,38	105.308,37	900,15	290,24	2.169,33	5.341,86	99,64	167.687,98
CH ₄	120,98	6,76	0,65	0,85	5,15	0,36	0,18	134,93
N ₂ O	118,76	1.394,71	5,34	1,35	5,06	73,97	0,29	1.599,48
CO _{2eq}	53.818,13	106.709,84	906,14	292,44	2.179,54	5.416,19	100,11	169.422,38

Tabelle 11: Emissionen von Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid sowie die resultierenden CO₂-Äquivalente aus dem Straßenverkehr Deutschlands 2017, berechnet über den nationalen Kraftstoffverbrauch (Tabelle 8) gemäß Pfad C aus Abbildung 12 [9]

Jahr	CO ₂ [kt]	CH ₄ [kt]	CO _{2eq} [kt]	N ₂ O [kt]	CO _{2eq} [kt]	CO _{2eq} [kt]
2017	167.687,98	5,40	134,93	5,37	1.599,48	169.422,38

Die Berechnung der THG-Emissionen nach Berechnungspfad C liefert die höchste Auflösung und den höchsten Detailgrad, wodurch spezifische Anpassungen für den Straßenverkehr von Chemnitz möglich sind. Der Berechnungspfad C wird langfristig als bevorzugte Methode für die kommunale THG-Bilanz vorgeschlagen.

Die zugrunde liegende tägliche Fahrleistung in Tabelle 4 resultiert aus dem innerstädtischen Verkehr, dem durchfahrenden Fernverkehr sowie dem überschneidenden Pendlerverkehr. Der Pendlerverkehr mit zehn umliegenden Kreisen bestand 2017 aus 67.793 sozialversicherungspflichtigen Beschäftigten bei 45.911 Einpendlern und 21.882 Auspendlern (Stichtag: 30. Juni 2017, [13]). Im Jahr 2018 blieb die Anzahl mit 67.875 Pendlern etwa konstant (Stichtag: 30. Juni 2018, [13]). Etwa 82 % der über die Stadtgrenze pendelnden Erwerbstätigen nutzten PKWs und rund 17 % wählten öffentliche Verkehrsmittel [14]. Unter Berücksichtigung der Hin- und Rückfahrt sowie des für Chemnitz üblichen PKW-Besetzungsgrads von 1,3 [15] können werktags bereits 85.000 Fahrzeugbewegungen auf den Pendlerverkehr durch Erwerbstätige zurückgeführt werden. Ein Großteil der pendelnden Schüler und Studierenden nutzt erfahrungsgemäß elterliche Mitfahrgelegenheiten oder vergünstigte Angebote für öffentliche Verkehrsmittel. Der Anteil tatsächlicher Tagespendler gegenüber Wochenpendlern ist jedoch nicht abschätzbar. Aus den Verkehrszahlen durch Pendler lassen sich Einsparpotenziale für den Ausstoß von Treibhausgasen ableiten.

1.2.2 Öffentlicher Personennahverkehr

Der öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) im Stadtgebiet von Chemnitz erfolgt durch Linienbusse, Straßenbahnen und auf Eisenbahnstrecken mit fließendem Übergang in den Regionalverkehr. Die Chemnitzer Verkehrs-Aktiengesellschaft (CVAG), Euro Traffic Partner GmbH (ETP) und verschiedenen Subunternehmen (SUB) befahren mit Omnibussen ein Netz aus 38 Linien mit einer Länge von rund 340 km (Stand: Dezember 2016, [16]). Auf einer Linienlänge von 35 km betreibt die CVAG fünf Straßenbahnlinien. Im Zuge des Chemnitzer Modells wird durch die City-Bahn Chemnitz GmbH (CBC) ein Regionalstadtbahn-System mit Linien nach Stollberg, Burgstädt, Mittweida und Hainichen bedient. Auf den hierfür genutzten Eisenbahnstrecken fährt die Mitteldeutsche Regiobahn (MRB) bspw. nach Leipzig, Dresden und Hof. Die zur Deutschen Bahn AG gehörende Erzgebirgsbahn verbindet Chemnitz mit Zielen in Mittelsachsen und im Erzgebirgskreis. Da verschiedene Streckenabschnitte nicht elektrifiziert sind, verkehren innerhalb der Stadtgrenze Diesel- und Zweikraftloks.

Durch die CVAG, City-Bahn, ETP und Subunternehmen stehen für das Bezugsjahr 2017 die Verbrauchswerte zu den Energiequellen Diesel, Erdgas und Strom zur Verfügung. Die Energieverbräuche und resultierenden THG-Emissionen sind in Tabelle 12 zusammengefasst. Im Rahmen des Chemnitzer Stadtliniennetzes wurden demnach rund 8.340 tCO_{2eq} ausgestoßen. Dem Straßenbahnnetz steht Ökostrom zur Verfügung, sodass mit den Fahrleistungen keine THG-Emissionen verbunden sind. Im Jahr 2017 hat die CVAG (inkl. ETP und SUB) auf 866,2 Mio. angebotenen Platzkilometern insgesamt 32,8 Mio. Personen befördert [16]. Rund 2,7 Mio. Personen haben 2017 die City-Bahnen genutzt [17]. Pro beförderte Person kann demnach ein verursachter Ausstoß von etwa 235 gCO_{2eq} angenommen werden.

Tabelle 12: Verbrauch der verschiedenen Verkehrsmittel des ÖPNV in Chemnitz [16], [17]

		Diesel	Erdgas (CNG)	Strom	Summe
Verbrauch 2017		[TJ]	[TJ]	[TJ]	[TJ]
Straßenbahnen	CVAG	0,00	0,00	43,49	43,49
	CBC	0,00	0,00	6,34	6,34
Busse	CVAG	72,21	6,47	0,00	78,68
	ETP	26,18	0,00	0,00	26,18
	SUB	7,94	0,00	0,00	7,94
	Summe	106,33	6,47	49,83	162,63
Emissionen		[t]	[t]	[t]	[t]
THG	CO ₂	7.870,96	361,17	0,00	8.232,13
	CH ₄ (eq)	0,51	1,05	0,00	1,56
	N ₂ O (eq)	104,24	1,68	0,00	105,92
	CO₂eq	7.975,71	363,90	0,00	8.339,61

1.2.3 Schienenverkehr

Obwohl der Schienenverkehr nicht direkt im kommunalen Handlungsfeld liegt, soll er für die vollständige Erfassung aller THG-Emissionen im Territorium berücksichtigt werden. Chemnitz ist an verschiedene regionale Eisenbahnlinien (Regionalbahn und Regional-Express) angebunden. Auf den Gleisabschnitten im Stadtgebiet verkehren Lokomotiven und Triebzüge mit dieselmechanischen sowie elektrischen Antrieben. In Form von Beimengungen kommt Biodiesel zum Einsatz. Vereinzelt kommen in historischen Fahrzeugen feste Brennstoffe zum Einsatz. In Tabelle 13 ist der Verbrauch der Kraft- und Brennstoffe des deutschen Schienenverkehrs zusammengefasst [9]. Mittels landes- und kategoriespezifischen Emissionsfaktoren [4] wurden die Emissionen für CO₂, CH₄, N₂O sowie das gesamte CO₂-Äquivalent bestimmt.

Tabelle 13: Kraftstoffverbrauch und mittels Emissionsfaktoren berechnete THG-Emissionen im deutschen Schienenverkehr 2017 [4], [9]

Verbrauch	Diesel [TJ]	Biodiesel [TJ]	Steinkohle [TJ]	Kohlekoks [TJ]	Summe [TJ]
2017	13.690	726	340	1	14.757
Emissionen	[kt]	[kt]	[kt]	[kt]	[kt]
CO ₂	1.013,43	51,40	31,81	0,11	1.096,75
CH ₄	0,33	0,02	0,02	0,00	0,37
N ₂ O	2,28	0,12	0,15	0,00	2,56
	CO₂eq	1.016,05	51,54	31,98	1.099,67

1.2.4 Schiffsverkehr

Der Schiffsverkehr ist in Binnenschifffahrt, nationale Küstenschifffahrt und internationale Hochseeschifffahrt zu unterteilen. In der Nationalen Energiebilanz (NEB) sind die Daten zur Lieferung von Primärbrennstoffen für den gesamten Schifffahrtssektor zu entnehmen. Aus den aufbereiteten Daten zum deutschen THG-Inventar [9] sowie für den Schiffsverkehr kategoriespezifischen Emissionsfaktoren [4] können die THG-Emissionen für den nationalen und internationalen Schiffsverkehr nach Tabelle 14 ermittelt werden.

Tabelle 14: Kraftstoffverbrauch und mittels Emissionsfaktoren berechnete THG-Emissionen der inländischen Küsten- und Binnenschifffahrt sowie internationalen Hochseeschifffahrt 2017 [4], [9]

		Diesöl	Biodiesel	Schweröl	Summe
Verbrauch 2017		[TJ]	[TJ]	[TJ]	[TJ]
Binnenschifffahrt		8.023	400	0	8.423
Küstenschifffahrt national		15.221	139	7	15.367
Hochseeschifffahrt international		23.165	0	58.781	81.946
Emissionen		[kt]	[kt]	[kt]	[kt]
Binnenschifffahrt	CO ₂	539,92	28,32	0,00	622,24
	CO _{2eq}	596,56	28,52	0,00	625,08
Küstenschifffahrt nat.	CO ₂	1.126,76	9,84	0,57	1.137,17
	CO _{2eq}	1.142,35	9,91	0,57	1.152,83
Hochseeschifffahrt int.	CO ₂	1.714,84	0,00	4.751,50	6.466,34
	CO _{2eq}	1.732,96	0,00	4.813,53	6.546,49

Der nationale Schiffsverkehr hat im Jahr 2017 Emissionen von 1.778 ktCO_{2eq} verursacht. Aus dem internationalen Schiffsverkehr können für Deutschland 6.546 ktCO_{2eq} zugeordnet werden. Da Chemnitz keine Wasserstraßen für die Binnenschifffahrt oder sonstige maritime Anbindungen besitzt, liegt der Schiffsverkehr außerhalb des kommunalen Handlungsfelds. Aus Gründen der Vergleichbarkeit, für eine gerechte Zuordnung und als Möglichkeit der vollständigen Betrachtung fließen diese Emissionen dennoch in die kommunale Bilanz bzw. die Einwohnerbilanz für Chemnitz ein.

1.2.5 Flugverkehr

Wie der Schiffs- und Schienenverkehr ist auch der Flugverkehr kaum durch die Kommune beeinflussbar. Zur Vollständigkeit aller Endenergieverbräuche im Territorium sowie durch den erheblichen Einfluss von Fern- bzw. Flugreisen auf die persönliche Bilanz werden die THG-Emissionen infolge des zivilen Luftverkehrs berücksichtigt. Die Entstehung von Emissionen im Flugverkehr unterscheidet sich wesentlich von denen der land- und wassergebundenen Verkehrsmittel. Insbesondere in Abhängigkeit von der Flughöhe variieren wesentliche Einflussfaktoren (Druck, Temperatur, Luftfeuchte) auf den Verbrennungsprozess. Neben der Unterteilung nach nationalen und internationalen Flügen werden daher auch die Flugbetriebszustände in die Ermittlung der verursachten Emissionen einbezogen. Als Flugbetriebszustände gelten Flugbewegungen bis 3.000 ft (LTO, Landing/Take-off) und der Reiseflug oberhalb von 3.000 ft (Cruise). Auf internationalen Flügen kommt Kerosin als Kraftstoff zum Einsatz. Für nationale Flüge liegt ein zusätzlicher Kraftstoffverbrauch von Flugbenzin vor, für den eine Aufteilung nach LTO und Cruise jedoch nicht erforderlich ist. Die Verbrauchsdaten für Kerosin und Flugbenzin sind durch die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB) verfügbar [9]. Das Modell TREMOD AV zur Berechnung der Energieeinsätze und Emissionen des Flugverkehrs teilt die Verbräuche den Flugbetriebszuständen zu. Die verwendeten Emissionsfaktoren für CO₂ entsprechen grundsätzlich den Inventarwerten für das deutsche THG-Inventar 2017 [4], [9]. Die nationale Datenlage für CH₄ und N₂O aus der Verbrennung von Kerosin ist jedoch schlecht. Zur erforderlichen Aufteilung in die beiden Flugbetriebszustände wurden die Daten der IPCC-Emissionsfaktoren-Datenbank (EFDB) entnommen. Emissionen von CH₄ treten nur im LTO-Zyklus auf, wohingegen N₂O-Emissionen auch für den Reiseflug zu berechnen sind. Für Flugbenzin wurden die Emissionsfaktoren für CH₄ und N₂O den für die Verwendung von Kerosin angegebenen Werten gleichgesetzt. Mit insgesamt 31.480 kt ausgestoßenem CO₂-Äquivalent

im Jahr 2017 (Tabelle 15) sollten die durch den Flugverkehr hervorgerufenen Umweltauswirkungen auch in kommunalen THG-Bilanzen bzw. in persönlichen Einwohnerbilanzen stets berücksichtigt werden. Hiervon sind 6,6 % der Emissionen des Flugverkehrs auf nationale Flugbewegungen zurückzuführen.

Tabelle 15: Kraftstoffverbrauch und mittels Emissionsfaktoren für Deutschland berechnete THG-Emissionen des nationalen und internationalen Flugverkehrs 2017 [4], [9]

	Kerosin (LTO)	Kerosin (Cruise)	Flugbenzin (LTO)	Summe
Verbrauch 2017	[TJ]	[TJ]	[TJ]	[TJ]
national	8.097	19.586	403	28.086
international	30.226	367.231	0	397.457
Emissionen	[kt]		[kt]	[kt]
national	CO ₂	2.027,95	28,21	2.056,16
	CO _{2eq}	2.049,82	28,57	2.078,39
international	CO ₂	29.116,11	0,00	29.116,11
	CO _{2eq}	29.401,98	0,00	29.401,98

1.2.6 Übriger Verkehr

In der Kategorie zum übrigen Verkehr sind nur die THG-Emissionen durch Gasturbinen in Erdgasverdichterstationen des Transportnetzes berücksichtigt. Die Gasturbinen der Förderstationen sind bereits innerhalb der Energiestatistik erfasst, wodurch eine Doppelzählung im THG-Inventar vermieden wird. Die verwendeten Emissionsfaktoren für den Erdgaseinsatz in den Erdgasverdichterstationen liegen schadstoffspezifisch als Ergebnisse verschiedener Forschungsprojekte und Expertenbetrachtungen des UBA vor. Die THG-Emissionen für 2017 sind aus dem Inventarbericht für 2017 entnommen und in Tabelle 16 zusammengefasst.

Tabelle 16: Emissionen von Kohlenstoffdioxid, Methan und Distickstoffoxid sowie die resultierenden CO₂-Äquivalente aus dem übrigen Verkehr Deutschlands 2017 [4], [9]

Jahr	CO ₂ [kt]	CH ₄ [kt]	CO _{2eq} [kt]	N ₂ O [kt]	CO _{2eq} [kt]	CO _{2eq} [kt]
2017	1.249,47	0,24	6,11	0,04	10,84	1.266,42

1.2.7 Treibhausgas-Emissionen im Sektor Verkehr in Deutschland und Chemnitz

In Tabelle 17 sind die berechneten THG-Emissionen für Deutschland im Bezugsjahr 2017 zusammengefasst. Die Emissionen sind aufgeteilt in CO₂, CH₄, N₂O und das resultierende CO₂-Äquivalent. Über die Einwohnerzahl Deutschlands mit 82.792.351 (Stichtag 31.12.2017, [18]) wurden persönliche Bilanzen für die Einwohner von Chemnitz ermittelt. Im Bereich des Straßenverkehrs fließen kommunale Fahrleistungen ein.

Der Straßenverkehr trägt mit etwa 1.277 kg/EW bzw. 71,5 % wesentlich zur Einwohnerbilanz bei (vgl. mit Abbildung 13). Aus dem internationalen Luftverkehr und dem internationalen Schiffsverkehr resultieren mit 19,9 % und 4,4 % die beiden nächstwichtigen Verkehrsbereiche. Bei nationaler Betrachtung und gemäß Verursacherprinzip können einem Einwohner von Chemnitz rund 1.353 kgCO_{2eq} aus dem Sektor Verkehr zugeordnet werden. Durch den Einfluss des internationalen Personen- und Güterverkehrs per Flugzeug und Schiff beträgt die persönliche Bilanz 1.787 kg/EW.

Tabelle 17: Zusammenfassung der Ergebnisse für THG-Emissionen nach eigenen Berechnungen mit Eingangsdaten aus dem veröffentlichten THG-Inventar für Deutschland 2017 [4], [9] sowie spezifische Daten für Fahrleistungen in Chemnitz nach Berechnungspfad C aus Abbildung 1 [15]

THG-Emissionen 2017	Deutschland				Chemnitz CO _{2eq}	
	CO ₂	CH ₄ (CO _{2eq})	N ₂ O (CO _{2eq})	CO _{2eq}	pro EW	Stadt ges.
	[kt]	[kt]	[kt]	[kt]	[kg]	[t]
Straßenverkehr (C)	167.688,0	134,9	1.599,5	169.422,4	1.277,3	316.038,5
Luftverkehr national	2.056,2	1,7	20,5	2.078,4	25,1	6.211,2
Luftverkehr international	29.116,1	6,2	279,7	29.402,0	355,1	87.866,8
Schiffsverkehr national	1.759,4	0,6	17,9	1.777,9	21,5	5.313,2
Schiffsverkehr international	6.466,3	1,5	78,7	6.546,5	79,1	19.564,0
Schieneverkehr	1.096,7	0,4	2,6	1.099,7	13,3	3.286,3
übriger Verkehr	1.249,5	6,1	10,8	1.266,4	15,3	3.784,7
THG-Emissionen national	173.849,8	143,8	1.651,3	175.644,8	1.352,5	334.633,9
THG-Emissionen gesamt	209.432,2	151,4	2.009,6	211.593,3	1.786,7	442.064,7

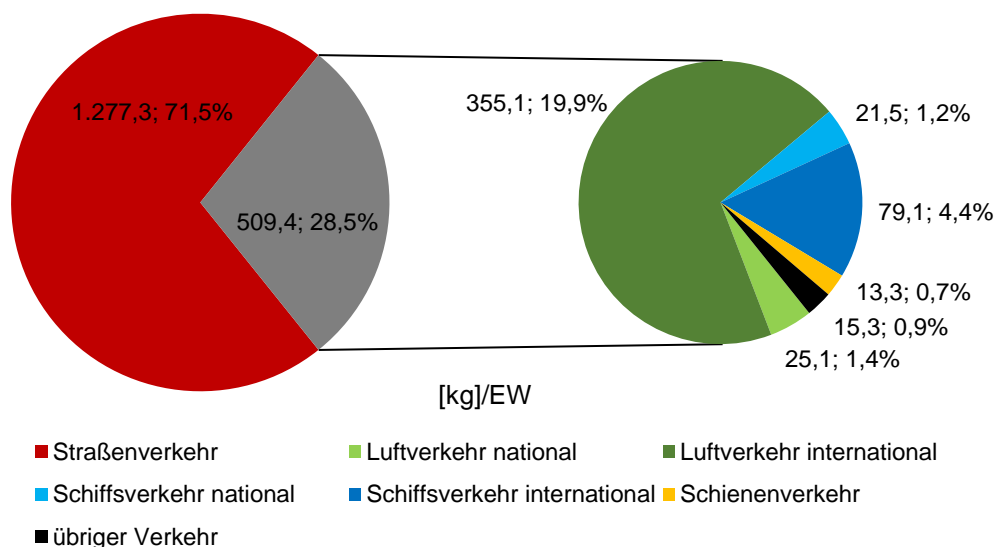


Abbildung 13: Zusammenstellung der persönlichen THG-Bilanz für einen Einwohner der Stadt Chemnitz für das Bezugsjahr 2017 in kg/EW und prozentualen Anteilen

1.3 Nichtenergetische Emissionen

1.3.1 Abfall

Die Siedlungsabfälle von Chemnitz werden durch den Abfallwirtschaftsverband Chemnitz (AWVC) als öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger (örE), dessen beauftragte Dritte sowie im Zuge gewerblicher Sammlungen zusammengetragen, transportiert und der weiteren Entsorgung zugeführt. In der Siedlungsabfallbilanz 2017 sind das Siedlungsabfallaufkommen und die

Entsorgung im Freistaat Sachsen erfasst sowie nach öRE, Landkreisen und kreisfreien Städten unterteilt [19]. Aus privaten Haushalten und Kleingewerben haben der AWVC sowie gewerbliche Sammler demnach ein einwohnerspezifisches Abfallaufkommen von 433,1 kg/EW/a in Chemnitz aufgenommen (Abbildung 14). Chemnitz hatte zum Ende des Jahres 2017 eine zugehörige Einwohnerzahl von 247.422 (Stichtag 31.12.2017, [10]). Mit 390,4 kg/EW/a hat der AWVC den Großteil des städtischen Abfalls gesammelt. Aus der gewerblichen Sammlung mit dem Fokus auf Grüngut und Wertstoffe wie Papier, Metalle und Textilien gehen 42,7 kg/EW/a hervor. Aus anderen Herkunftsbereichen (Abbildung 15) resultierte ein weiteres Abfallaufkommen von 45,7 kg/EW/a und aus eingesammelten illegal abgelagerten Abfällen wurden zusätzlich 2,7 kg/EW/a sowie 37 Autowracks bilanziert.

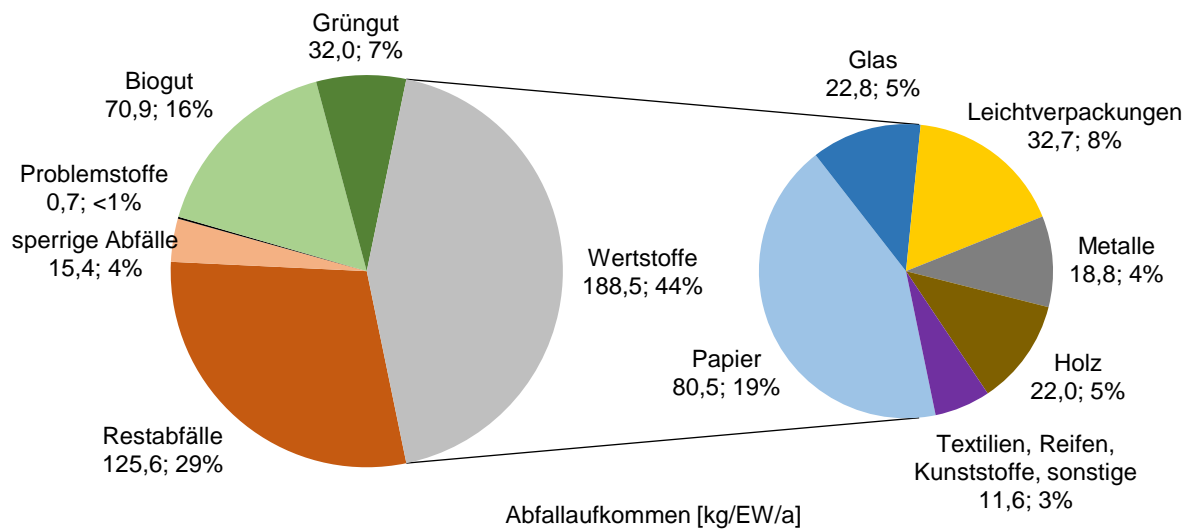


Abbildung 14: Verteilung des einwohnerspezifischen Abfallaufkommens aus privaten Haushalten und Kleingewerben in Chemnitz 2017

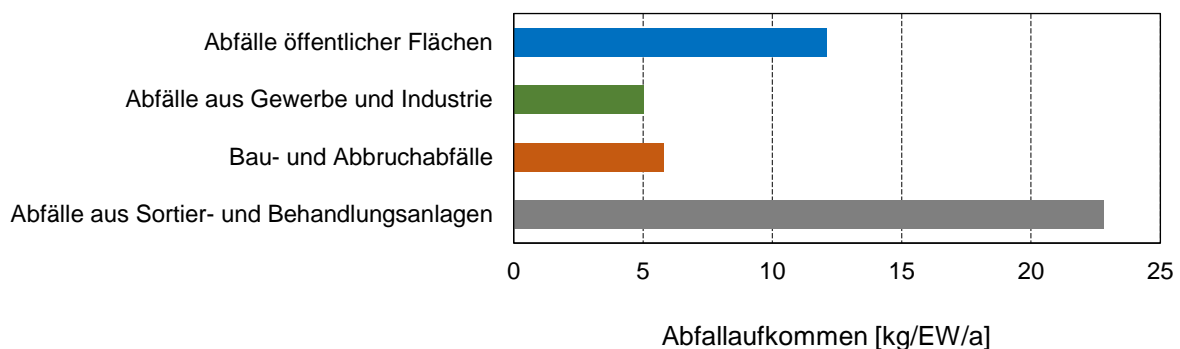


Abbildung 15: Verteilung des einwohnerspezifischen Abfallaufkommens aus nicht haushaltsnahen Herkunftsbereichen in Chemnitz 2017

Durch die etablierte Kreislaufwirtschaft und die energetische Nutzung treten bei der Abfallbilanz nur noch wenige Emissionen auf, die dem Sektor Abfall direkt zugeordnet werden können. Vom Aufkommen der Siedlungsabfälle der privaten Haushalte und Kleingewerbe sind daher nur die THG-Emissionen aus der Behandlung von Bio- und Grüngut sowie Bioabfälle aus Gewerbe und Industrie zu berechnen [1]. Die Bilanzierung der Abfallbehandlung erfolgt über die Emissionsfaktoren für die Kompostierung. Eine Vergärungsanlage für die Biogasgewinnung aus dem biologisch abbaubaren Anteil der Siedlungsabfälle wurde bisher nicht realisiert. Im

Jahr 2017 haben private Haushalte und Kleingewerbe in Chemnitz insgesamt 25.462 t (102,9 kg/EW) Abfall aus Bio- und Grüngut produziert. Aus Abfällen öffentlicher Flächen (Gärten, Parks, Straßen, Markt) ist weiterer biologischer Abfall mit 2.009 t (8,1 kg/EW) angefallen, anteilig bestimmt im Vergleich der Entsorgungswege in Sachsen [19]. Für die Kompostierung von Bioabfall liefert der THG-Inventarbericht [4] die folgenden Emissionsfaktoren (EF):

- EF-CH₄ = 1.400 kgCH₄/kt Bioabfall (GWP_{CH₄} = 25),
- EF-N₂O = 74 kgN₂O/kt Bioabfall (GWP_{N₂O} = 298).

Durch Kompostierung des Abfalls in Form von Bio- und Grüngut wurden in Chemnitz 2017 insgesamt THG-Emissionen von 1.567,28 tCO_{2eq} verursacht. Die einwohnerspezifische Bilanz beträgt rund 6,33 kgCO_{2eq}/(EW a). Im bundesweiten Mittel sind 12,31 kgCO_{2eq}/(EW a) auf die Verwertung von biologischen Abfällen durch Kompostierung und Vergärung zurückführbar, insgesamt 1.019 ktCO_{2eq}/a [4].

Mit insgesamt 31.070 t (125,6 kg/EW) nahmen die Restabfälle den größten Anteil des städtischen Abfallaufkommens ein. Zur Verwertung führt der AWVC die Restabfälle der Stadt Chemnitz sowie aus dem Erzgebirgskreis (ehemals mittlerer Erzgebirgskreis) und aus Mittelsachsen (ehemals Landkreise Mittweida und Freiberg) zunächst einer mechanisch-physikalischen Anlage mit thermischer Trocknung und Stabilisierung (MPS) zu. Nach der (Vor-)Behandlung und Herstellung hochfester und thermostabiler Pellets wird der heizwertreiche Abfall als Sekundärrohstoff bzw. Ersatzbrennstoff (EBS) in geeigneten Kraftwerken mitverheizt. Der behandelte und verarbeitete Siedlungsabfall hat dann einen Heizwert von 12–22 MJ/kg gegenüber 8–12 MJ/kg von unbehandeltem Siedlungsabfall.

Im Stadtgebiet von Chemnitz befinden sich zwei geschlossene Deponien, deren Endabdichtung und Rekultivierung vor über 10 Jahren fertiggestellt wurde. Die Deponie *Weißer Weg* und die Deponie in Wittgensdorf am *Kornweg* sind seit 2009 bzw. 2002 außer Betrieb. Im Rahmen der Nachsorgephase erfasst der Betreiber (AWVC) das austretende Sickerwasser zur Behandlung in der Kläranlage und die entstehenden Deponiegase zur Hochtemperaturverbrennung oder energetischen Verwertung. Die Methankonzentration der Deponiegase sowie die Gasmenge selbst sind rückläufig, wodurch sich die Methanemissionen langfristig auf einem sehr niedrigen Niveau stabilisieren werden. Für das Jahr 2017 hat das UBA der Abfalldeponierung in Deutschland ein CO₂-Äquivalent von 8.075 kt zugeordnet. Die persönliche Bilanz beträgt 97,5 kgCO_{2eq} pro Einwohner. Da in Chemnitz jedoch kein einlagernder Deponiebetrieb mehr erfolgt und nur am *Kornweg* nicht-energetische Emissionen aus der Abfackelung des aufgekommenen Deponiegases resultierten (ca. 944 tCO_{2eq} entspricht 3,82 kgCO_{2eq}/(EW a) vor Fackeltausch, [20]), sind die bundesweiten Emissionen für die kommunale Bilanzierung deutlich überschätzt. Auf der Deponie *Weißer Weg* wird das Deponiegas in Blockheizkraftwerken zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt, woraus im Jahr 2017 eine Einspeisung von rund 3,3 GWh bzw. 11,88 TJ Strom resultierte. Der brennstoffbezogene Emissionsfaktor für Deponiegas beträgt 111,4 tCO₂/TJ und hat 1,32 ktCO₂ bzw. 5,35 kgCO₂/EW zur Folge, ist jedoch bereits in den THG-Emissionen des Sektors Energie zugeordnet [4]. Durch die biologische Abfallbehandlung und die Nachsorge zur früheren Abfalldeponierung wurden in Chemnitz 2017 THG-Emissionen von 2.511,28 tCO_{2eq} verursacht, was bei 247.422 Einwohnern zu einer persönlichen Bilanz von 10,15 kgCO_{2eq}/(EW a) führt.

1.3.2 Abwasser

Nach dem ermittelten THG-Inventar 2017 resultieren für Deutschland 944,23 ktCO_{2eq} aus der kommunalen Abwasserbehandlung und 69,85 ktCO_{2eq} aus der industriellen Abwasserbehandlung. Zur persönlichen Bilanz trägt das produzierte Abwasser somit 11,41 kg CO_{2eq}/(EW a) bzw. 0,84 kgCO_{2eq}/(EW a) und insgesamt 12,25 kgCO_{2eq}/(EW a) bei. Aus den Einwohnerzahlen von Deutschland und Chemnitz ist eine kommunale Gesamtemission von 3.030,54 tCO_{2eq} abschätzbar.

Die Emissionen von Methan (CH₄) entstehen in Kläranlagen und durch einen sehr geringen Anteil abflussloser Gruben (0,6 % der deutschen Abwassermenge 2016). Hinsichtlich des Lachgases (N₂O) wird unterschieden in direkte Emissionen aus der Abwasserbehandlung und indirekte Emissionen durch verbliebenen Stickstoff nach der Reinigung. Die Aktualisierung des Abwasseraufkommens erfolgt alle drei Jahre, liegt für 2016 vor und ist für 2017–2019 voraussichtlich Ende 2020 zu erwarten. Die Verwendung der verfügbaren Daten für 2016 sollte mit sehr geringen Unsicherheiten behaftet sein. Durch einen Rückgang von 2,1 % aus der kommunalen Abwasserbehandlung und einem leichten Anstieg um 1,2 % aus der industriellen Abwasserbehandlungen entsteht ein Anstieg von 1,9 % der THG-Emissionen für die Entwicklung von 2016 zu 2017 [4], [21]. Im Jahr 2016 ist in Chemnitz ein Abwasseraufkommen von insgesamt 28.176.000 m³ entstanden, wovon 10.310.000 m³ Schmutzwasser (inkl. Industrie) und 17.866.000 m³ Niederschlags- und Fremdwasser (z. B. Grundwasser) waren [24]. Die Abwasserbehandlungsanlage, betrieben durch den Entsorgungsbetrieb der Stadt Chemnitz (ESC), hatte 2016 insgesamt 28.166.000 m³ biologisch behandeltes Abwasser zu verzeichnen. Jeder Einwohner verursachte durchschnittlich 113,8 m³ Abwasser. Ohne den prozentualen Anteil für industrielles Abwasser (6,9 %) können 106 m³/EW zugeordnet werden. Aus 1 m³ Abwasser folgt etwa 107,6 gCO_{2eq}-Emissionen.

Die öffentliche Kanalisation von Chemnitz umfasste 2018 ein Kanalnetz von 980 km, wovon 603 km als Mischwassersystem, 207 km als Schmutzwasserkanäle und 170 km als Regenwasserkanäle ausgeführt waren. Abwasser aus Haushalt und Industrie enthält oft erhebliche nutzbare Wärmemengen auf einem relativ hohen kontinuierlichen Temperaturniveau von > 10 °C. Auch ein Teil der Energie des umgebenden Erdreichs außerhalb der Kanalrohre ist nutzbar. Größere Gebäude oder Quartiere in der Nähe der Wärmequelle gelten als geeignete Abnehmer. Für einzelne Einfamilienhäuser und die Bereitstellung von Prozesswärme erscheinen Abwasser-Wärmepumpen hingegen ungeeignet.

Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) hat das ifeu eine Studie hinsichtlich *Kommunaler Abwässer als Potenzial für die Wärmewende* erstellt.

1.3.3 Landwirtschaft

Die THG-Emissionen durch Landwirtschaft resultieren hauptsächlich aus der Fermentation bei der Verdauung (38,5 %), aus der Düngewirtschaft (14,4 %) und aus der Nutzung der landwirtschaftlichen Böden (40,2 %). Ein wesentlich kleinerer Anteil (4,4 %) ist auf die Stickstoffdüngung mit Harnstoff, Kalkdüngung und die Anwendung weiterer kalkhaltiger Dünger zurückzuführen. Die Emissionen aus der Vergärung von Energiepflanzen und der Lagerung ihrer Gärreste sind ebenfalls relativ gering (2,5 %). Im Jahr 2017 bestand das deutsche THG-Inventar durch Landwirtschaft aus 66.272,91 ktCO_{2eq} [21]. Bezogen auf die Einwohner Deutschlands ist eine persönliche Bilanz von 800,47 kg zu verzeichnen. Für Chemnitz ergibt sich somit theoretisch ein anteiliges THG-Inventar von 198,05 ktCO_{2eq}-Emissionen.

Aufgrund der städtischen Struktur weist Chemnitz keine markante landwirtschaftliche Prägung auf, weswegen eine differenzierte Betrachtung der THG-Emissionen erfolgt. Unter Berücksichtigung des kommunalen Tierbestands sowie der kommunalen landwirtschaftlich genutzten Fläche lässt sich ein lokaler Bezug abbilden. Der Bericht zum deutschen THG-Inventar 2017 liefert neben dem durch Verdauung verursachten CH₄-Ausstoß mit einem CO₂-Äquivalent von 25.535,65 kt auch den zur Berechnung verwendeten Tierbestand aufgeteilt nach Tierkategorie und bemessen nach Tierplätzen. Durch Stall- und Weidehaltung der Nutztiere entstehen zusätzliche CH₄- und N₂O-Emissionen mit insgesamt 9.540,29 ktCO_{2eq}, die auf die Anzahl der jeweiligen Tierplätze aufgelöst sind. Es resultieren jährliche THG-Emissionen je Tierplatz einer Tierkategorie, z. B. 4.118,50 kg/a je Milchkuh, 153,82 kg/a je Schwein oder 1,24 kg/a je Geflügeltier. Aus dem gemäß Regionaldaten von 2016-2018 ermittelten und abgeschätzten Tierbestand resultieren 10,74 ktCO_{2eq}-Emissionen pro Jahr aus der Nutztierhaltung in Chemnitz, wovon etwa 96 % auf Milchkühe und sonstige Rinder zurückführbar sind. Durch die landwirtschaftliche Bodennutzung entstand 2017 ein CO₂-Äquivalent von insgesamt 31.196,97 kt. Die THG-Emissionen beziehen sich auf 18,22 Mio. ha in Deutschland landwirtschaftlich genutzte Fläche, sodass im bundesweiten Durchschnitt spezifische THG-Emissionen von etwa 1,71 t/ha/a vorliegen. In Chemnitz wurde 2017 eine Fläche von 8.304 ha [22] für die Landwirtschaft genutzt, was einem CO₂-Äquivalent von 14,22 kt/a entspricht. Die auf die kommunalen Kennwerte bezogenen THG-Emissionen durch Landwirtschaft belaufen sich für 2017 somit auf 24,96 kt mit einer persönlichen Bilanz von 100,86 kg/EW/a.

1.3.4 Industrie

Durch das Emissionshandelsregister besteht die Möglichkeit, Unternehmen innerhalb der Stadtgrenzen zu identifizieren, die emissionshandelspflichtig sind. Welche Anlagen unter das zugrunde liegende Treibhausgas-Emissionshandelsgesetz fallen, ist nach Tätigkeitsbereichen und Produktionsleistungen festgelegt. Das Heizkraftwerk Chemnitz Nord II und das Heizwerk Altchemnitz der eins energie in sachsen GmbH & Co. KG sind entsprechend erfasst. Deren Emissionen sind für die THG-Bilanz im Sektor Energie berücksichtigt. An anderer Stelle besitzt der industrielle Bereich von Chemnitz keine nicht-energetische THG-Emissionsrelevanz, da insbesondere keine Unternehmen mit ausgeprägter Metallproduktion, mineralischer Industrie oder chemischer Industrie ansässig sind. Zu den industriellen Prozessen erfolgte daher keine Bilanzierung der nicht-energetischen Emissionen. Für die Zukunft ist anzuregen, dass auch niedrigere Emissionsdaten detailliert erhoben bzw. jährlich bei den Unternehmen abgefragt werden. Bis dahin gilt weiterhin die Annahme, dass diese Kategorie nur einen geringen Einfluss auf die gesamten THG-Emissionen in Chemnitz hat.

1.3.5 Zusammenfassung nichtenergetische Emissionen

Abbildung 16 und Tabelle 18 fassen die nichtenergetischen Emissionen zusammen. Es ist zu erkennen, dass der überwiegende Teil durch die Landwirtschaft entsteht. Insgesamt fallen ca. 123 kgCO_{2eq}-Emissionen pro Einwohner und Jahr an.

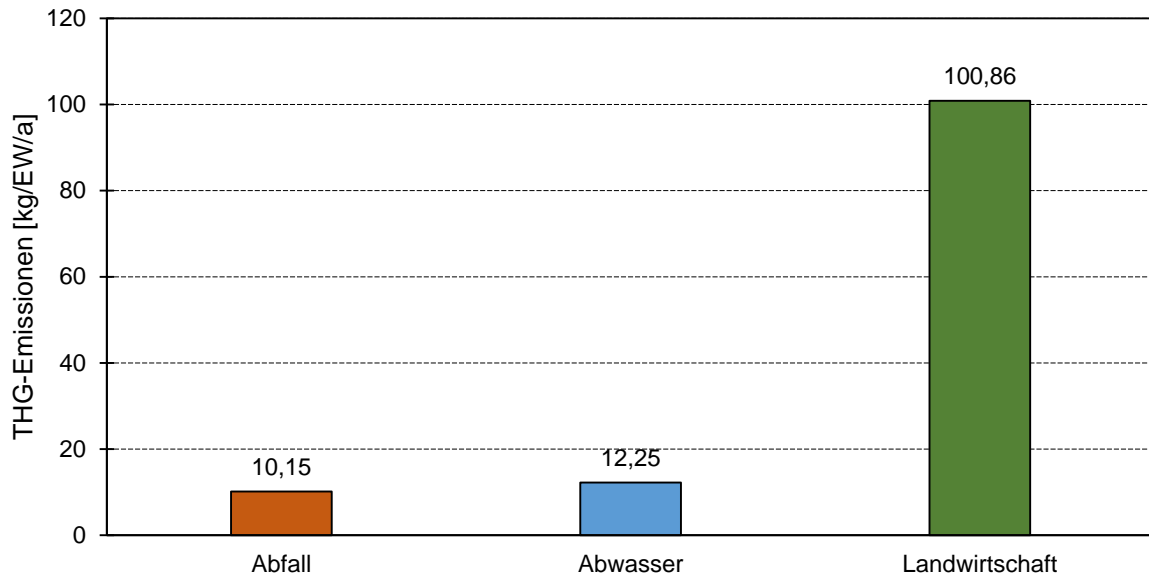


Abbildung 16: THG-Emissionen als CO₂-Äquivalent für Chemnitz im Jahr 2017 erzeugt durch die nicht-energetische Bereiche der Abfallbehandlung, Abwasserbehandlung und Landwirtschaft

Tabelle 18: THG-Emissionen aus den nicht-energetischen Bereichen für Chemnitz 2017 als Gesamtbilanz und als persönliche Bilanz je Einwohner

	THG-Emissionen Chemnitz [t/a]	persönliche Bilanz [kg/(EW a)]
Abfallbehandlung	2.511,28	10,15
Abwasserbehandlung	3.030,54	12,25
Landwirtschaft	24.955,72	100,86
Summe	30.497,54	123,26

1.4 Zusammenfassung der Treibhausgas-Emissionen für Chemnitz im Jahr 2017

Die in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Ergebnisse sind in Tabelle 19 und Abbildung 17 zusammengefasst. Es ist zu erkennen, dass die größten CO₂-Äquivalent-Emissionen im stationären Bereich (private Haushalte, Industrie & GHD) und Straßenverkehr auftreten. Insgesamt entstanden THG-Emissionen von 1.435,4 kt/a bzw. 5.801,3 kg/(EW a).

Tabelle 19: Zusammenfassung der THG-Emissionen in Chemnitz 2017

Bereich	THG-Emissionen		Sektor	THG-Emissionen	
	[t CO _{2eq}]	[kg CO _{2eq} /EW]		[t CO _{2eq}]	[kg CO _{2eq} /EW]
Stationärer Bereich	962.804,3	3.891,3	Private Haushalte	467.784,0	1890,6
			Industrie & GHD	367.977,5	1487,3
			öffentl. Einrichtungen	97.205,7	392,9
			kommunale Einrichtungen	29.818,4	120,5
Verkehr	442.064,7	1.786,7	Straßenverkehr	316.038,5	1.277,3
			Luftverkehr national	6.211,2	25,1
			Luftverkehr international	87.866,8	355,1
			Schiffsverkehr national	5.313,2	21,5
			Schiffsverkehr international	19.564,0	79,1
			Schieneverkehr	3.286,3	13,3
			übriger Verkehr	3.784,7	15,3
Nicht-energetische Emissionen	30.497,5	123,3	Abfallbehandlung	2.511,3	10,2
			Abwasserbehandlung	3.030,5	12,3
			Landwirtschaft	24.955,7	100,9
Gesamt	1.435.366,5	5.801,3			

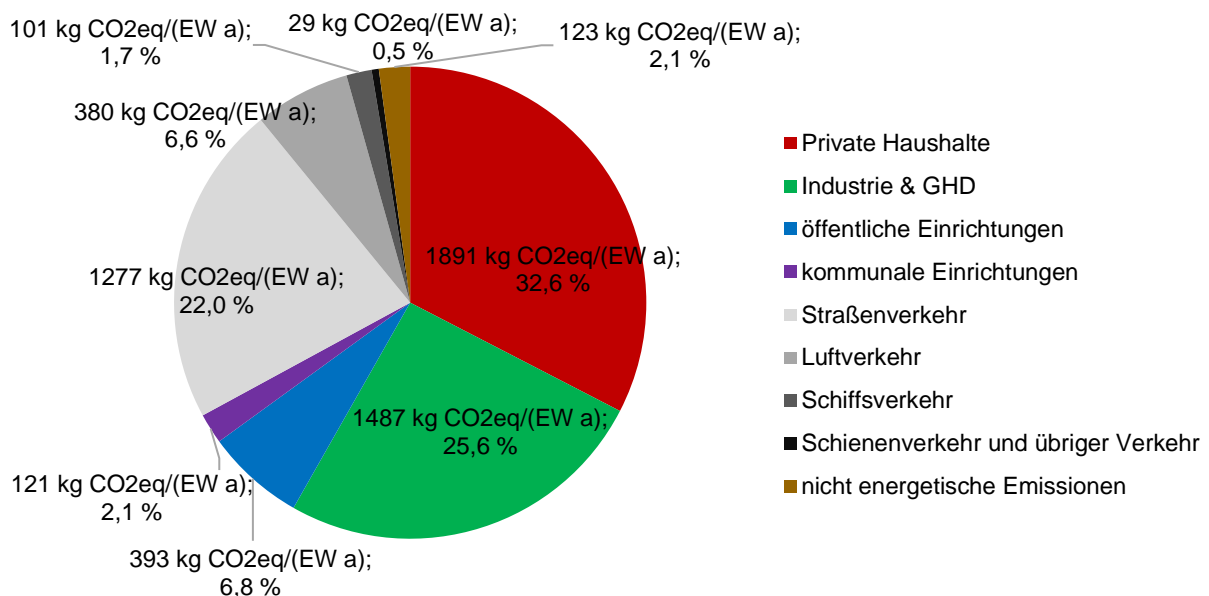


Abbildung 17: Aufteilung der THG-Emissionen in Chemnitz 2017

2 Potenzialanalyse

2.1 Stand erneuerbare Energiequellen 2017

Im Chemnitzer Stadtgebiet ist bereits eine Vielzahl an Anlagen zur Strom- oder Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Betrieb. Tabelle 20, Tabelle 21, Abbildung 18 und Abbildung 19 fassen die in den Jahren 2012 bis 2017 installierte Leistung und die damit erreichten Erträge aus erneuerbaren Energiequellen im Stromsektor zusammen.

Tabelle 20: Übersicht der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Chemnitz von 2012-2017 [15]

Energieträger	installierte Leistung [MW]					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Photovoltaik (PV)	21,3	25,7	37,6	39,1	42,2	43,0
Biomasse	1,3	1,6	1,6	1,6	1,8	1,8
Wind	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1
Deponiegas	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	0,6
Klärgas	0,8	0,8	0,8	0,8	1,2	1,2
Summe	37,5	42,2	54,1	55,6	59,3	59,6

Tabelle 21: Übersicht der Stromerträge aus erneuerbaren Energiequellen in Chemnitz von 2012-2017 [15]

Energieträger	Erträge [GWh/a]					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PV	15,7	24,4	34,8	36,2	33,7	34,2
Biomasse	9,1	8,8	9,6	11,2	11,8	11,3
Wind	26,3	22,5	20,7	26,3	22,4	20,6
Deponiegas	4,8	4,1	3,4	4,4	3,3	3,3
Klärgas	4,7	4,7	4,7	3,8	5,3	5,6
Summe	60,6	64,5	73,2	81,9	76,5	75,0

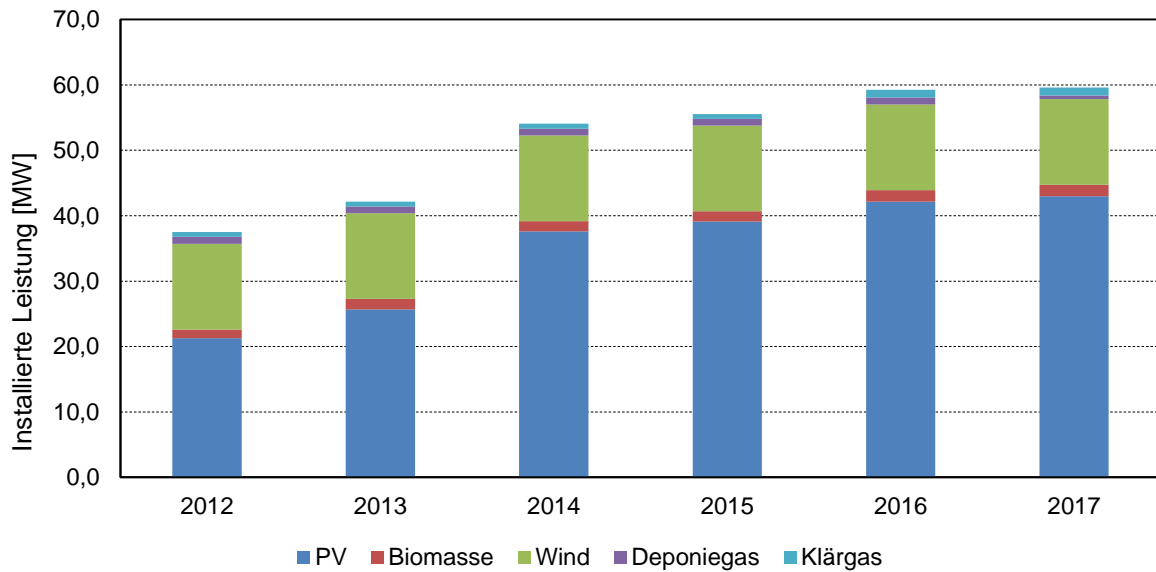


Abbildung 18: Entwicklung der installierten Leistung zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Chemnitz von 2012-2017 [15]

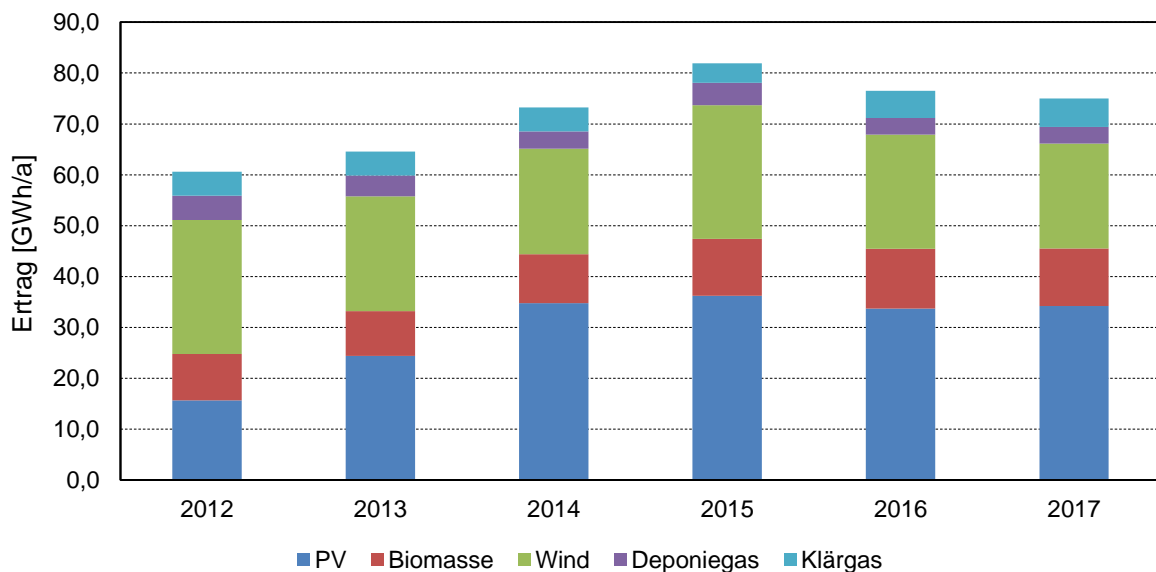


Abbildung 19: Entwicklung der Stromerträge aus erneuerbaren Energiequellen in Chemnitz von 2012-2017 [15]

Es ist zu erkennen, dass der Zubau an neuen Anlagen seit 2014 nahezu stagniert. Lediglich ein geringer Zuwachs an PV-Anlagen im Jahr 2016 ist zu verzeichnen. Dementsprechend sind auch die Erträge relativ konstant. Schwankungen sind auf die Wetterabhängigkeit der Stromerzeugung aus Windkraft und Photovoltaik zurückzuführen. Den größten Anteil machen die PV-Anlagen und Windkraftanlagen aus.

Im Wärmesektor ergibt sich für 2017 folgendes Bild (Abbildung 20). Von insgesamt 141 GWh/a erneuerbarer Wärme in Chemnitz entfallen über 68 % auf Biomasse in Form von Stückholz, Pellets und Hackschnitzel, die restlichen Anteile verteilen sich auf Erdwärmepumpen (12 %), Solarthermie (ST; 11 %) und Luftwärmepumpen (9 %). [15]

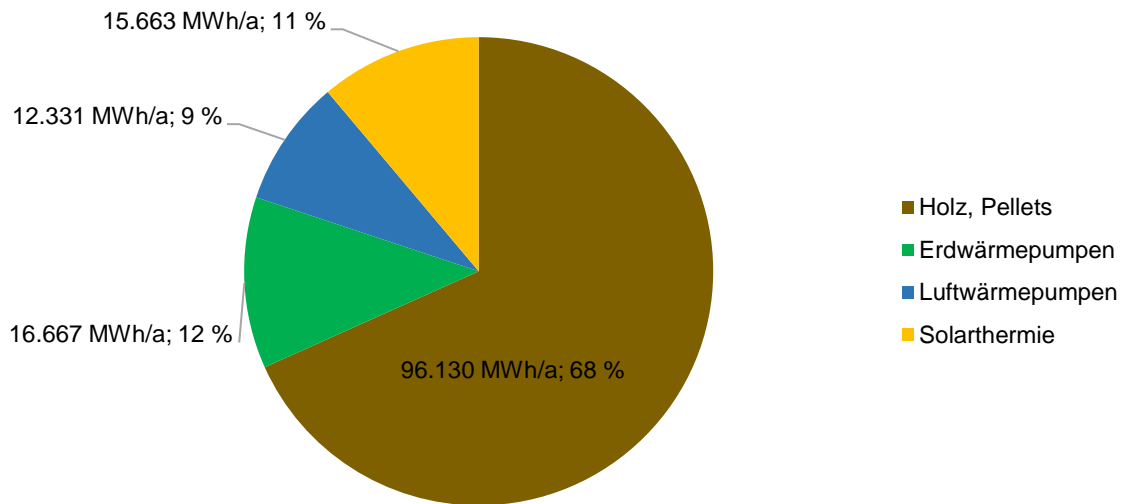


Abbildung 20: Ertrag durch erneuerbare Wärmeenergieanlagen in Chemnitz 2017 [15]

Für Biomasse in Form von Holz und Holzpellets bzw. Hackschnitzeln liegen die Daten nur für 2015 vor [23]. Demnach wurden 96 GWh Wärme generiert. Aus diversen Förderportalen ist zudem ableitbar, dass auch hier ein Anstieg der installierten Leistung und damit der erzeugten Wärme stattfindet. Dies deckt sich mit den Ergebnissen des 6. Klimaschutzberichts der Stadt Chemnitz. [15]

Für Solarthermieanlagen liegen detaillierte Infos vor. Abbildung 21 zeigt den Verlauf des jährlichen Ertrags von 2012 bis 2017. Es ist ein geringer Zubau in den Jahren 2012 bis 2016 und eine Stagnation von 2016 auf 2017 zu erkennen. Der Zuwachs an Wärmepumpen ist Abbildung 22 zu entnehmen.

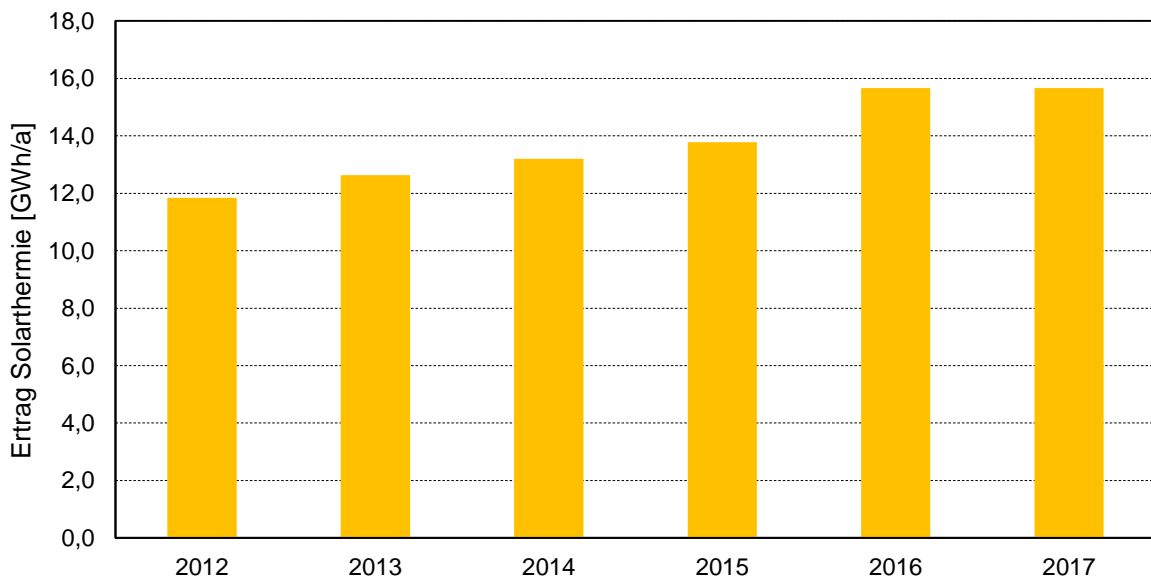


Abbildung 21: Ertrag durch Solarthermieanlagen in Chemnitz von 2012 bis 2017 [15]

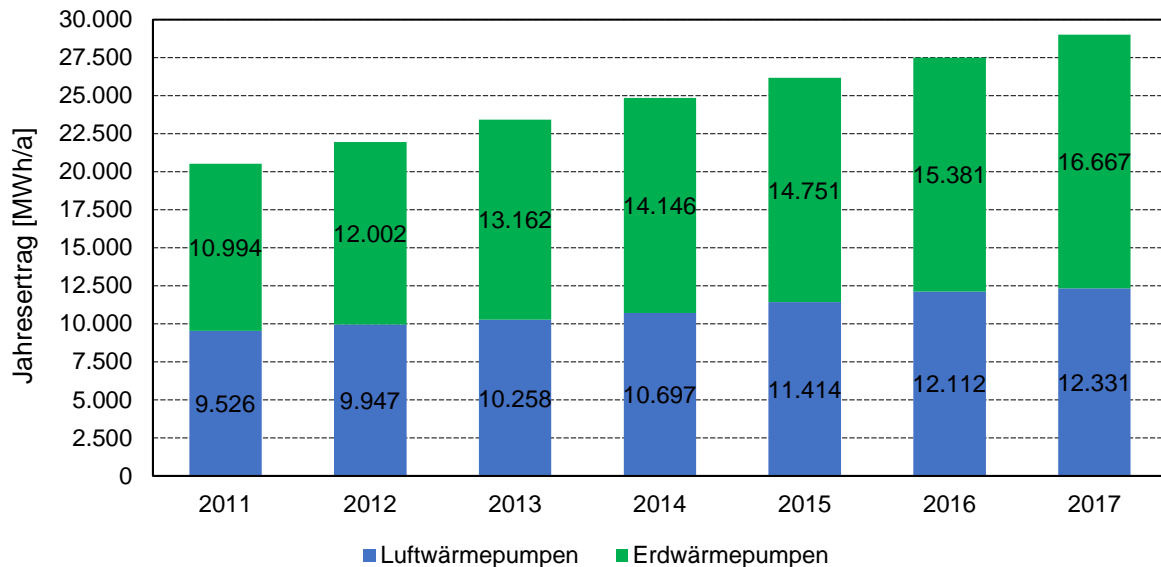


Abbildung 22: Zuwachs an Umgebungswärme (Luft- und Erdwärmepumpen) [15]

2.2 Biomasse / Abfall

2.2.1 Energetische Nutzung von Siedlungsabfällen

Die energetische Verwertung von Abfällen bildet nach der Vermeidung, der Vorbereitung zur Wiederverwendung und dem Recycling die vierte Stufe der Abfallhierarchie. Demnach können Abfälle, die stofflich nicht mehr nutzbar sind, energetisch verwertet werden und zur kommunalen Energieversorgung beitragen. Insbesondere die aufkommenden Siedlungsabfälle, wie die gemischten Restabfälle im Hausmüll, Altholz des Sperrmülls und Abfälle aus der Biotonne, eignen sich für die Wärme- und Stromproduktion. Die Heizwerte der Abfallarten betragen im Rohzustand 10 MJ/kg für Hausmüll, 16 MJ/kg für Sperrmüll (Holzanteil) und 5 MJ/kg für Biomüll [25].

Hausmüll wird entweder direkt in Müllverbrennungsanlagen (MVA) eingesetzt oder zunächst in mechanisch-biologischen Abfallbehandlungsanlagen (MBA) vorbehandelt. Die stoffspezifische Abfallbehandlung erfolgt weiterhin mittels mechanisch-biologischer Stabilisierung (MBS) und mechanisch-physikalischer Stabilisierung (MPS). Am Weißen Weg in Chemnitz betreibt der AWVC eine MPS-Anlage mit thermischer Trocknung und ohne biologische Stufe. Die Anlage liefert hochfeste und thermostabile Pellets als heizwertreicher Ersatzbrennstoff (EBS) zur Verbrennung in EBS-Kraftwerken, aber auch als Sekundärbrennstoff (SekBS) zur Mitverbrennung in Zement- oder Kohlekraftwerken. In Abhängigkeit der Zusammensetzung des Abfalls und der Abfallbehandlung haben die EBS und SekBS einen erhöhten Heizwert im Bereich von 12–22 MJ/kg [25]. Das Sperrmüllaufkommen kann zu 20 % in Altholzkraftwerken energetisch verwertet werden. Ein weiterer Anteil von etwa 40 % gelangt als verarbeiteter Brennstoff (Pellets, EBS, SekBS) in die energetische Verwertung [26]. Für den Großteil der Restmenge ist ein Recycling möglich.

Bezugnehmend auf das Jahr 2015 haben deutsche MVA aus 1 kt durchschnittlich 316 kWh_{el} Strom und 954 kWh_{th} Wärme produziert [25]. Die mittleren elektrischen und thermischen Wirkungsgrade der KWK-Anlagen betragen 11,1 % bzw. 33,5 % netto. In Chemnitz wurde 2017

ein Aufkommen von rund 31.070 t Hausmüll eingesammelt [19], woraus bei energetischer Verwertung durch eine entsprechende MVA-Anlage 9,8 GWh_{el} und 29,6 GWh_{th} resultieren. Dies entspräche ca. 1,0 % des Strom- und ca. 3,8 % des Fernwärmebedarfs.

Der nicht aufbereitete Hausmüll enthält einen biogenen Anteil von 50 %, dessen thermische Nutzung als CO₂-neutral zu bewerten ist. Aus dem Anteil fossilen Ursprungs ergeben sich brennstoffmixspezifische CO₂-Emissionen von 162 g/kWh. Infolge der elektrischen und thermischen Nutzungsgrade lassen sich die CO₂-Emissionen zu 1.096 g CO₂/kWh_{el} und 120 g CO₂/kWh_{th} ermitteln (Wirkungsgradmethode²). In Chemnitz beträgt der CO₂- bzw. CO_{2eq}-Faktor für den Strommix 361 g/kWh und für die Wärmeversorgung durchschnittlich 275 g/kWh³. Die THG-Minderungspotenziale betragen somit -7,22 kt/a bzw. -29,17 kg/(EW a) für den Strommix sowie 4,59 kt/a bzw. 18,55 kg/(EW a) für die bisherige Wärmeversorgung in Chemnitz. Demnach ist gegenüber dem Strommix von 2017 eine Erhöhung der THG-Emissionen zu erwarten. Im Wärmesektor könnten zwar geringe Einsparungen erzielt werden, die die zusätzlichen Emissionen im Stromsektor jedoch nicht ausgleichen. Insgesamt entstünden dennoch ca. 2,63 kt/a bzw. 10,62 kg/(EW a) zusätzliche THG-Emissionen.

Werden die spezifischen CO₂-Emissionen von Strom und Wärme in einer MVA mit KWK über die Methode der International Energy Agency (IEA-Methode⁴) ermittelt, liegen identische strom- und wärmespezifische Emissionen von 363 g CO₂/kWh_{el/th} vor. Im Vergleich zu den THG-Emissionen aus der Wärme- und Stromversorgung von Chemnitz sind so ebenfalls keine Einsparungen möglich. Nach dieser Methode entstünden zusätzliche THG-Emissionen von ca. 26,24 kt/a bzw. 106,07 kg/(EW a). Eine unabhängige, wissenschaftlich fundierte und physikalisch konsistente Bewertung der Koppelprodukte, insbesondere durch die Carnot-Methode, ist jedoch nur möglich, wenn Input und Output der Anlage inkl. Temperaturniveau der Wärme und der Referenzumgebung bekannt sind [28].

Zur Verwertung der Siedlungsabfälle in einem EBS-Kraftwerk ist zunächst die Vorbehandlung mittels einer MBA bzw. in der vorhanden MPS (AWVC) in Chemnitz erforderlich. Nach einem Umbau der Anlage bis Ende 2011 steht eine erheblich veränderte Technologie mit neuer Strategie der Vorbehandlung und reduziertem Erdgaseinsatz zur Verfügung. Im Zuge des Wegfalls der Kohlekraftwerke Jänschwalde und Schwarze Pumpe wurde zudem eine Verteilung der erzeugten EBS auf mehrere Abnehmer ermöglicht. Die Ausbeute aus 1.000 t Hausmüll beträgt etwa 755 t EBS mit rund 95 % des Energiegehalts des zugeführten Abfalls [29]. So können jährlich aus 31.070 t Restabfällen (Hausmüll) [19] insgesamt 23.458 t heizwertangereicherter EBS resultieren. Der Heizwert beträgt etwa 13 MJ/kg, womit ein energetischer Input von 304,95 TJ/a vorliegt. Die für 2015 zusammengefassten EBS-Kraftwerke konnten durchschnittliche Nettowirkungsgrade von 14,7 % elektrisch und 45,4 % thermisch erreichen, sodass mit

² Die jeweiligen Brennstoffanteile der beiden Produkte werden aus dem Verhältnis des jeweils anderen Einzelwirkungsgrades und der Summe beider Wirkungsgrade errechnet. Die CO₂-Emissionen werden entsprechend dem Brennstoffanteil beider Produkte aufgeteilt. [27]

³ Für die Berechnung der Einsparung an CO_{2eq}-Emissionen im Vergleich zur konventionellen Wärmeerzeugung erfolgte die Nutzung eines durchschnittlichen CO_{2eq}-Faktors für die Wärmeerzeugung, basierend auf der tatsächlichen Verteilung der Endenergienutzung in Chemnitz im Jahr 2017 (274,89 t/GWh).

⁴ Hier erfolgt die Allokation der CO₂-Emissionen auf Basis gekoppelter Strom- und Wärmeerzeugung. Zunächst werden die Brennstoffanteile aus dem Quotienten des jeweiligen Einzelwirkungsgrades und der Summe beider Wirkungsgrade bestimmt. Die absoluten CO₂-Emissionen der KWK-Anlage errechnen sich aus der Multiplikation der CO₂-Emissionen bei der Verbrennung von Erdgas und dem Brennstoffanteil des Stroms bzw. der Wärme [27].

dem 2017 in Chemnitz gesammelten Restabfall nach Weiterverarbeitung zu EBS jährlich etwa 12,5 GWh_{el} und 38,5 GWh_{th} abschätzbar sind. Dies entspräche ca. 1,2 % des Strom- und ca. 4,9 % des Fernwärmebedarfs.

Aus dem Betrieb der MPS mit Verarbeitung von 1 t Restabfall folgt eine Klimabelastung in Höhe von 113 kgCO_{2eq} [29], womit bereits 3,51 kt/a THG-Emissionen anfallen. Der aufbereitete Restmüll enthält einen Anteil biogenen Ursprungs von 55 %. Der fossile Anteil kann jedoch nicht als CO₂-neutral bewertet werden und die brennstoffmixspezifischen Emissionen betragen 155 g CO₂/kWh. Aus den elektrischen und thermischen Nutzungsgraden resultieren CO₂-Emissionen zu 797 g CO₂/kWh_{el} und 84 gCO₂/kWh_{th} mittels Wirkungsgradmethode und jeweils 258 gCO₂/kWh_{el/th} mittels IEA-Methode. Wenn die THG-Emissionen durch die MPS zu gleichen Anteilen angerechnet werden, entstehen gegenüber dem Strommix Einsparpotenziale von -7,21 kt/a bzw. -29,12 kg/(EW a) und 5,60 kt/a bzw. 22,63 kg/(EW a) gegenüber der Wärmeversorgung (Wirkungsgradmethode). Die IEA-Methode führt ebenfalls zu einem negativen Gesamtwert des THG-Einsparpotenzials.

Trotz der hohen Wirkungsgrade der KWK-Anlage fällt die Bilanz negativ aus, da insbesondere die Abfalltrocknung zu wesentlichen THG-Emissionen führt. Das vorgestellte Szenario berücksichtigt die weitere Nutzung der MPS-Anlage in Chemnitz und die Errichtung eines angegliederten EBS-Kraftwerks im Umfeld der kommunalen Wärmeversorgung. Daneben sind eine Reihe weiterer Szenarien mit verschiedenen Möglichkeiten der Abfallbehandlung und energetischen Verwertung von Ersatzbrennstoffen bzw. Sekundärbrennstoffen denkbar.

Der in Chemnitz gesammelte Biomüll und das gesammelte Grüngut (Pflanzenabfälle aus Gärten, Parks sowie Landschaftspflege) mit einem für 2017 bilanzierten Aufkommen von insgesamt rund 26,5 kt [19] können in einer Bioabfallvergärungsanlage (BVGA) in Biogas umgewandelt werden. Die energetische Verwertung des erzeugten Biogases erfolgt durch eine gekoppelte Produktion von Strom und Wärme (KWK) in Blockheizkraftwerken (BHKW). Aufgrund möglicher Geruchs- und Verkehrsbelästigungen befinden sich BVGA häufig außerhalb von Ortschaften ohne unmittelbare Abnehmer der produzierten Wärme. Daher ist abzuwägen, ob das Biogas im direkten Umfeld einer BVGA oder am Standort der Wärmenutzung verstromt werden soll. Im Auftrag des Umweltbundesamtes hat unter anderem das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) bestehende Anlagenkonzepte bewertet und zukünftige Anlagenkonzepte identifiziert, die aus ökologischer und ökonomischer Sicht zur Produktion, Aufbereitung und energetischen Nutzung von Biogas geeignet sind [30]. Das enthaltene Konzept für abfallstämmige Biomassen beschreibt eine Anlage mit einer installierten Leistung von 800 kW_{el} für die Biogas-KWK bzw. Biomethan-KWK. Mit einer prognostizierten zugeführten Substratmenge von 23,8 kt Bioabfall ist das fundierte Anlagenkonzept für das Chemnitzer Abfallaufkommen hinreichend dimensioniert. Bei einem Einsatz von 1 t Bioabfall erzeugt die Anlage 123 m³ Biogas mit einem Methangehalt von 60 %. Das für die Verwertung grundaufbereitete Biogas hat einen Energiegehalt von 5,98 kWh/m³ und das aufwendig aufbereitete Biomethan bietet einen Energiegehalt von 9,97 kWh/m³. Die elektrischen und thermischen Wirkungsgrade von 40 % bzw. 42 % der Biogas-KWK ermöglichen für 26,5 kt/a des Chemnitzer Bioabfalls eine Stromproduktion von 7,8 GWh_{el}/a und eine Wärmeproduktion von 8,2 GWh_{th}/a. Abzüglich der Eigenstrombedarfe der Biogasanlage und des BHKW stehen rund 6,1 GWh_{el}/a (-22 %) und 6,1 GWh_{th}/a (-25 %) für die externe Nutzung zur Verfügung. Dies entspräche noch ca. 0,6 % des Strom- und ca. 0,8 % des Fernwärmebedarfs.

Wenn die Abwärme aus der Verstromung des Biogases vor Ort nicht absetzbar ist, eignet sich der Betrieb einer Biogasaufbereitungsanlage (BGAA), sodass die Wärme zu 100 % in die Bereitstellung von gereinigtem Biomethan fließt. Das Biomethan kann in das Erdgasnetz eingespeist, in Kraftfahrzeugen verwendet oder der Biomethan-KWK zugeführt werden. Im verwendeten Anlagenkonzept kann die BGAA aus 1 t Bioabfall etwa 70,5 m³ Biomethan bereitstellen. Der Einsatz von 26,5 kt/a Bioabfall und die Verstromung des aufbereiteten Biomethans führen zu einer Stromproduktion von rund 5,8 GWh_{el}/a. Die THG-Emissionen aus der Biogas-KWK und der Biomethan-KWK betragen aktuell 204 gCO_{2eq}/kWh_{el} bzw. 203 gCO_{2eq}/kWh_{el} [30], womit im Wesentlichen die CH₄-Emissionen aus der BVGA, aus dem BHKW und aus der BGAA mit Nachverbrennung zusammengefasst sind. Im Zuge der Technologieentwicklung der kommenden Jahre nimmt das DBFZ an, dass die THG-Emissionen für Biogasanlagen um etwa 20–25 % sinken [30]. Aus der energetischen Verwertung des Chemnitzer Bioabfalls von 2017 mittels einer BVGA für die Biogas-KWK resultieren THG-Emissionen in Höhe von 1,24 kt/a. Gleichzeitig entfällt die Kompostierung des Bioabfalls mit jährlich 1,57 kt THG-Emissionen, was bereits zu einer Minderung von 0,33 kt/a führt. Gegenüber dem Chemnitzer Strommix mit einem Emissionsfaktor von 361 g CO_{2eq}/kWh können THG-Emissionen von 2,53 kt/a bzw. 10,21 kg/(EW a) vermieden werden. Wenn es gelingt, mit der produzierten Wärme aus der Biogas-KWK direkt einen Nutzwärmebedarf zu decken, ist eine anteilige Substitution der konventionellen Chemnitzer Wärmeversorgung möglich. Bei einem gewichteten Emissionsfaktor von 275 g/kWh spart die energetische Verwertung des Bioabfalls zusätzlich THG-Emissionen in Höhe von 2,00 kt/a bzw. 8,09 kg/(EW a) ein. Es können so maximal 0,32 % der für Chemnitz 2017 bilanzierten Gesamtemissionen vermieden werden.

Mit einem steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Strom- und Wärmeversorgung in Deutschland sinkt der klimawirksame Nutzen aus der energetischen Verwertung von Abfall. Insbesondere die geringen biogenen Anteile im Hausmüll der Siedlungsabfälle und hohen Anteile fossilen Ursprungs führen dazu, dass die thermische Abfallbehandlung rechnerisch vergleichsweise hohe THG-Emissionen verursacht und somit langfristig ein negativer Beitrag zur THG-Bilanz absehbar ist. Dennoch ist eine Nutzung der Abwärme aus unvermeidbarer Abfallverbrennung klimapolitisch sinnvoll. Da die thermischen Kraftwerke sukzessive vom Netz gehen werden, ist eine erhöhte Nachfrage hinsichtlich Wärme aus Abfall zu erwarten.

2.2.2 Holzheizkraftwerk

Die eins energie in sachsen GmbH & Co. KG plant die Errichtung eines Holzheizkraftwerkes zur Erzeugung von Wärme für das Fernwärmenetz in Chemnitz und Strom für das öffentliche Netz. Das Kraftwerk soll im Bereich der Mauersbergerstraße in 09117 Chemnitz errichtet werden. Die Inbetriebnahme erfolgt voraussichtlich im Jahr 2023.

Die geplante Feuerungswärmeleistung beträgt ca. 24 MW. Das Kraftwerk erzeugt eine thermische Leistung von ca. 15 MW und eine elektrische Leistung von ca. 4,5 MW. Es wird von einer Vollbenutzung von 7.800 h/a ausgegangen. Demnach kann mit ca. 35,1 GWh/a Strom- und 117,0 GWh/a Wärme-Ertrag gerechnet werden. Dies entspräche ca. 3,4 % des Strom- und ca. 14,8 % des Fernwärmebedarfs in Chemnitz im Jahr 2017. Als Brennstoff wird naturbelassene, holzartige Biomasse in Form von Hackschnitzeln und Schreddermaterial eingesetzt. Der Brennstoffbedarf liegt bei rund 39.200 t-atro/a. Da kein Einsatz von fossilen Energieträgern

erfolgt und der Fremdstrombezug zu vernachlässigen ist, können die CO₂-Emissionen mit 0 angesetzt werden⁵ [31].

Bei einer Nutzung der erzeugten Wärme im Chemnitzer Fernwärmenetz und des Stroms im Stadtgebiet ist mit Einsparungen von ca. 46,0 kt/a bzw. 185,8 kg/(EW a) im Wärmebereich und ca. 12,7 kt/a bzw. 51,2 kg/(EW a) im Strombereich zu rechnen. Dies entspricht ca. 4,1 % Einsparung der Gesamtemissionen 2017.

2.2.3 Ersatzbrennstoffanlage

Weiterhin plant die eins energie in sachsen GmbH & Co. KG eine Ersatzbrennstoffanlage. Dort ist die Verbrennung von vorkonditionierten (separiert, vorgetrocknet) Abfällen geplant. Die geplanten technischen Eckdaten lauten:

- Brennstoffmenge: ca. 120.000 t/a,
- thermische Leistung: 45 MW,
- elektrische Leistung: 15 MW.

Die Inbetriebnahme ist zurzeit für 2026 geplant.

2.3 Solarenergie

2.3.1 Dachflächen

Bei der Erfassung der Potenziale durch die Nutzung von Solarenergie ist eine Beachtung der einzelnen Potenzialgruppen (technisches Potenzial, wirtschaftliches Potenzial und erschließbares Potenzial, Abbildung 23) wichtig. Um die wirtschaftlich nutzbaren Potenziale im Bereich Solarenergie für das Stadtgebiet Chemnitz darzustellen, erfolgt in diesem Abschnitt eine Zusammenfassung der durch das Solarkataster erhaltenen Daten. Dieses wurde auf der Grundlage von hochaufgelösten Laserscandaten erstellt und es kommen nur geeignete Dachflächen (nicht alle Dachflächen bzw. das technische Potenzial) in Betracht.

⁵ Es ist anzumerken, dass bei der Verbrennung von Holzhackschnitzeln (bzw. generell Biomasse) CO₂ entsteht. Bei der Verfeuerung von Holz-Pellets entsteht beispielsweise ähnlich viel CO₂ wie bei der Verfeuerung von Kohle oder Erdöl [32]. Die energetische Nutzung ist daher im engeren Sinne nicht CO₂-frei. Erweitert man jedoch den Betrachtungszeitraum, sodass auch die Wachstumsphase der Pflanzen eingeschlossen ist, während der durch Photosynthese CO₂ aus der Atmosphäre aufgenommen wird, so ist die Holzhackschnitzel-Nutzung in der Gesamtbilanz theoretisch CO₂-neutral [32]. Daher wird bei Holz-Verfeuerungsanlagen häufig ein CO₂-Faktor von 0 angenommen, wie auch hier von der eins energie in sachsen GmbH & Co. KG [31]. Dies trifft jedoch nur zu, sofern die durch den Abbau und die Verarbeitung sowie den Transport des Holzes entstehenden Emissionen nicht berücksichtigt werden. Die dabei anfallenden Emissionen sind stark von der entsprechend genutzten Abbau- und Verarbeitungskette abhängig (bspw. Transportdistanz, genutzte Forstwirtschaftsfahrzeuge). Durchschnittlich kann laut Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle mit einem CO₂-Emissionsfaktor von 8,1 t/TJ oder 29 t/GWh gerechnet werden [33]. Bei Ansetzung dieses Faktors wären mit dem geplanten Holzheizkraftwerk noch Einsparungen von ca. 42,6 kt/a bzw. 172,2 kg/(EW a) im Wärmebereich und ca. 11,7 kt/a bzw. 47,2 kg/(EW a) im Strombereich zu erreichen. Dies entspricht noch ca. 3,8 % Einsparung der Gesamtemissionen 2017.

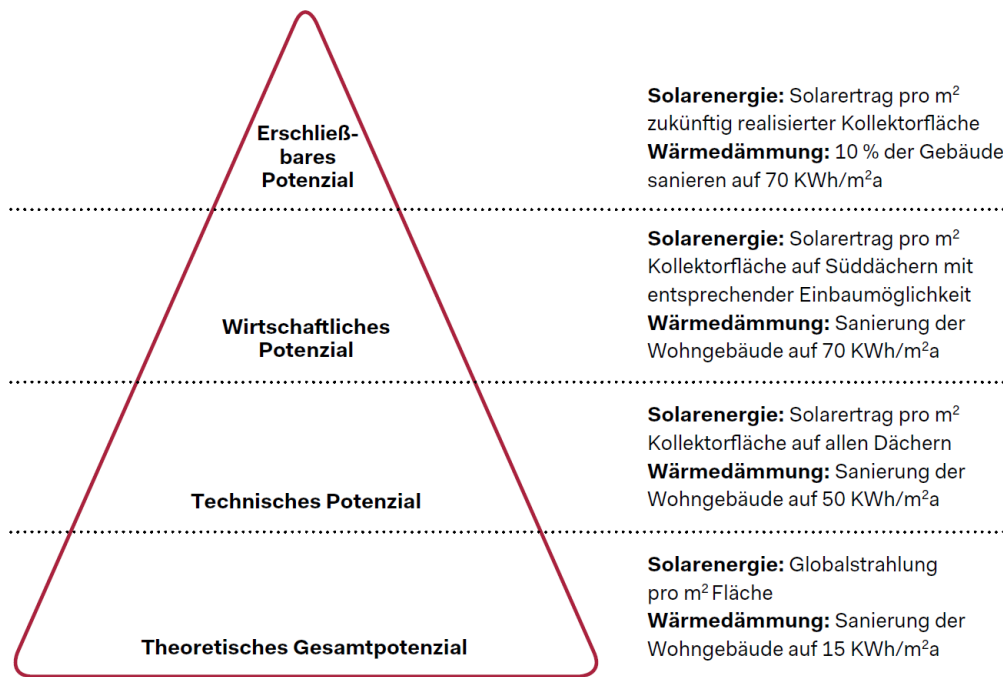


Abbildung 23: Potenzialpyramide Solarenergie [1]

Die Potenzialanalyse bezieht sich dabei auf unterschiedliche Faktoren wie Neigung, Ausrichtung, Verschattung und solare Einstrahlung. Die Berechnung dieser Faktoren erfolgt über ein digitales Oberflächenmodell. Durch die dreidimensionale Analyse ergeben sich verschiedene Vorteile gegenüber zweidimensionalen Methoden. Dazu gehört beispielsweise die Möglichkeit Verschattungen durch umliegende Gebäude und Vegetation zu berechnen. Bautechnische Faktoren wie der Zustand und die Statik des Daches bzw. Gebäudes werden nicht berücksichtigt, ebenso wie plan eingefasste Dachfenster oder Dachüberstände. Grundlage der Solarpotenzialanalyse sind Laserscandaten aus Befliegungen in den Jahren 2006 und 2008 mit einer Punktdichte von 1 Punkt/m² [34]. Das Untersuchungsgebiet Stadt Chemnitz umfasst insgesamt 221 km² mit etwa 115.700 Gebäuden [34].

Bei der Auswertung des Solarkatasters erfolgt die Nutzung einer Reihe von Filtern. So werden für das PV-Potenzial lediglich Flächen die ein Solarenergiepotenzial von 75 % bis 100 % der maximalen Einstrahlungsenergie in Chemnitz aufweisen und Dachflächenbereiche ab 10 m² für geneigte Dächer und 25 m² für Flachdächer berücksichtigt [34].

Für die Warmwasserbereitung (WW) sind grundsätzlich alle Flächen, die für PV-Anlagen geeignet sind, ebenfalls geeignet. Zusätzlich erfolgt eine Erweiterung des nutzbaren Solarenergiepotenzials auf 70 % bis 100 % der maximalen Einstrahlungsenergie [34]. Es werden über die Ausweisung von geeigneten Standorten für PV-Anlagen hinaus weitere Standorte berechnet, die aufgrund dieser Parameter nur für die Installation von thermischen Anlagen wirtschaftlich genutzt werden können. Weiterhin gilt für die Nutzung thermischer Anlagen eine Mindestflächengröße von 5 m² (geneigtes Dach) und 15 m² (Flachdächer mit bei Aufständigung) [34].

Für die Eignung zur Heizungsunterstützung (Hz) sind steilere Aufstellwinkel anzustreben, da sich gerade in der Heizperiode (bei niedrigem Sonnenstand) höhere Erträge ergeben. Geeignete Dachflächenbereiche verfügen über ein Solarpotenzial von 75 % bis 100 % der maximalen Einstrahlungsenergie. Zudem gilt für die Nutzung thermischer Anlagen zur Heizungsunterstützung eine Mindestflächengröße von 10 m² (geneigtes Dach) und 25 m² (Flachdächer mit bei Aufständigung). [34]

Da also nur eine Berücksichtigung von Dachflächen mit mindestens 70 % der maximalen Einstrahlungsstärke und einer Mindestfläche von 5 m² erfolgt, können die ausgewiesenen Potenziale als wirtschaftlich betrachtet werden. Für weitere Informationen zur Berechnung wird an dieser Stelle auf die Dokumentation „Solarpotenzialanalyse und Bereitstellung einer Software + web-site für die Stadt Chemnitz“ verwiesen. [34]

Tabelle 22 zeigt die sektorspezifischen, wirtschaftlichen Gesamtpotenziale laut Solarkataster mit zusätzlicher Trennung nach Gärten und Sonstigem (größtenteils Garagenhöfe). Es sind die Werte sowohl mit als auch ohne Abzüge der Potenziale von denkmalgeschützten Gebäuden und Gebäuden bei denen Probleme mit der Statik oder dem Brandschutz die Installation von Solaranlagen unwahrscheinlich machen, aufgeführt. Abbildung 24 zeigt am Beispiel der Photovoltaik den Einfluss einer Berücksichtigung dieser Minderungen für die einzelnen Sektoren.

Tabelle 22: wirtschaftliche Gesamtpotenziale für Strom, Warmwasser und Heizungsunterstützung laut Solarkataster und so erreichbare CO₂-Einsparungen [15]

Sektor		PV [GWh/a]	CO _{2eq} - Einsparung [kt/a]	ST-WW [GWh/a]	CO _{2eq} - Einsparung [kt/a]	ST-Hz [GWh/a]	CO _{2eq} - Einsparung [kt/a]
private Haushalte	gesamt	283	102,2	1.353	371,9	388	106,7
	Berücksichtigung Denkmalschutz	229	82,7	1.098	301,8	319	87,7
	Berücksichtigung Statik/Brandschutz	223	80,5	1.072	294,7	309	84,9
Industrie	gesamt	49	17,7	212	58,3	75	20,6
	Berücksichtigung Denkmalschutz	45	16,2	195	53,6	70	19,2
	Berücksichtigung Statik/Brandschutz	45	16,2	195	53,6	70	19,2
GHD	gesamt	162	58,5	716	196,8	226	62,1
	Berücksichtigung Denkmalschutz	144	52,0	634	174,3	201	55,3
	Berücksichtigung Statik/Brandschutz	144	52,0	634	174,3	201	55,3
öffentliche Gebäude	gesamt	54	19,5	240	66,0	73	20,1
	Berücksichtigung Denkmalschutz	30	10,8	135	37,1	43	11,8
	Berücksichtigung Statik/Brandschutz	30	10,8	135	37,1	43	11,8
Gärten	gesamt	1	0,4	7	1,9	2	0,5
	Berücksichtigung Denkmalschutz	1	0,4	7	1,9	2	0,5
	Berücksichtigung Statik/Brandschutz	1	0,4	7	1,9	2	0,5
sonstiges (Garagen)	gesamt	35	12,6	159	43,7	48	13,2
	Berücksichtigung Denkmalschutz	35	12,6	158	43,4	48	13,2
	Berücksichtigung Statik/Brandschutz	35	12,6	158	43,4	48	13,2
Summe	gesamt	584	210,8	2.686	738,4	812	223,2
	Berücksichtigung Denkmalschutz	484	174,7	2.227	612,2	683	187,7
	Berücksichtigung Statik/Brandschutz	479	172,9	2.201	605,0	673	185,0

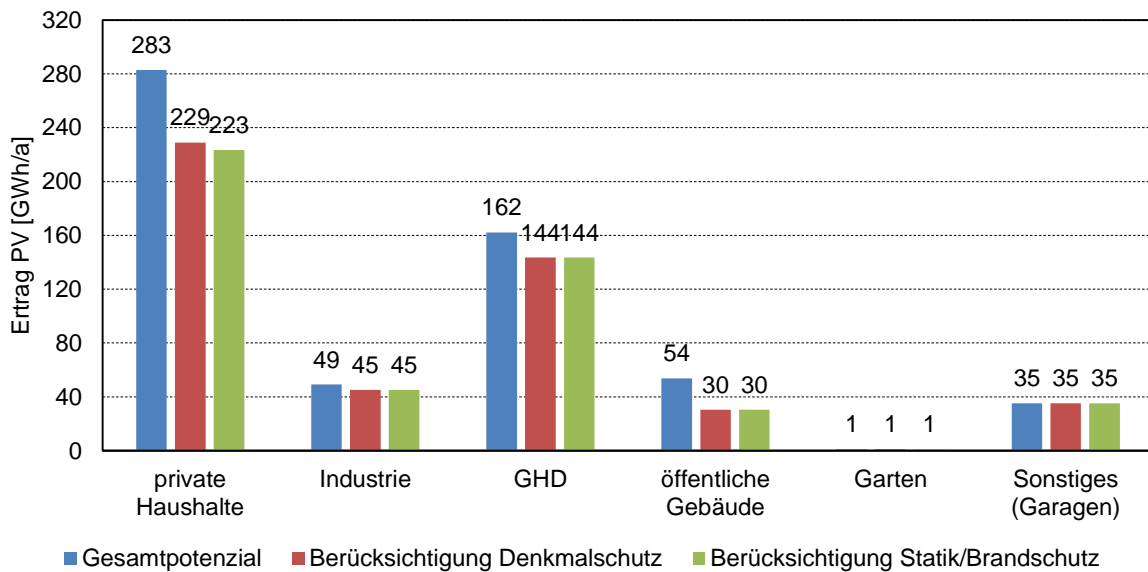


Abbildung 24: sektorspezifische Potenziale für Photovoltaik-Erträge laut Solarkataster unter Berücksichtigung des Denkmalschutzes und der Statik bzw. des Brandschutzes [15]

Es ist zu erkennen, dass die Berücksichtigung von Gebäuden mit Denkmalschutz nur bei den Gärten und Garagenanlagen keinen Einfluss hat. Der größte Einfluss liegt bei den privaten Haushalten vor. Informationen zur Statik und dem Brandschutz liegen nur für einzelne Objekte im Sektor private Haushalte vor und haben dort einen Einfluss von wenigen Gigawattstunden pro Jahr.

Bei diesen Zahlen sind die bereits installierten Anlagen noch nicht berücksichtigt. Von den insgesamt installierten 43 MWp PV-Leistung (im Jahr 2017 ca. 34,2 GWh/a Ertrag) entfallen ca. 13,3 GWh/a Ertrag auf Aufdach-Anlagen. Bei den Solarthermieanlagen entfallen ca. 13,9 GWh/a Ertrag auf Aufdach-Anlagen. Dementsprechend ergibt sich ein noch erschließbares, wirtschaftliches Gesamtpotenzial an Solarenergie von 465 GWh/a PV, 2.187 GWh/a Warmwasser und 659 GWh/a Heizungsunterstützung (Abzug des bereits genutzten Solarthermie-Potenzials bei Warmwasser und Heizungsunterstützung, da unklar ist für welchen Zweck die vorhandenen Anlagen im Einzelnen eingesetzt werden).

Bei einer Gegenüberstellung dieser Potenziale zu den tatsächlichen Verbräuchen im Jahr 2017 (Strom: 1.023 GWh/a; Warmwasser und Heizung: 2.159 GWh/a) ergibt sich ein theoretisches Einsparpotenzial von 45,5 % im Stromsektor und entweder ein Überangebot an solarthermisch erzeugtem Warmwasser oder ein Mindesteinsparpotenzial von 30,5 % bei der Raumheizung. Dies entspricht einer CO₂-Einsparung von 168,0 kt/a bzw. 679,1 kg/(EW a) im Stromsektor oder einer CO₂-Äquivalent-Einsparung von mindestens 181,2 kt/a bzw. 732,2 kg/(EW a) im Warmwasser- und Heizungssektor⁶. Eine Gegenüberstellung dieser Einsparpotenziale mit den Emissionen von 2017 und den Zielen für 2050 (0,63-2,0 t/(EW a)) zeigt eine mögliche Minderung der Emissionen auf ca. 5,1 t/(EW a). Dies entspricht einer Reduzierung um ca. 12 % und ist dementsprechend zwar ein großes Einsparpotenzial, jedoch wäre selbst eine Nutzung aller wirtschaftlichen Solarenergie-Potenziale in Bezug auf die städtischen Dachflächen nicht ausreichend um die 2050er Ziele zu erreichen. Die zusätzliche Umsetzung

⁶ Für die Berechnung der Einsparung an CO_{2eq}-Emissionen bei einer solarthermischen Nutzung erfolgte erneut die Nutzung eines durchschnittlichen CO_{2eq}-Faktors für die Wärmeerzeugung, basierend auf der tatsächlichen Verteilung der Endenergienutzung in Chemnitz im Jahr 2017 (274,89 t/GWh).

von weiteren Maßnahmen, bspw. großen Freiflächenanlagen, ist daher für die Erreichung der geplanten Einsparungen enorm wichtig.

2.3.2 Freiflächen

Im Stadtgebiet Chemnitz kommen theoretisch zahlreiche Freiflächen für eine Installation von solaren Großanlagen infrage. Daher erfolgte im Vorfeld eine Auswahl der Flächen mit dem größten Potenzial (insbesondere für eine solarthermische Nutzung in Verbindung mit einem Anschluss an das bestehende Fernwärmenetz) und bei denen die Umsetzung einer solchen Anlage aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen am wahrscheinlichsten erscheint. In Zusammenarbeit mit der eins energie in sachsen GmbH & Co. KG und dem Umweltamt Chemnitz wurden die aussichtsreichsten Freiflächen identifiziert. Theoretisch ist eine Nutzung mit Photovoltaik oder Solarthermie möglich. Es ist dabei zu beachten, dass eine Solarthermie-Anlage sinnvollerweise in Verbindung mit dem Fernwärmenetz betrieben werden sollte und ein Anschluss ans Fernwärmenetz daher in der näheren Umgebung möglich sein sollte. Bei PV-Anlagen ist dies weniger kritisch, wenngleich auch hier ein Stromanschluss notwendig ist. Tabelle 23 und Abbildung 25 fassen die Auswertung der in Frage kommenden Freiflächen zusammen.

Tabelle 23: mögliche Freiflächen für PV- und ST-Großanlagen im Chemnitzer Stadtgebiet [15]

Nr. in Abbildung 25	Standortbezeichnung	Fläche [m²]	Status
1	Fischweg	113.083	negativ
2	Fischblase	84.440	positiv
3	Zur Alten Gärtnerei	20.000	eingeschränkt
4	Steinwiese	357.936	negativ
5	Harthweg	216.360	negativ
6	südl. Kepplerstraße	74.386	negativ
7	Otto-Schmerbach-Straße	7.614	eingeschränkt
8	Neefestraße/Südring	18.958	eingeschränkt
9	Steinbergstraße	126.304	negativ
10-14	Umfeld Robert-Siewert-Straße	50.136	negativ
15	Wolgograder Allee	14.560	positiv
16	Wolgograder Allee	8.926	positiv
17	Wolgograder Allee	3.354	negativ
18	Wolgograder Allee	997	negativ
19	Johannes-Dick-Straße	2.158	positiv
20	Hutholz Süd	2.240	negativ
21	Hutholz Süd	16.324	negativ
22	Saydaer Straße	66.764	Prüfbedarf
23	Werner-Seelenbinder-Straße	26.724	positiv
24	Eislebener Straße	46.574	negativ
25	Heinrich-Lorenz-Straße	45.716	Prüfbedarf
26	Heinrich-Lorenz-Straße	13.856	positiv
27	Carl-v.-Ossietzky-Straße	40.847	negativ
28	Hilbersdorfer Straße	17.264	Prüfbedarf
29	Bernsdorfer Straße	497	negativ
30	Glösaer Straße	241.975	Prüfbedarf
31	Johannes-Dick-Straße	8.748	positiv
32	KGA Lindenhöhe	36.363	positiv
33	Solarpark Altendorfer Straße	9.000	positiv

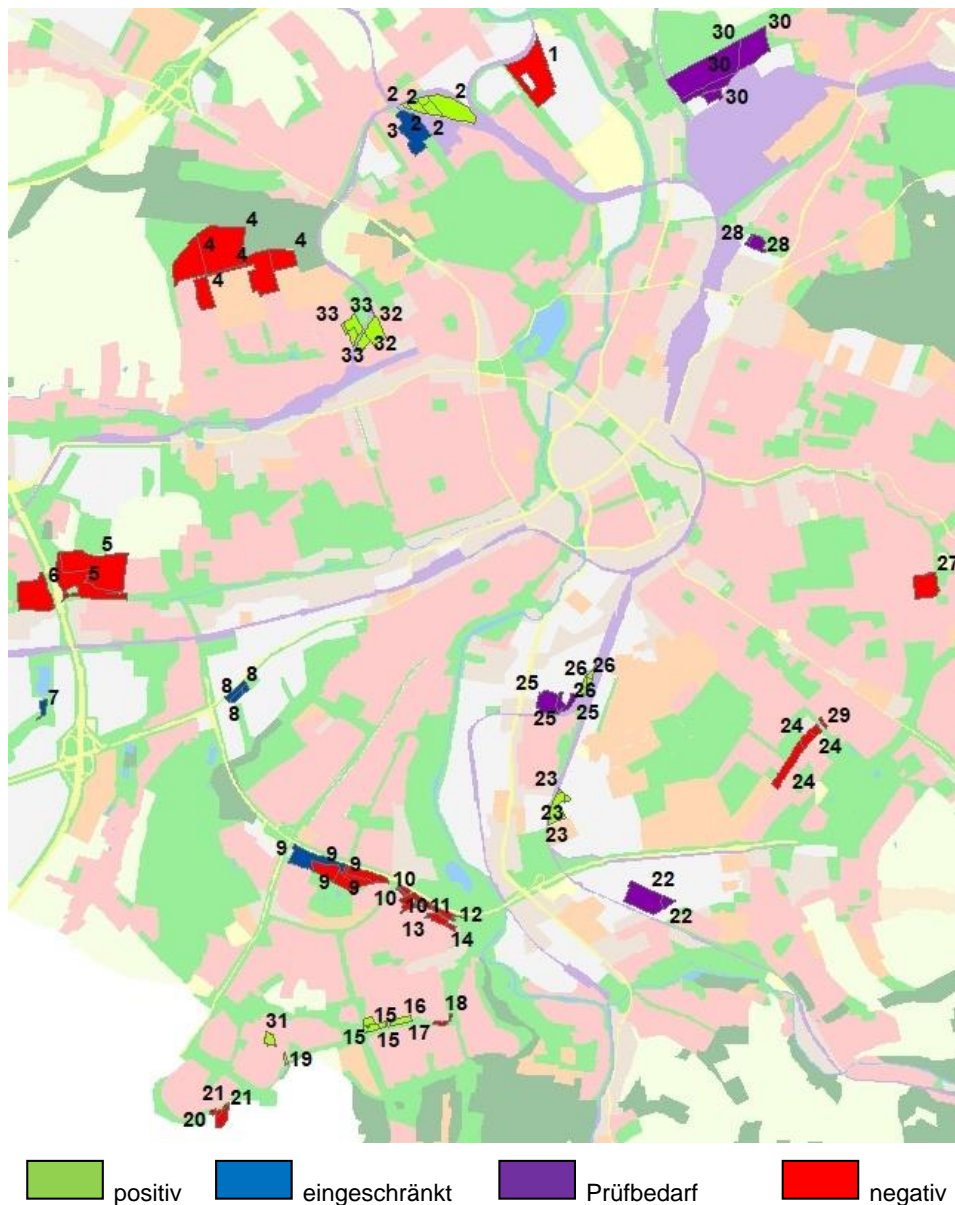


Abbildung 25: Kartenausschnitt Freiflächen für Solarthermie [15]

Demnach sind insgesamt 204.775 m² positiv, 46.572 m² eingeschränkt, 371.719 m² mit Prüfbedarf und 1.049.037 m² negativ bewertet. Tabelle 24 fasst die Potenziale bei unterschiedlicher Nutzung der Freiflächen zusammen⁷.

⁷ Für die Berechnung der Photovoltaikpotenziale findet ein Flächennutzungsfaktor von 2,4, ein Flächenleistungsfaktor von 6m²/kWp und spezifischer Ertrag von 900 kWh/kWp Verwendung [70]. Bei der Berechnung der Solarthermiefpotenziale kommt ein Flächennutzungsfaktor von 2,4 und spezifischer Ertrag von 450 kWh/m² zum Einsatz.

Tabelle 24: erwartete Jahreserträge bei einer Nutzung der Freiflächen mit Solarthermie und Photovoltaik sowie CO₂-Einsparpotenziale im Vergleich zu den Gesamtemissionen in Chemnitz im Jahr 2017

Nutzung	Status	Fläche [m ²]	Ertrag [GWh/a]	CO ₂ -Einsparung [t/a]	CO ₂ -Einsparung [kg/(EW a)]	CO ₂ -Einsparung [%]
Solarthermie	positiv	204.775	38,4	15.089,3	61,0	1,1
	eingeschränkt	46.572	8,7	3.431,8	13,9	0,2
	Prüfbedarf	371.719	69,7	27.391,0	110,7	1,9
	negativ	1.049.037	196,7	77.300,9	312,4	5,4
Photovoltaik	positiv	204.775	12,8	4.620,2	18,7	0,3
	eingeschränkt	46.572	2,9	1.050,8	4,2	0,1
	Prüfbedarf	371.719	23,2	8.386,9	33,9	0,6
	negativ	1.049.037	65,6	23.668,9	95,7	1,6

2.4 Windkraftanlagen Chemnitz – Repowering

Auf dem Galgenberg im Ortsteil Rabenstein befindet sich ein Windpark bestehend aus sieben Windkraftanlagen (WKA) mit einer installierten Nennleistung von insgesamt 10.600 kW. Vier Anlagen mit einer Nennleistung von je 2.000 kW sind seit 2010 Betrieb und drei weitere Anlagen mit 600 kW bzw. jeweils 1.000 kW wurden bereits 2001 errichtet [74]. Bei einer technischen Lebensdauer von etwa 20 Jahren sollten für die älteren WKA geeignete Maßnahmen im Sinne des Repowerings vorgesehen werden. Neben der Materialermüdung der schwingenden Bauteile erfordert das Ende der 20-jährigen EEG-Vergütung eine Neubewertung der Kosten- und Erlösfaktoren einer Bestandsanlage gegenüber dem Repowering-Potenzial. Das Repowering beschreibt den Abbau der älteren Anlagen und die Neuerrichtung von WKA modernster Leistungsstandards am selben oder benachbarten Standort. Ziel der Maßnahme ist es, eine verbesserte Energieausbeute zu erreichen, ohne zur Nutzung der Windenergie neue Flächen ausweisen zu müssen.



Abbildung 26: Anordnung der WKA des Windparks Chemnitz/Galgenberg mit vier neueren Anlagen (Baujahr 2010, Nennleistung 2.000 kW) und drei älteren Anlagen (Baujahr 2001, Nennleistung 1.000 kW bzw. 600 kW)

Der Windpark erstreckt sich über ein von West nach Ost und von Nord nach Süd abfallendes Gelände mit einer freien Anströmung aus Norden, Süden und Osten [35]. Im Westen ist ein Hügel mit Wald vorgelagert, die natürlich Abschattungseffekte für die WKA zur Folge haben. Ein Birkenwald im Norden sowie eine Baumallee im Westen können die Oberflächenrauigkeit beeinflussen. Die Umgebung und das Gelände des Windparks werden landwirtschaftlich genutzt. In südlicher Richtung befinden sich im Abstand von rund 680 m erste Wohnhäuser und ein Garagensystem. Im Norden und Osten verlaufen die Bundesautobahnen A4 und A72 mit dem verbindenden Autobahnkreuz Chemnitz.

Der Galgenberg fügt sich in Verlängerung in die landschaftsprägende Erhebung "Rabensteiner Höhenzug mit Langenberger Höhe, Totenstein und Pfaffenberg" ein. Bei der Planung zur Errichtung neuer, leistungsstärkerer und ggf. auch höherer WKA direkt im Bereich dieser Erhebung ist das Interesse am Erhalt einer charakteristischen visuellen Ausprägung stets zu berücksichtigen (Aussichtspunkte und -bereiche, touristisches Wegenetz). Das Gelände ist Bestandteil eines regionalen Grünzugs, gilt als Vorranggebiet für die Landwirtschaft und ist zudem im Bereich eines Vorbehaltsgebiets zum Arten- und Biotopschutz. Gemäß Daten der Brutvogelkartierung 2004–2007 befanden sich in der Umgebung des Windparks Jungvögel des Rotmilans, der zu den WEA-sensiblen Vogelarten zählt und einen Abstand von 1.500 m zum Nest bedingt [36]. Im Rahmen des besonderen Artenschutzes und in den immissionsrechtlichen Genehmigungsverfahren sind auf entsprechender Planungsebene die avifaunistisch bedeutsamen Lebensräume und Strukturen relevanter Räume für Fledermäuse beim Neubau bzw. beim Repowering zu berücksichtigen. Eine raumplanerisch sinnvolle Konzentration der WKA am geeigneten Standort des vorhandenen Windparks ist anzustreben.

Tabelle 25: Attribute der aktuellen WKA des Windparks Chemnitz/Galgenberg [36]

Anlagentyp	Technische Daten		Baujahr	Ertrag		Nutzungsgrad	Ertrag
	NL*	RD / NH / GH*		berechnet (NL)	eingespeist (2011)		insgesamt (2011)
	[kW]	[m]		[MWh/a]	[MWh/a]		[MWh/a]
DeWind D6/62	1.000	62 / 69 / 100	2001	8.760	1.292	14,7	21.648
DeWind D6/62	1.000	62 / 69 / 100	2001	8.760	1.292	14,7	
DeWind D4/48	600	48 / 70 / 94	2001	5.260	775	14,7	
Enercon E-82	2.000	82 / 108 / 149	2010	17.520	4.572	26,1	
Enercon E-82	2.000	82 / 108 / 149	2010	17.520	4.572	26,1	
Enercon E-82	2.000	82 / 108 / 149	2010	17.520	4.572	26,1	
Enercon E-82	2.000	82 / 108 / 149	2010	17.520	4.572	26,1	

* NL: Nennleistung, RD: Rotordurchmesser, NH: Nabhöhe, GH: Gesamthöhe

Tabelle 26: Attribute der Referenzanlagen gemäß Handlungsleitfaden des SMWA über die Berechnung der Ertragsprognosen für Windkraftanlagen empfohlen für Neuanlagen und das Repowering [37]

Referenzanlage	Technische Daten		Referenzertrag
	NL* [kW]	RD / NH / GH* [m]	
RA100	2.000	75 / 62 / 100	4.200
RA125	2.100	92 / 80 / 125	6.000
RA150	2.300	82 / 110 / 150	6.300
RA175	3.000	110 / 120 / 175	9.800
RA200	3.200	114 / 143 / 200	10.700

* NL: Nennleistung, RD: Rotordurchmesser, NH: Nabhöhe, GH: Gesamthöhe

Die drei WKA mit Baujahr 2001 (vgl. Tabelle 25) sollten durch leistungsstärkere Anlagen ersetzt werden. In Tabelle 26 sind vorgeschlagene Referenzanlagen und deren Attribute aufgeführt. Für die südliche 600-kW-Anlage erscheint der Austausch durch eine Anlage des Typs RA100 als geeignete Repowering-Maßnahme, insbesondere hinsichtlich der Gesamthöhe bei < 800 m Siedlungsabstand. Durch RA125 und RA150 können die beiden 1.000-kW-Anlagen ersetzt werden, deren größere Gesamthöhe aus der jeweiligen Zone für die Ausweisung der Referenzanlagen nach Siedlungsabständen resultiert. Der Wind weht in größeren Höhen beständiger und größere Rotoren fangen mehr Wind ein, wodurch die jährliche Stromproduktion der Anlagen steigt. Die installierte Leistung der drei WKA lässt sich von 2.600 kW auf 6.400 kW erhöhen. Der Windpark verfügt damit über eine Nennleistung von 14,4 MW mit einer Steigerung um 35,8 %. Bei einem angenommenen Nutzungsgrad von 21,2 % (Mittelwert Nutzungsgrade 2011, Tabelle 25) ist nach Repowering der drei Anlagen ein Ertrag von 11.885,6 MWh/a möglich. Auf Basis der Einspeisedaten von 2011 könnte der Windpark somit einen Ertrag von 30.175,2 MWh/a (+39,4 %) erzielen und dazu beitragen, die regionalen Klimaschutzziele zu erreichen. Steigt der Ertrag des Windparks am Galgenberg in Chemnitz um 8.527,3 MWh/a, sinken die THG-Emissionen um 2,9 kt/a bzw. 11,8 kg/(EW a). Durch die Repowering-Maßnahme wird Strom mit einem CO_{2eq}-Faktor von 341 g/kWh (Strommix) substituiert.

Der technisch und wirtschaftlich beste Zeitpunkt für das Repowering ist nicht pauschal festzulegen. Zunächst müssen der allgemeine Zustand der WKA und die kommerziellen Rahmenbedingungen (Kosten, Einnahmen) analysiert werden. In die abschließende Wirtschaftlichkeitsberechnung fließt eine Reihe von Faktoren ein, wovon die Investitionskosten der neuen WKA einen wesentlichen Anteil einnehmen. Weiterhin sind Planungs- und Infrastrukturkosten, Kosten für die Demontage der alten WKA, Baukosten zur Errichtung der Neuanlagen, Betriebskosten, Versicherungen sowie entgangene Erlöse der Altanlagen zu berücksichtigen. Mit zunehmender Betriebsdauer ist mit einem Anstieg der Wartungs- und Instandhaltungskosten zu rechnen. Jedoch bieten sich durch einen erfolgreichen Betrieb von älteren WKA ggf. günstige Voraussetzungen für die Finanzierung von Neuanlagen. Über den Gebrauchtmärkte für alte Turbinen in gutem Zustand können die Projektkosten für das Repowering leicht reduziert werden. Für einen reibungslosen Projektablauf ist die Unterstützung erfahrener Repowering-Dienstleister von Vorteil.

In einer Studie des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) wurden die Stromgestehungskosten (LCOE) erneuerbarer Energien für das Jahr 2018 untersucht [38]. Die spezifischen Anlagenkosten für eine aktuelle Installation betragen 1.500–2.000 €/kW je WKA (onshore). Die Umsetzung der zuvor vorgeschlagenen Repowering-Maßnahme am Galgenberg würde demnach ein Volumen von insgesamt 9,6–12,8 Mio. € erfordern. Zudem erwartet die Studie fixe Betriebskosten von jährlich 30 €/kW sowie variable Betriebskosten von 0,5 €_{Cent}/kWh bei einer Lebensdauer von 25 Jahren. Das vergleichsweise geringe Windangebot am Galgenberg führt zu etwa 1.800 Volllaststunden im Jahr, woraus für die drei neu errichteten WKA Stromgestehungskosten von 6,72–8,23 €_{Cent}/kWh resultieren. Im Vergleich werden Stromgestehungskosten von 4,97–6,07 €_{Cent}/kWh bei 2.500 und 3,99–4,85 €_{Cent}/kWh bei 3.200 Volllaststunden erreicht. In den vorgestellten Stromgestehungskosten sind die Anschaffungskosten, Standortbedingungen, Betriebskosten, Lebensdauer der Anlage und Finanzierungsbedingungen berücksichtigt.

Eine weitere Variante, die sowohl zu repowernde Anlagen als auch neu zu errichtende Anlagen umfasst, wurde 2015 im Windenergiekonzept zur planerischen Steuerung von raumbedeutsamen Windenergieanlagen im Regionalplan für die Region Chemnitz veröffentlicht. Insgesamt sind sieben Repowering-Maßnahmen (4x RA150, 3x RA100) und acht neue Anlagen (1x RA150, 7x RA100) vorgesehen (Abbildung 27). Für das Vorrang-/Eignungsgebiet

(VREG) auf dem Galgenberg wird ein Ertrag von ca. 47 GWh/a (+115,5 %) prognostiziert. Dies entspräche einer Ertragssteigerung von ca. 25 GWh/a. Die THG-Emissionen könnten hiermit um ca. 8,5 kt/a bzw. 34,4 kg/(EW a) reduziert werden.

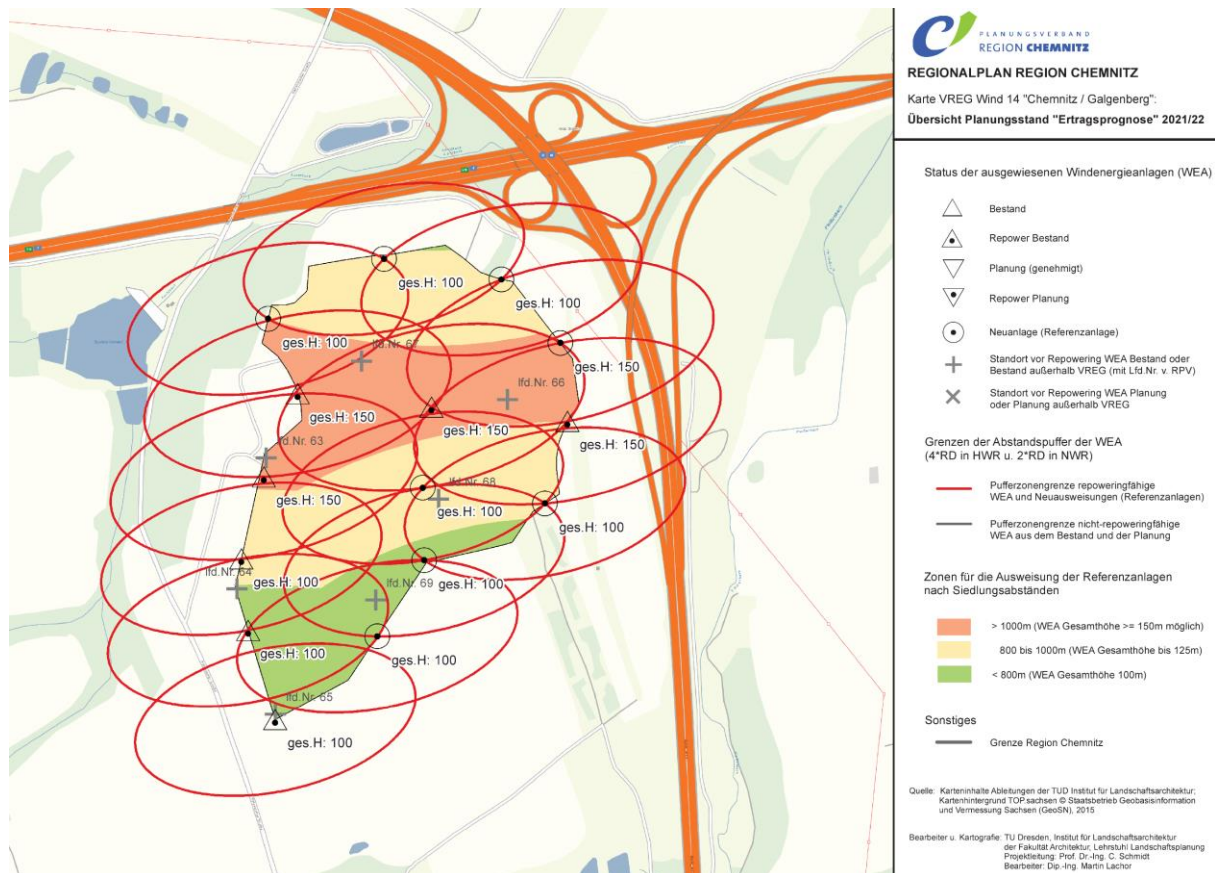


Abbildung 27: Karte zur möglichen Anordnung von WKA im Windpark Chemnitz/Galgenberg durch Repowering und Neuerrichtungen [36]

Eine Ausweisung von VREG ist seitens der Stadt Chemnitz bereits erfolgt. Die erneute Ermittlung potenzieller Gebiete für die Nutzung der Windenergie war daher im Rahmen des aktuellen Klimaschutzteilkonzepts nicht durchzuführen. Aus dem Windenergiekonzept für die Region Chemnitz ergab sich mit dem Standort Euba ein weiteres VREG (Abbildung 28), das mit neun Referenzanlagen (2x RA150, 7x RA100) einen Ertrag von 29 GWh/a verspricht. Der betrachtete Bereich befindet sich allerdings in weniger als 1,0 km Entfernung zu einem Brutplatz des WEA-sensiblen Rotmilans und unterschreitet somit den fachlich empfohlenen Mindestabstand. Mit der Errichtung eines Windparks würde sich das Tötungsrisiko für den Rotmilan signifikant erhöhen. Weiterhin liegt die Zerschneidung von Funktionsfreiräumen des Schwarzstorches nahe. Im direkten Umfeld der VREG Wind konnten anhand von Zufallsbeobachtungen zur Brutzeit mehrere Nahrungsflüge dokumentiert werden.

Die Ausweisung und somit mögliche Errichtung eines Windparks im Chemnitzer Stadtteil Euba steht demnach insbesondere den Belangen des Vogelschutzes entgegen und widerspricht dem Vorsorgeprinzip. Die Stadt Chemnitz geht demzufolge davon aus, dass das VREG nicht

genehmigungsfähig ist und hat dies auch im Rahmen des Beteiligungsverfahrens gegenüber dem Regionalen Planungsverband zum Ausdruck gebracht.⁸

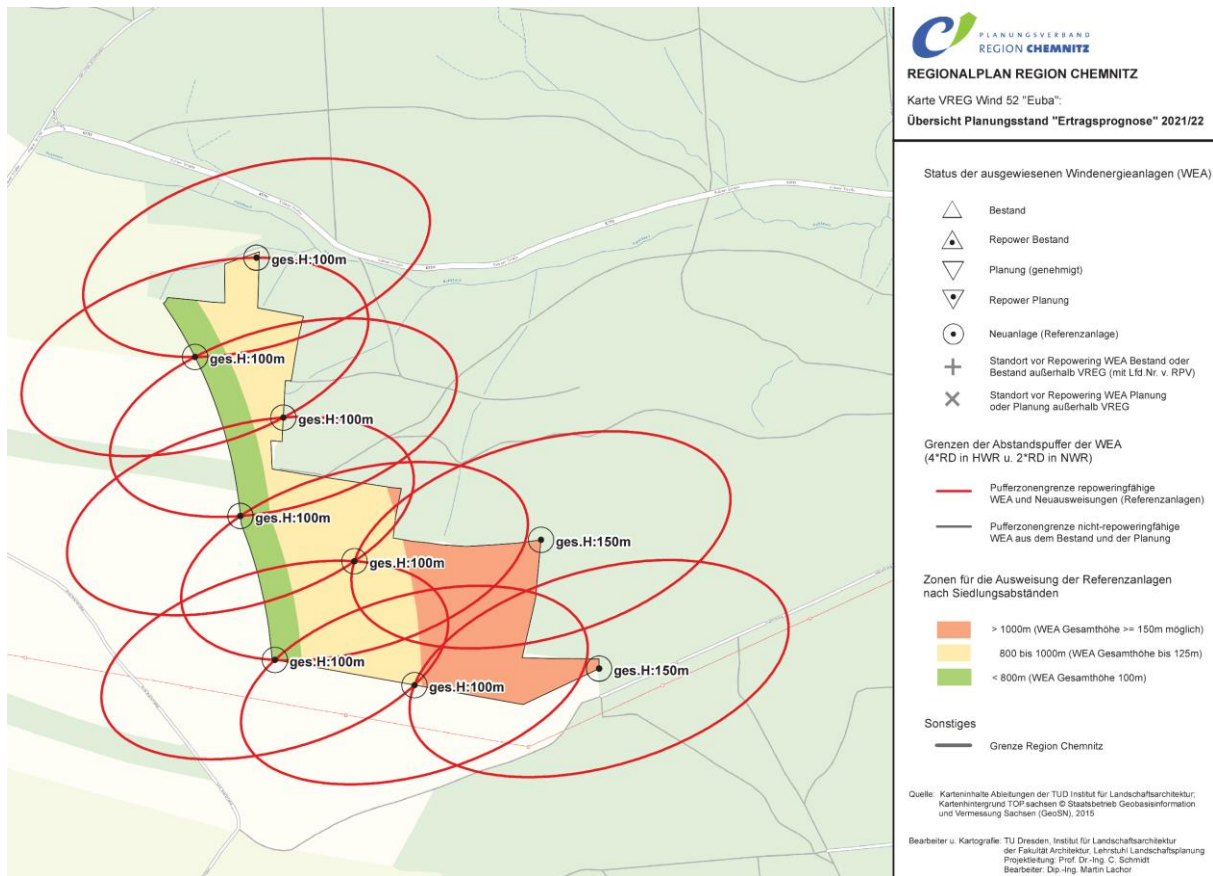


Abbildung 28: Karte zur theoretisch möglichen Anordnung von WKA in einem potenziellen Windpark Chemnitz/Euba durch Neuerrichtungen [36]

2.5 Umgebungswärme und Geothermie

2.5.1 Geothermie

Die Quantifizierung der Potenziale für Umgebungswärme, Abwärme und Geothermie ist schwierig. Für das Stadtgebiet Chemnitz sind keine tiefengeothermischen Potenziale bekannt. Ebenso liefert die für Sachsen vorhandene Geothermie-Potenzial-Karte keine Ergebnisse für Chemnitz [39].

In Bezug auf Abwärme-Potenziale, liegt für Sachsen zwar ein Abwärmeatlas vor, die einzigen beiden dort aufgeführten Potenziale sind jedoch die Metallgießerei Chemnitz GmbH und die Härtetechnik Chemnitz GmbH [40], [41]. Tabelle 27 und Tabelle 28 fassen die so verfügbaren Informationen zusammen.

⁸ Mit der Errichtung eines Windparks in Chemnitz/Euba wäre theoretisch eine weitere Senkung der THG-Emissionen um rund 10,6 kt/a bzw. 42,7 kg/(EW a) zu erreichen. Dies entspricht 0,74 % der Gesamtemissionen im Jahr 2017. Hierbei wird für den substituierten Strommix ein CO_{2eq}-Emissionsfaktor von 361 g/kWh angenommen.

Tabelle 27: Abwärmepotenzial Metallgießerei Chemnitz GmbH [40]

Metallgießerei Chemnitz GmbH	
Branche	Gießerei, Härterei
Wärmequelle	Industrieofen
Wärmeträger	Abgas
Temperaturniveau der Wärme [°C]	>300
minimale Abwärmeleistung [kW]	200
maximale Abwärmeleistung [kW]	1.600
mittlere jährliche Abwärmemenge [kWh/a]	60.000
Verfügbarkeit der Abwärme	stärker begrenzt
betriebsinterne Nutzung	ja

Tabelle 28: Abwärmepotenzial Härtetechnik Chemnitz GmbH [41]

Härtetechnik Chemnitz GmbH	
Branche	Lackiererei, Oberflächentechnik
Wärmequelle	Industrieofen
Wärmeträger	Abgas
Temperaturniveau der Wärme [°C]	>300
Verfügbarkeit der Abwärme	ganzjährig
betriebsinterne Nutzung	ja

Demnach ist unklar, welche Abwärmeleistung oder mittlere jährliche Abwärmemenge bei der Härtetechnik Chemnitz GmbH zur Verfügung steht, lediglich das Temperaturniveau mit über 300 °C ist bekannt. Dieses wäre zumindest hoch genug, um die Abwärme für eine Einspeisung in das Fernwärmenetz nutzbar zu machen. Bei der Metallgießerei Chemnitz GmbH ist eine mittlere jährliche Abwärmemenge von 60 MWh angegeben. Bei der Annahme einer Einspeisung dieser Größenordnung in das Fernwärmenetz und damit einer Einsparung von 60 MWh bei der eigentlichen Fernwärmeerzeugung ergäbe sich ein CO₂-Einsparpotenzial von ca. 23,6 t/a oder 0,1 kg/(EW a).

Ein theoretisch umsetzbares Szenario für die großflächige Nutzung von Umgebungswärme wäre der Einsatz von Wärmepumpen in Verbindung mit Erdwärmesonden im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser (EFH, ZFH). Aus dem Gebäudetypenkatalog geht hervor, dass hierfür die Gebäudetypen 1-5, 25, 26, 35 und 36 in Frage kommen (Tabelle 29; EFH und ZFH unterschiedlicher Baujahre und Sanierungszustände) [15].

Die Nutzung von Luftwärmepumpen empfiehlt sich nur bedingt, da die Leistungszahl (COP) von Luftwärmepumpen deutlich niedriger liegt [42], [43]. Eine einfache Hochrechnung bei einem Einsatz von Erdwärmesonden und Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von 3,5 bei obig genannten Gebäudetypen in Chemnitz ergibt folgende Einsparpotenziale.

Tabelle 29: Gebäudetypenkatalog der Stadt Chemnitz [15]

Typ	Baujahre	Kurzbeschreibung
1	vor 1918	1- bis 2-geschossig, Raumhöhe 2,00 m bis 2,40 m, überwiegend Vollziegelmauerwerk (auch mit Fachwerk)
2	1919 - 1945	1- bis 2-geschossig, Raumhöhe 2,40 m bis 2,60 m, überwiegend Vollziegelmauerwerk
3	1946 - 1970	meist eingeschossig, Raumhöhe 2,30 m bis 2,50 m. Überwiegend Vollziegelmauerwerk (auch Hohlblocksteine)
4	1971 - 1985	meist 1- bis 2-geschossige Typenbauten, Raumhöhe 2,40 m bis 2,70 m, Vollziegel-, Brechlochziegel-, Hohlblockstein-Gasbeton-Steinmauerwerk (auch Asbestzementplatten)
5	1986 - 1990	meist 1- bis 2-geschossige Typenbauten, Raumhöhe 2,45 m bis 2,60 m Gasbetonblöcke, Holzbeton mit Wärmedämmung, Spanplattenelemente
6	vor 1918	mehrgeschossig, Raumhöhe 3,70 m bis 3,85 m, monolithisches Mauerwerk, Teilfachwerk
7	vor 1918	2- bis 3-geschossig, Raumhöhe 3,20 m bis 3,80 m, monolithisches Mauerwerk
8	vor 1918	4- bis 5-geschossig, Geschoßhöhe 3,20 m bis 3,85 m, monolithisches Mauerwerk
9	1919 - 1945	3- bis 5-geschossig, Geschoßhöhe 2,50 m bis 2,80 m, monolithisches Mauerwerk
10	nach 1945	über 2-geschossig, Ziegelbauweise, monolithisches Mauerwerk
11	ab 1958	3- bis 5-geschossig, Block- und Streifenbau, Schaumbeton, Leichtbeton
12	1961 – 1970	mehrgeschossig, 1- bis 2-schichtige Platte, Leichtbetonplatten
13	1970 – 1985	5- bis 6-geschossig, 3-schichtige wärme gedämmte Platten aus Leicht- und Schwerbeton
14	1970 – 1985	9-geschossig, 3-schichtige wärme gedämmte Platten aus Leicht- und Schwerbeton
15	1970 – 1985	meist 11-geschossig, 3-schichtige wärme gedämmte Platten aus Schwerbeton mit beschichteter Sichtfläche
16	ab 1984	mehrgeschossig, 3-schichtige wärme gedämmte Platten aus Schwerbeton
17	1960 – 1970	8- bis 9-geschossig, 1-schichtige Platten aus Leicht- und Schwerbeton
25	1990 – 1995	EFH ausgeführt nach Wärmeschutzverordnung von 1984, 1 bis 2 Geschosse, Raumhöhe 2,40 m bis 2,60 m
26	1990 – 1995	ZFH ausgeführt nach Wärmeschutzverordnung von 1984, 2 bis 3 Geschosse
27	1990 – 1995	Mehrfamilienhaus (MFH) ausgeführt nach Wärmeschutzverordnung von 1984, 3 bis 5 Geschosse
28	1990 – 1995	MFH ausgeführt nach Wärmeschutzverordnung von 1984, mehr als 5 Geschosse
35	nach 1995	EFH ausgeführt nach Wärmeschutzverordnung von 1995, 1 bis 2 Geschosse, Raumhöhe: 2,40 m bis 2,60 m
36	nach 1995	ZFH ausgeführt nach Wärmeschutzverordnung von 1995, 2 bis 3 Geschosse
37	nach 1995	MFH ausgeführt nach Wärmeschutzverordnung von 1995, 3 bis 5 Geschosse
38	nach 1995	MFH ausgeführt nach Wärmeschutzverordnung von 1995, mehr als 5 Geschosse

Der Heiz- und Warmwasserbedarf der betrachteten Gebäudetypen beträgt in Summe ca. 279,9 GWh/a. Bei einer Annahme eines durchschnittlichen Wirkungsgrades der verbauten Kessel von 90 % ergibt sich ein Endenergieverbrauch von 307,8 GWh/a. Der jeweils genutzte Energieträger wird nach der prozentualen Verteilung des Endenergieverbrauchs im Sektor private Haushalte angenommen und liegt demnach bei 90,4 % Erdgas, 7,6 % Heizöl und 2,0 %

Braunkohle⁹. Zusätzlich erfolgt der Abzug eines Anteils von 1,2 % des Endenergieverbrauchs für bereits installierte Holzpelletöfen [44], die nicht für einen Umbau in Frage kommen. Damit verbleiben 275,0 GWh/a Erdgas, 23,0 GWh/a Heizöl und 6,2 GWh/a Braunkohle die mit 79,0 GWh/a Strom ersetzt werden könnten. Dies entspricht einer Einsparung von 225,2 GWh/a. Mit der Annahme einer Nutzung des regionalen Strommixes bedeutet dies eine Einsparung von 35,5 ktCO_{2eq}/a oder 143,6 kgCO_{2eq}/(EW a) (Abbildung 29). Falls Ökostrom zum Einsatz käme, wäre die Einsparung deutlich größer und betrüge ca. 64,1 ktCO_{2eq}/a oder 258,9 kgCO_{2eq}/(EW a) (Abbildung 29).

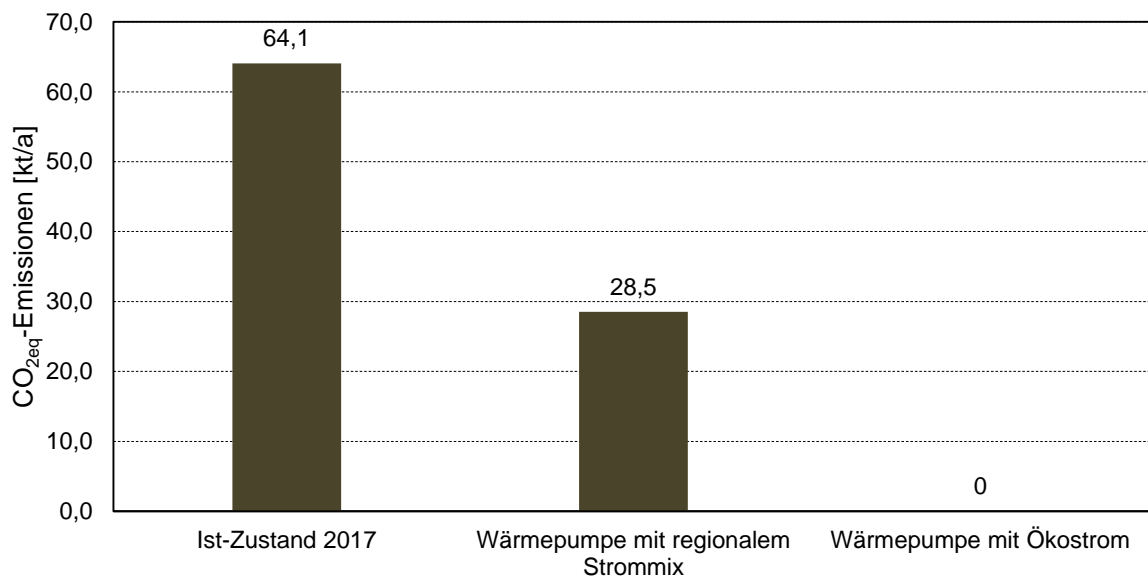


Abbildung 29: Vergleich des CO₂-Äquivalent-Ausstosses der Ein- und Zweifamilienhäuser in Chemnitz für Heiz- und Warmwasserbedarf

Generell hingen bei diesem Szenario die noch verbleibenden Emissionen von dem CO_{2eq}-Faktor des genutzten Strommixes ab. Das maximale Einsparpotenzial bei Nutzung von Ökostrom liegt bei ca. 4,5 % der gesamten CO₂-Äquivalent-Emissionen in Chemnitz 2017.

2.5.2 Abwärme aus Abwasser

Das kommunale Abwasser ist durch häusliche und gewerbliche Prozesse erwärmtes Wasser, das über ein Leitungsnetz zur zentralen Kläranlage nach Chemnitz-Heinersdorf fließt, von wo es nach mechanischer und biologischer Reinigung in den Fluss Chemnitz abgeleitet wird. Für das aktuell verfügbare Berichtsjahr 2016 wurde in der öffentlichen Kanalisation von Chemnitz ein Abwasseraufkommen von rund 28,2 Mio. m³ ermittelt. Im Abwasser sind das periodisch auftretende Niederschlagswasser, ein Fremdwasseranteil sowie das nicht periodisch auftretende Schmutzwasser enthalten. Das häusliche und gewerbliche Schmutzwasser hatte einen Anteil von 10,3 Mio. m³ am Chemnitzer Abwasseraufkommen [45]. Während der Heizperiode variiert die Temperatur des Schmutzwassers im Bereich von 10 °C bis 15 °C und kann daher als Wärmequelle für die Bereitstellung von Raumwärme und Trinkwarmwasser berücksichtigt werden [46]. Die Abwassertemperatur schwankt je nach Jahreszeit, Region und Einfluss des

⁹ Der Fernwärmebezug ist bei den meistens etwas weiter außerhalb gelegenen Ein- und Zweifamilienhäusern nur sehr gering und wird deshalb bei der Berechnung der Aufteilung der Energieträger nicht berücksichtigt.

Fremdwassers. Insbesondere bei undichten Kanälen führt das Eindringen von Grund-, Sicker- und Schichtenwasser zu einer Abkühlung des Abwassers. Das Abwasser im Kanalnetz von Chemnitz wies 2016 einen vergleichsweise geringen Schmutzwasseranteil von etwa 36,5 % auf, der in Sachsen mit 53,2 % [45] und in Deutschland mit 52,8 % [47] höhere Durchschnittswerte lieferte. Im Berichtsjahr 2013 wurde für Chemnitz ein Schmutzwasseranteil von 36,7 % erhoben (12,2 Mio. m³ von 33,2 Mio. m³ Abwasseraufkommen), weswegen nicht von einer zufälligen Abweichung auszugehen ist [48]. Unter Beachtung eines Anteils von 25,8 % Niederschlagswasser in Deutschland [47] kann für das Chemnitzer Abwasser ein Fremdwasseranteil von bis zu 37,7 % abgeschätzt werden. Es erfolgt eine relativ hohe Belastung der Kläranlage durch die im Kanalnetz traditionell befindlichen Bachläufe mit viel Fremdwasser [49].

Das Chemnitzer Kanalnetz hat eine Gesamtlänge von 980 km, wovon 206 km Schmutzwasser, 608 km Mischwasser und 170 km Regenwasser führen [50]. Die energetische Nutzung des Abwassers kann direkt im Abwasserkanal, in der Kläranlage sowie nach der Kläranlage erfolgen. Da Kläranlagen üblicherweise nicht in unmittelbarer Nähe von Siedlungen oder sonstigen Wärmeabnehmern errichtet werden, steht die Abwasserwärmenutzung im Kanal und vor einer Abwasserbehandlung im Vordergrund. Für großzügig dimensionierte Kläranlagen liegt eine Abkühlung des Abwassers um 1 K im normalen Schwankungsbereich und eine mittlere Reduzierung von 0,5 K über 24 h gilt als unproblematisch, sofern insbesondere während der kritischen Wintermonate eine durchschnittliche Temperatur von 10 °C nicht unterschritten wird [51]. Andernfalls ist der Einfluss auf den Kläranlagen-Betrieb detailliert zu überprüfen. In realisierten Projekten und Vorstudien war eine Abkühlung von 4 K möglich, ohne die Funktionsweise der Kläranlagen wesentlich zu beeinträchtigen.



Abbildung 30: Kanal- und Bypass-Wärmeübertrager zur energetischen Nutzung von Abwasser [46]

Die Wärmeübertrager für die Abwasserwärmenutzung können direkt in den Kanal integriert oder als Bypass extern installiert werden (Abbildung 30). Ein Wärmeübertrager im Kanal über eine Länge von 200–300 m erfordert geringere Investitionskosten, stellt jedoch höhere Anforderungen an den Kanal (Nennweite ≥ 800). Weiterhin beträgt die geringste Durchflussrate 10–15 l/s, um die energetische Abwassernutzung ökonomisch sinnvoll gestalten zu können. Ein Platten- oder Doppelrohr-Wärmeübertrager als Bypass benötigt Platz außerhalb des Kanals, hat aber eine höhere Flexibilität hinsichtlich Nutzung und Eigentumsverhältnissen. Aufgrund der ganzjährig hohen Abwassertemperaturen kann das kommunale Abwasser als Wärmequelle für Wärmepumpen dienen. Geeignete Abnehmer der Abwärme sind Mehrfamilienhäuser oder Quartiere in der Nähe der Wärmequelle. Einzelne Einfamilienhäuser

oder industrielle Prozesswärmebedarfe sind durch Abwasser-Wärmepumpen jedoch nicht abzudecken.

Bei der Abkühlung von 1 m³ Abwasser um 1 K kann 4.190 kJ bzw. 1,16 kWh Wärme entzogen werden. Eine Temperaturdifferenz von 3–4 K gilt als praktikabel für Wärmeübertrager im Abwasserkanal und ermöglicht eine Wärmestromdichte von 2–4 kW/m² [51]. Zur Potenzialabschätzung resultiert aus der spezifischen Wärmekapazität, dem Massenstrom und der angenommenen Temperatursenkung eine abführbare Wärmeleistung des Abwassers. So liefert das Chemnitzer Schmutzwasser mit 10,3 Mio. m³ bei einer Temperaturdifferenz von 4 K rund 47,8 GWh Wärme pro Jahr. Bei einer Jahresarbeitszahl von 4,5 der eingesetzten Wärmepumpen deckt das Abwasseraufkommen somit einen Nutzwärmebedarf von 61,5 GWh/a für Heizung und Warmwasserbereitung. Der angenommene Anteil des periodischen Niederschlagswassers mit 7,3 Mio. m³ fließt nicht in die Potenzialabschätzung ein. Inwiefern der große Fremdwasseranteil von 10,6 Mio. m³ ebenfalls mit Trocken- bzw. Regenperioden in Verbindung steht, ist im Rahmen einer Vorplanung zu diskutieren. Unter vollständiger Berücksichtigung des abgeschätzten Fremdwassers lag 2016 ein Abwasseraufkommen von etwa 20,9 Mio. m³ vor, das mit den genannten Parametern und mittels Wärmepumpen einen Nutzwärmebedarf von 124,7 GWh/a decken könnte. Durch spezifische Faktoren hinsichtlich der zeitlichen und räumlichen Verfügbarkeit der Wärmequellen und -senken ist ausgehend vom Abwasseraufkommen, grundlegend eine Reduktion des Gesamtpotenzials um 28–53 % zu erwarten [2]. Aus diesem Grund soll das THG-Einsparpotenzial durch energetische Nutzung des Abwassers lediglich auf Basis des Chemnitzer Schmutzwasseraufkommens erfolgen.

Durch die Wärmeübertrager innerhalb der Kanäle bzw. als Bypass könnte in Verbindung mit Wärmepumpen ein jährliches Wärmeangebot von 61,5 GWh zur Verfügung stehen und ein entsprechender Nutzwärmebedarf gedeckt werden. Eine anteilige Substitution insbesondere der in Chemnitz dominierenden Versorgung mit Fernwärme und Erdgas wäre möglich. Der gewichtete CO_{2eq}-Faktor für die Wärmeversorgung in Chemnitz im Jahr 2017 betrug ca. 275 g/kWh verbunden, sodass 16,9 kt/a bzw. 68,3 kg/(EW a) eingespart werden können (1,18 % der Gesamtemissionen 2017). Wenn der Betrieb der Wärmepumpen nicht mit Ökostrom erfolgt, gilt der Chemnitzer Strommix von 2017 mit einem CO_{2eq}-Faktor von 361 g/kWh. Bei einer JAZ von 4,5 benötigen die Wärmepumpen etwa 13,7 GWh/a Strom (22,2 %), wodurch die THG-Einsparpotenziale wieder um 4,9 kt/a (29 %) auf 12 kt/a sinken würden. Mit dem Betrieb der Wärmepumpen durch Ökostrom ist die Minderung von THG-Emissionen besonders deutlich und ist daher zur Nutzung des Potenzials vorzusehen.

Der individuelle Planungsaufwand, hohe Investitionskosten, hohe Temperaturniveaus bestehender Fernwärmenetze sowie das niedrige Kostenniveau von konkurrierenden Wärmeerzeugungssystemen (z. B. Solarthermie) erschweren bisher einen rentablen Betrieb zur energetischen Nutzung von Abwasser.

2.6 Wasserkraft

Im Rahmen des Ausbaus der erneuerbaren Energien ist die Nutzung von Wasserkraft bereits mit einem negativen Ergebnis analysiert worden. Aus Gründen des Hochwasserschutzes und der Überführung der Chemnitz in einen möglichst wieder natürlichen Zustand gemäß der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ist Nutzung von Wasserkraftwerken bzw. die Errichtung jeglicher Einbauten keine Option [15].

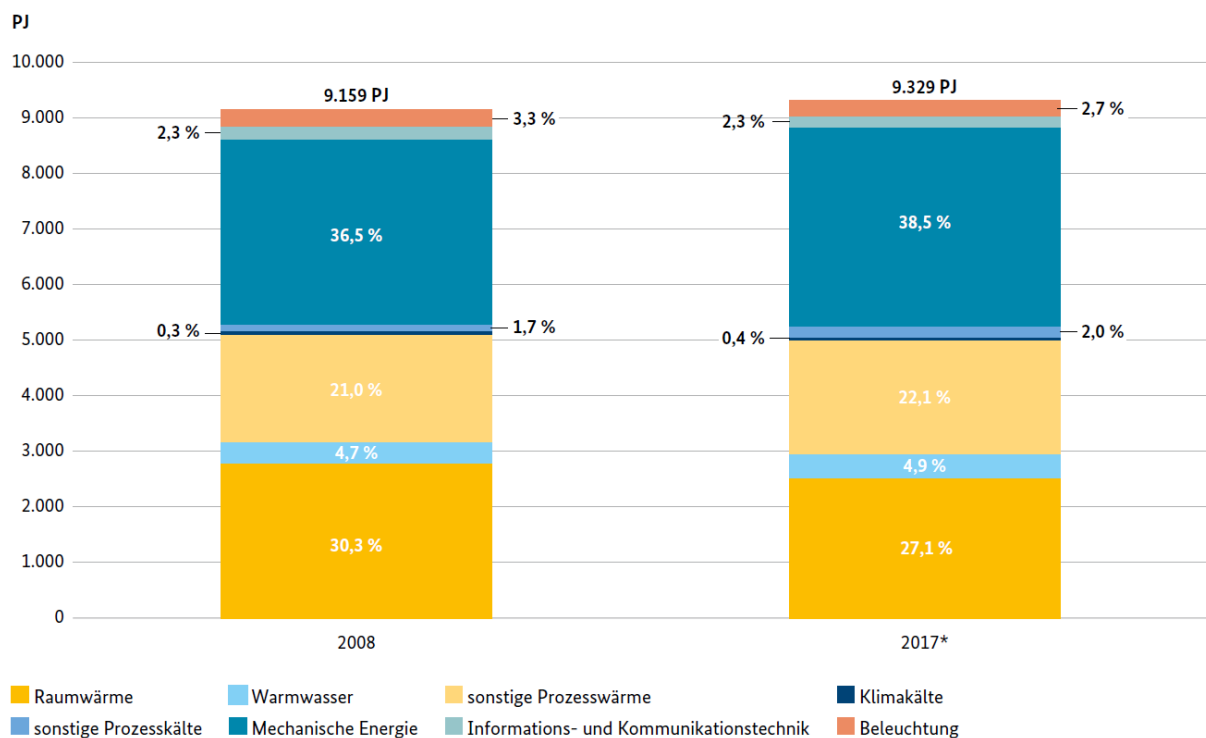
2.7 Energieeinsparpotenziale

Neben den Potenzialen zur Wärme- und Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, spielen auch die Effizienz der genutzten Anlagen und die Einsparpotenziale eine große Rolle zur Erreichung der Ziele der Energiewende.

Abbildung 31 zeigt die deutschlandweiten, durchschnittlichen Anteile am Endenergieverbrauch für die Anwendungsbereiche

- Beleuchtung (LED, Straßenbeleuchtung),
- Information und Kommunikation,
- mechanische Energie,
- Wärme,
 - Raumwärme,
 - Warmwasser,
 - Prozesswärme,
 - Prozesskälte und
 - Klimakälte

in den Jahren 2008 und 2017.



* vorläufige Angaben

Abbildung 31: Anteile der Anwendungsbereiche am Endenergieverbrauch in Deutschland in den Jahren 2008 und 2017 [52]

Studien des Umweltbundesamtes und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit zeigen erhebliche Potenziale auf. Dabei geht es vor allem um den Austausch von ineffizienten Geräten und Bauteilen in den Bereichen Beleuchtung und Information und Kommunikation. Aber auch im Bereich der Klimatisierung sind große Potenziale vorhanden, beginnend mit ver-

gleichsweise einfachen Maßnahmen wie bspw. einem hydraulischen Abgleich von Heizungssystemen (s. folgenden Abschnitt) oder dem Austausch von Heizungs- und Umwälzpumpen durch sparsamere Modelle. Für weitergehende Informationen wird an dieser Stelle auf den Abschlussbericht „Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit sowie auf den Bericht „Energieeffizienz in Zahlen“ des Umweltbundesamtes verwiesen.

2.7.1 Hydraulischer Abgleich der Heizungssysteme

Bei ungleichmäßigem Wasserdurchfluss im Heizkreislauf arbeitet die Heizungsanlage ineffizient. Der hydraulische Abgleich hilft dabei, unter Berücksichtigung der Größe und des Wärmebedarfs eines jeden Raumes, alle Komponenten der Heizungsanlage (Heizkörper, Thermostatventile, Heizungspumpe etc.) optimal aufeinander abzustimmen. Nur mit korrekt durchgeführtem hydraulischem Abgleich kann das Effizienzpotenzial einer Heizungsanlage ausgeschöpft werden.

Die Höhe der Einsparungen durch den hydraulischen Abgleich steigt grundsätzlich mit der Größe des Hauses. In einer Studie des ITG Dresden werden Einsparungen der Wärmeenergie von 2,5 kWh/(m² a) bis 16,0 kWh/(m² a) nachgewiesen [53]. Eine Studie der Ostfalia-Hochschule geht von einer mittleren Einsparung von 10 kWh/(m² a) aus [54]. Die so möglichen Einsparungen liegen damit im niedrigen einstelligen Prozentbereich (ca. 2 % bis 5 %). Umgerechnet auf CO_{2eq}-Einsparung, ergeben sich Werte von ca. 50 kg/(EW a) bis 120 kg/(EW a) im Heizungssektor (0,9-2,1 % der Gesamtemissionen in Chemnitz 2017). Für eine reine Optimierungsmaßnahme bestehender Anlagen ist dies ein großes Potenzial und sollte daher genutzt werden.

2.7.2 Rebound-Effekte

In der Praxis zeigt sich, dass die tatsächlich erzielten Einsparungen geringer als die zuvor berechneten und technisch möglichen Einsparungen sind. Ein Grund dafür sind so genannte Rebound-Effekte. Die durch Effizienzmaßnahmen direkt erzielten Einsparungen fallen in einer Größenordnung von 10 % bis 30 % geringer aus als zuvor erwartet. Die Effekte lassen sich in direkte und indirekte Rebound-Effekte unterscheiden:

- **Direkter Rebound-Effekt:** Von dem effizienteren Gut oder der Dienstleistung wird nach der Effizienzsteigerung mehr, häufiger oder intensiver konsumiert und damit ein Teil der Energieeinsparungen unmittelbar kompensiert. Beispielsweise bleiben Energiesparlampen länger eingeschaltet und werden häufiger eingesetzt, ein sparsames Auto wird öfter gefahren oder beim Neukauf eines effizienten Kühlgerätes fällt dieses größer aus als nötig bzw. das bisherige dient weiterhin als Zweitgerät im Keller.
- **Indirekter Rebound-Effekt:** Die Kostenersparnisse durch die Effizienzsteigerung führen dazu, dass an anderer Stelle mehr konsumiert wird und damit die insgesamt von einer Person oder einem Haushalt erzielten Energieeinsparungen geringer ausfallen. Dieser Effekt heißt auch Einkommenseffekt, da die Kosteneinsparung durch Effizienz dazu führt, dass die Haushalte über mehr freie Mittel verfügen, welche für energieverbrauchende Produkte oder Dienstleistungen verwendet werden. Eingesparte Energiekosten finden beispielsweise Verwendung, um ein Flugticket zu kaufen oder die neuen effizienteren Technologien benötigen selbst sogar höhere Energie- und Ressourceninputs (Bedarf an Aluminium für Leichtbau, Seltene Erden und neue Infrastrukturen für Elektroautos).

Die Ergebnisse der empirischen Schätzungen zur Höhe von Rebound-Effekten hängen von den verwendeten Methoden und den einbezogenen Effekten ab. Besonders schwierig ist es, Rebound-Effekte von Wachstums- oder Strukturwandeleffekten klar abzugrenzen. Daher sind die Bandbreiten der Schätzungen in den unterschiedlichen Studien sehr groß. Abbildung 32 zeigt eine Zusammenfassung verschiedener Studien durch das Umweltbundesamt [55].

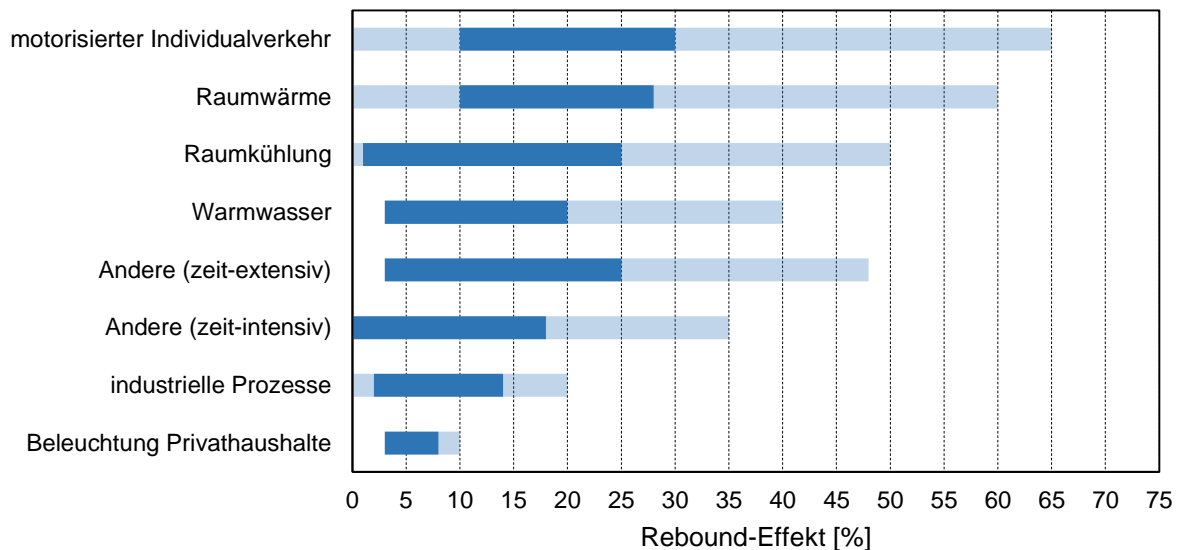


Abbildung 32: Zusammenfassung verschiedener Abschätzungen zur Höhe von direkten Rebound-Effekten [55]

Der hellblaue Bereich gibt die Spannweite der Ergebnisse aller Studien an. Die dunkelblau markierten Bereiche zeigen einen eher realistischen Wertebereich, bei denen möglichst viele Nebeneffekte ausgeklammert wurden. Beispielsweise reichen die Ergebnisse der Studien zum motorisierten Individualverkehr von einem Rebound-Effekt von Null bis hin zu Rebound-Effekten von über 60 %. In der Regel dürften jedoch Rebound-Effekte im Bereich von 10 % bis 30 % zu erwarten sein. Die Höhe der direkten Rebound-Effekte variiert beträchtlich zwischen den verschiedenen Konsumbereichen. Beim motorisierten Individualverkehr und bei der Raumwärme ist mit recht hohen Effekten zu rechnen, Studien zur Beleuchtung in Privathaushalten haben dagegen nur sehr geringe Rebound-Effekte von unter 10 % ermittelt. Dort ist inzwischen ein gewisser Sättigungseffekt eingetreten, sodass der Effekt hier relativ klein angenommen wird. Auch die Art der genutzten Produkte oder Dienstleistungen ist von Bedeutung. So unterliegen Tätigkeiten, bei denen die Zeit ein limitierender Faktor ist (z.B. tägliches Pendeln) einem geringeren Rebound hinsichtlich der Kosten als Tätigkeiten, bei denen Zeit eine eher untergeordnete Rolle spielt (z.B. Urlaubsflüge). Der direkte Rebound-Effekt beträgt nach obiger Zusammenfassung im Schnitt ca. 12,5 %.

Werden indirekte Rebound-Effekte in die Betrachtung einbezogen, wird möglicherweise ein noch größerer Teil der Effizienzgewinne kompensiert. Die Effekte sind dann nach den vorliegenden Schätzungen etwa 5 % bis 15 % größer. In Einzelfällen ist es denkbar, dass die Einspareffekte überkompensiert werden (sogenanntes Backfire). Dieser Fall ist aber die Ausnahme und ein solches Backfire ist mit Wachstums- und Strukturwandeleffekten verbunden, kann also nicht mehr als reiner Rebound-Effekt betrachtet werden. Es ist unbedingt zu beachten, dass sich zu gesamtgesellschaftlichen Rebound-Effekten bisher keine verlässliche Größenordnung angeben lässt. Die methodischen Schwierigkeiten der Berechnung sind noch zu groß und die Anzahl der Untersuchungen zu klein.

Für weiterführende Literatur sei an dieser Stelle auf die Texte „Rebound-Effekte: Wie können sie effektiv begrenzt werden?“, „Rebound-Effekte: Ihre Bedeutung für die Umweltpolitik“, „Rebound-Effekte – Empirische Ergebnisse und Handlungsstrategien“ des Umweltbundesamtes und „Der Rebound-Effekt: Störendes Phänomen bei der Steigerung der Energieeffizienz“ des deutschen Bundestages verwiesen [55], [56], [57], [58], [59].

2.8 Power-to-X

Power-to-X fasst verschiedene Technologien zur Umwandlung von erneuerbarem Strom in grüne Gase wie Wasserstoff oder Methan (Power-to-Gas), in flüssige Energieträger wie Kraft- und Brennstoffe (Power-to-Liquids) für eine nachhaltige Mobilität und zur Nutzung in Gebäuden oder zur Synthese von chemischen Grundstoffen für die Industrie (Power-to-Chemicals) zusammen [60]. Die verschiedenen Technologien bieten insbesondere bzgl. der Sektorenkopplung theoretisch große Vorteile für die Zukunft. Allerdings ist die technische Verfügbarkeit unterschiedlich und die Wirtschaftlichkeit teilweise momentan noch nicht gegeben und für die Zukunft ungewiss.

Im Bereich der Wärmeversorgung von Gebäuden ist eine Brennstoffzellennutzung entweder mit Synthesegas oder auch mit reinem Wasserstoff vorstellbar. Dabei kann gleichzeitig Strom und Wärme erzeugt werden. Die Bundesregierung hat im Rahmen des Anreizprogramms Energieeffizienz ein Förderprogramm für Brennstoffzellen im Gebäudebereich aufgelegt [61].

Eine weitere Variante von Power-to-X im Wärmesektor ist es, erneuerbare Gase oder flüssige Energieträger in Heizungen einzusetzen, genauso wie heute herkömmliches Erdgas oder Heizöl genutzt wird. Denn Wasserstoff und synthetisches Methan lassen sich in das bereits bestehende, gut ausgebaute Erdgasnetz einspeisen und darin speichern. Erneuerbare flüssige Energieträger können theoretisch ebenfalls über die bestehende Infrastruktur für flüssige Brennstoffe gelagert und transportiert werden [60].

Im Industriesektor birgt die Umwandlung von Ökostrom über Wasserstoff und Kohlenstoff in Basischemikalien (Power-to-Chemicals) großes Potenzial. Ammoniak beispielsweise ist ein Produkt aus Wasserstoff und Stickstoff, Methanol aus Wasserstoff und CO₂. Beide Chemikalien werden für die Kunststoffproduktion benötigt. Stahlwerke und Raffinerien brauchen ebenfalls große Mengen an Wasserstoff zum Betrieb der Hochöfen und zur Weiterverarbeitung von Erdöl zu Benzin und Diesel [60].

Im Verkehrssektor bieten grüner Wasserstoff aus erneuerbaren Energien und strombasierte Kraftstoffe (Power-to-Liquids, Power Fuels oder E-Fuels) die Möglichkeit, auch Verkehrsbereiche zu defossilisieren, die sich kaum auf Batterie-elektrische Antriebe umstellen lassen. Seit 2018 ist in Niedersachsen bspw. der erste Regionalzug mit wasserstoffbetriebener Brennstoffzelle in Betrieb. Pkw und Linienbusse mit Brennstoffzelle auf Wasserstoff-Basis sind bereits kommerziell verfügbar. Die Zahl der Wasserstoff-Tankstellen soll zudem immer weiter steigen. Der große Vorteil von Fahrzeugen mit Brennstoffzelle im Vergleich zu batteriebetriebenen Elektroautos sind die durchschnittlich größeren Reichweiten und kürzeren Tankzeiten [60].

Die Potenziale explizit für Chemnitz sind sehr schwer abzuschätzen und dürften primär im Bereich der Brennstoffzellentechnologie und der Erzeugung von grünem Wasserstoff aus überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energien bestehen. Eine größere industrielle Nutzung in der Chemieindustrie und bei Stahlwerken oder Raffinerien ist nach aktuellem Stand der Industrie im Stadtgebiet nicht abzusehen [60].

In Chemnitz wäre demnach vor allem ein Potenzial zur Einsparung der im öffentlichen Personennahverkehr durch Busse anfallenden 8,3 ktCO_{2eq}/a oder 33,6 kgCO_{2eq}/(EW a) denkbar (0,6 % der Gesamtemissionen in Chemnitz 2017). Die im Stadtgebiet zum Einsatz kommenden Züge werden zwar bereits größtenteils mit Grünstrom betrieben, ein Umstieg auf brennstoffzellenbetriebene Züge im Ersatz für Diesel- oder Hybridfahrzeuge (Eisenbahn, Chemnitzer Modell) beinhaltet jedoch dennoch ein weiteres Einsparpotenzial.

Bei einer zusätzlichen Annahme von einer Marktdurchdringung der Brennstoffzellentechnologie im PKW-Bereich von ca. 20 % bis zum Jahr 2050 ergäbe sich ein weiteres Einsparpotenzial von ca. 63,2 ktCO_{2eq}/a oder 255,4 kgCO_{2eq}/(EW a) (4,4 % der Gesamtemissionen in Chemnitz 2017) [62], [63], [64]. Dies wäre allerdings nur der Fall, wenn für die Erzeugung des Wasserstoffs Ökostrom zum Einsatz kommt.

2.9 Zusammenfassung der Einsparmöglichkeiten durch die aufgezeigten Potenziale

Tabelle 30 fasst die durch die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Potenziale maximal zu erreichenden Einsparungen an THG-Emissionen zusammen. Es ist dabei anzumerken, dass für die Berechnungen Emissionsfaktoren aus dem Jahr 2017 (Bilanzjahr dieses Berichtes) zum Einsatz kamen. Die Emissionsfaktoren für die Strom- und Wärmeerzeugung sanken jedoch in den letzten Jahren kontinuierlich. Es ist anzunehmen, dass dieser Trend auch für die Zukunft anhält. Dementsprechend sinken auch die Absolutwerte der zu erreichenden Einsparungen an THG-Emissionen. Die Einsparpotenziale für die Nutzung von Solarenergie für die Strom- oder Wärmeerzeugung sind dabei lediglich einzeln erschließbar. Es sind also die Einsparpotenziale aufgezeigt, bei einer ausschließlichen Nutzung der verfügbaren Flächen für die Strom- **oder** die Wärmeerzeugung. Berücksichtigt werden zudem nur die positiv für eine Nutzung mit Solaranlagen bewerteten Freiflächen.

Tabelle 30: Zusammenfassung der Einsparmöglichkeiten an THG-Emissionen durch die aufgezeigten Potenziale

Potenzial		Einsparung an THG-Emissionen		
		CO _{2eq} [kt/a]	CO _{2eq} [kg/(EW a)]	CO _{2eq} [% Gesamtemissionen]
Bioabfall/Grüngut (BVGA)		4,5	18,3	0,3
Holz-HKW		58,7	237,0	4,1
Solarenergie	Stromerzeugung	172,6	697,8	12,0
	Wärmeerzeugung	196,3	793,2	13,7
Windenergie		8,5	34,4	0,6
Geothermie		64,1	258,9	4,5
Abwärme Abwasser		16,9	68,3	1,2
Hydraulischer Abgleich		29,7	120,0	2,1
Power-to-X		63,2	255,4	4,4
Summe (Nutzung der Solarpotenziale für Wärmeerzeugung)		444,0	1793,8	30,9

Es ist zu erkennen, dass bei Erschließung aller hier aufgelisteten Potenziale eine Einsparung der THG-Emissionen um ca. 31 % erreicht werden könnte (Basisjahr 2017). Dies entspräche einem Ausstoß von noch 990,4 kt/a bzw. 4,0 t/(EW a). Dementsprechend reicht die Erschließung aller aufgeführten Potenziale nicht aus, die Ziele für 2050 (0,6-2,5 t/(EW a)) zu erreichen. Es ist somit notwendig, weitere Potenziale zu erkennen und umzusetzen. Eine Möglichkeit

wäre eine Reevaluierung der nutzbaren Freiflächen bzw. die Neuidentifikation vakanter Flächen. Bei einer Nutzung der mit Prüfbedarf, eingeschränkt und negativ bewerteten, bereits bekannten Flächen für die Wärmeversorgung mit Solarenergie ergäbe sich bspw. ein zusätzliches Einsparpotenzial von ca. 108,1 kt/a bzw. 437,0 kg/(EW a) (8 %). Weiterhin zeigt die Zusammenfassung, dass Einsparungen durch geringeren Verbrauch bzw. Bedarf notwendig sind um die gesetzten Ziele zu erreichen.

3 Akteursbeteiligung

Eine frühzeitige Akteursbeteiligung im Rahmen eines Klimaschutzkonzeptes ist sehr wichtig. Es sollten verschiedene Partner in die Aktivitäten eingebunden werden. Dies reicht von der ressortübergreifenden Zusammenarbeit innerhalb der kommunalen Verwaltung über die Einbindung lokaler Industriepartner bis hin zur interkommunalen oder internationalen Kooperation. Die Zusammenarbeit lässt sich dabei nach dem Grad der Einbindung eines Partners in vier Intensitätsstufen unterteilen:

- Informieren & Motivieren,
- Konsultieren,
- Kooperieren,
- Ermächtigen [1].

Während Information und Motivation, zum Beispiel durch die Vorstellung geplanter oder umgesetzter Klimaschutzprojekte, zur Meinungsbildung und Nachahmung anregen, geht es bei der Konsultation von Akteuren um den Austausch von Fachwissen [1]. Kooperationen entstehen durch das Mitwirken und die aktive Teilhabe von Dritten an Projekten und Aktivitäten. Dabei handelt es sich um Aushandlungs- und Entscheidungsprozesse, die die Kooperationspartner/-innen gemeinsam, mit unterschiedlichen Rollen und Gewichtungen, gestalten. Bei der intensivsten Form der Beteiligung, dem „Ermächtigen“, können beispielsweise kreisangehörige Städte und Gemeinden Kompetenzen und Entscheidungsbefugnisse in bestimmten Aufgabenbereichen an ihre Landkreise oder an kooperierende Kommunen übertragen und sie damit ermächtigen, stellvertretend für sie zu handeln [1]. Die Intensität der Zusammenarbeit ist in erster Linie von der Zielsetzung des konkreten Projekts, aber auch von den rechtlichen Rahmenbedingungen, den Ressourcen der Kommune sowie den Positionen der Kooperationspartner abhängig [1].

Ziel ist es, die für die Umsetzung eines Klimaschutzkonzeptes relevanten Akteure und Gruppen zu identifizieren, diese gezielt anzusprechen und aktiv in den Klimaschutzprozess einzubinden. Relevanz haben Akteure, die den Klimaschutz durch ihr Handeln in entscheidender Weise beeinflussen können, insbesondere wenn sie den Klimaschutz vor Ort aktiv vorantreiben und ideell oder finanziell unterstützen können [1]. Die richtigen Akteure zu finden, ist eine bedeutende Erfolgsgrundlage des Klimaschutzkonzeptes. Prinzipiell kommen alle in Abbildung 33 dargestellten Akteursgruppen als Kooperationspartner in Frage [1].



Abbildung 33: Potenzielle lokale Akteursgruppen im Klimaschutz [1]

In Chemnitz kommen folgende Partner in die engere Auswahl für verschiedene Maßnahmen:

- eins energie in sachsen GmbH & Co. KG,
- Volkswagen AG (Kaufahrtei),
- Rhenus AL Chemnitz GmbH,
- Industriepark Heckert,
- Deutsche Bahn (Hauptbahnhof),
- Trompetter Guss Chemnitz GmbH,
- Messe Chemnitz,
- Naturschutzstation Chemnitz,
- Umweltzentrum Chemnitz,
- Agenda-Arbeitsgruppen,
- Abfallentsorgungs- und Stadtreinigungsbetrieb der Stadt Chemnitz ASR sowie
- Wohnungsgesellschaften und -genossenschaften.

Die Kontaktaufnahme mit den jeweiligen Akteuren erfolgt auf eigenen Wunsch durch das Umweltamt. Für weiteres Informationsmaterial sei an dieser Stelle auf den Praxisleitfaden Klimaschutz in Kommunen verwiesen (Kapitel A2: Kommunaler Klimaschutz durch Kooperation) [1].

4 Maßnahmenkatalog

Nachdem die theoretisch möglichen Gesamtpotenziale im Stadtgebiet Chemnitz im vorangegangenen Kapitel aufgezeigt wurden, erfolgt nun eine Auflistung aussichtsreicher Maßnahmen mit großen Einsparpotenzialen. Die bereits durchgeführten bzw. in Planung befindlichen Maßnahmen sind dem energiepolitischen Arbeitsprogramm (EAP) für die Stadt Chemnitz von 2017 bis 2020 zu entnehmen [65]. Dort ist eine detaillierte Auflistung der verschiedenen Projekte zusammengestellt.

4.1 Grüne Fernwärme – Solarthermie in Ebersdorf und Borna-Heinersdorf

Durch die Nutzung von solarer (auch grüner) Fernwärme können erhebliche Mengen an THG-Emissionen eingespart werden. Im Chemnitzer Stadtgebiet bieten sich für eine Nutzung für Solarthermie mit Anbindung an das bestehende Fernwärmenetz verschiedene Freiflächen an (s. a. Potenzialanalyse). Laut Stadtratsbeschluss B-102/2006 kommen landwirtschaftliche Flächen im Raum Chemnitz für die Errichtung von Solarparks nicht infrage [15]. Im Beschluss dazu heißt es: „Die Stadt Chemnitz überplant keine Landwirtschaftsflächen zum Zweck der Errichtung ebenerdiger Photovoltaikanlagen.“ [15]. Das heißt, es sollten vorrangig Flächen mit bereits vorgesehener, gewerblicher Nutzung in Betracht gezogen werden. Weiterhin sollte eine Doppelnutzung der Freiflächen, wenn möglich, unbedingt angestrebt werden. Dies ist auf verschieden Art und Weise möglich (Agro-PV (siehe Abschnitt 4.2); Nutzung als Weidefläche; Kräuterwiese; Biotop).

Nach Absprache mit dem Umweltamt und der eins energie in sachsen GmbH & Co. KG, erfolgte die Auswahl von zwei aussichtsreichen Freiflächen, einem Gebiet in Ebersdorf mit Hanglage an der Glösaer Straße westlich und östlich des Adalbert-Stifter-Weges (bereits als Gewerbefläche ausgewiesen) und die sogenannte Fischblase (Abbildung 35), ein Areal in Borna-Heinersdorf in der Nähe der Wittgensdorfer Straße. Abbildung 34 und Abbildung 35 zeigen die zwei Flächen.



Abbildung 34: potenzielle Freifläche an der Glösaer Str. zur Installation einer Solarthermieanlage mit Anbindung an das bestehende Fernwärmenetz [71]



Abbildung 35: potenzielle Freifläche in Borna-Heinersdorf in der Nähe der Wittgensdorfer Straße (sog. Fischblase) zur Installation einer Solarthermieanlage mit Anbindung an das bestehende Fernwärmenetz [71]

Es ergeben sich Grundflächen von ca. 200.000 m² für das Areal an der Glösaer Straße und insgesamt ca. 145.000 m² für die Fischblase. Bei einem Flächennutzungsfaktor von 2,4 und einem spezifischen Ertrag von ca. 450 kWh/(a m²) sind Erträge von ca. 38 GWh/a und 28 GWh/a zu erwarten. Bei einer vollständigen Nutzung dieser Erträge ausschließlich für den Fernwärmeverbrauch (2019: 788 GWh/a) in Chemnitz ergäben sich Einsparmöglichkeiten von ca. 25,9 kt/a bzw. 104,8 kg/(EW a) (1,8 % der Gesamtemissionen in Chemnitz 2017). Bei einer realistischen Betrachtung der zeitlichen Diskrepanz zwischen Angebot von solarer Fernwärme und Nachfrage, dürfte das Einsparpotenzial allerdings geringer ausfallen, auch bei einer Nutzung von Wärmespeichern. Eine detaillierte Betrachtung einer solarthermischen Nutzung des Areals Glösaer Str. erfolgt in der Masterarbeit „Nutzung großer Kollektorfelder in Fernwärmesystemen“ von Hr. Cornelius Ackermann [66].

4.2 Agro-PV am Kornweg

Ein weiteres vielversprechendes Großprojekt ist die Umsetzung einer sogenannten Agro-PV oder Bio-PV Anlage im Areal Kornweg (Abbildung 36). Eine Agro-PV Anlage ist entweder eine hohe Aufständering von PV-Modulen mit vergleichsweise großem Abstand zwischen den Modulreihen (Abbildung 37) oder der senkrechte Aufbau von bifazialen PV-Modulen (doppelseitige Module) mit ebenfalls relativ großem Abstand zwischen den Modulreihen (Abbildung 38). Dies ermöglicht eine gleichzeitige Nutzung der entsprechenden Grundfläche für Landwirtschaft oder Biotop und zur Stromgewinnung, teilweise sogar mit Ertragssteigerungen für die Landwirtschaft [67].



Abbildung 36: Luftansicht oberes Areal Kornweg [71]



Abbildung 37: Beispiel einer Agro-PV Anlage mit hoher Aufständering der Demeter-Hofgemeinschaft in Heggelbach am Bodensee [67]



Abbildung 38: Beispiel für eine Agro-PV Anlage mit bifazialen Modulen und senkrechter Installation [68]

Bei einer bifazialen Anlage und senkrechter Aufstellung sollte die Ausrichtung der Module in Richtung Ost-West erfolgen. Die Vorderseite der Module kann dabei in einer Reihe nach Westen und in der nächsten Reihe nach Osten ausgerichtet sein, um eine gleichmäßige Verteilung zu erreichen. Die Reihenabstände sollten als Kompromiss aus gegenseitiger Reihenverschattung und Flächenverbrauch zwischen 8 m und 15 m liegen. Die Anlagenleistung beträgt dann zwischen 20 W/m² und 35 W/m² [68].

Bei einer hohen Aufständigung kann auf konventionelle Auslegungen zurückgegriffen werden, mit der Erweiterung um eine Flächennutzung von nur ca. 80 % [69]. Die Module werden nach Süden hin ausgerichtet und entsprechend geplanter Nutzung geneigt (maximaler Jahresertrag oder Ertragsoptimierung für den Winter).

Aufgrund der relativ neuen Technologie und der noch wenig erforschten Auswirkungen auf die Flora und Fauna empfiehlt es sich, die vorhandene Fläche am Kornweg nicht sofort vollständig zu nutzen, sondern vielmehr eine Aufteilung zu Vergleichszwecken durchzuführen. Dementsprechend soll nur die Hälfte der zur Verfügung stehenden ca. 200.000 m² für die PV-Aufständigung genutzt werden. Die andere Hälfte soll als unberührtes Biotop für Insekten gepflegt werden. Nach mehrjährigem Betrieb bietet sich ein Vergleich der beiden Varianten bzgl. bspw. Artenvielfalt an.

Bei einem Flächennutzungsgrad von 80 % im Vergleich zu herkömmlichen Freiflächenanlagen und einer benötigten Grundfläche von ca. 14,4 m² pro kWp (6 m² Modulfläche pro kWp und 2,4 m² benötigte Grundfläche pro m² Modulfläche [70]) sowie einem spezifischen Ertrag von 900 kWh/(a kWp) ergibt sich ein zu erwartender Ertrag von ca. 5,0 GWh/a. Bezogen auf den jährlichen Stromverbrauch im Stadtgebiet im Jahr 2017 entspricht dies einem Anteil von ca. 0,5 %.

Bei einer Berechnung der somit möglichen Einsparungen an CO₂-Emissionen und einem direkten Bezug des erzeugten PV-Stroms im Stadtgebiet ergibt sich ein Einsparpotenzial von ca. 1,8 kt/a oder 7,3 kg/(EW a) (0,1 % der Gesamtemissionen in Chemnitz 2017).

Die Stromgestehungskosten von PV-Anlagen lagen im Jahr 2018 zwischen ca. 0,04 €/kWh und 0,12 €/kWh [73]. Freiflächenanlagen sind dabei um 0,02 €/kWh bis 0,04 €/kWh preiswerter als Aufdachanlagen. Agro-PV Anlagen sind mit Freiflächenanlagen vergleichbar [72], die Stromgestehungskosten liegen bei ca. 0,05 €/kWh. Die Investitionskosten oder Anlagenkosten von PV-Anlagen lagen im Jahr 2018 bei ca. 600-1400 €/kWp [73].

Tabelle 31: Anlagenkosten in €/kWp für PV-Anlagen im Jahr 2018 [73]

	PV Dach Kleinanlagen (5-15 kWp)	PV Dach Großanlagen (100-1000 kWp)	PV Freifläche (>2 MWp)
Investment 2018 [€/kWp]	1200-1400	800-1000	600-800

Bei einer Hochrechnung für das Beispiel Agro-PV am Kornweg ergeben sich mittlere Investitionskosten von ca. 3,9 Mio. € (700 €/kWp).

4.3 Solar-Carports

Die Errichtung von Solar-Carports, also die Überdachung von Parkplätzen mit einer Solaranlage, ermöglicht eine attraktive energetische Nutzung bereits versiegelter Flächen. Neben der Erzeugung von regenerativem Strom sollen die Carports den Parkplatz aufwerten und den Nutzern die Möglichkeit bieten, die Energiewende positiv zu erleben. Insbesondere als Schattenspende, als Regen- bzw. Schneeschutz, durch Sicherheitsaspekte bei Lichtinstallationen, durch Kombination mit einer Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität sowie durch eine visuell ansprechende Gestaltung verbessert sich die Wahrnehmung der Photovoltaik als zukunfts-trächtige Technologie. Daher ist der individuelle Mehrwert durch die Doppelnutzung der angepassten Parkflächen im Zuge der Anlagenplanung stets zu berücksichtigen und im Betrieb

hervorzuheben. Für den erzeugten Strom erhält der Betreiber entweder eine Einspeisevergütung oder es erfolgt eine lokale Nutzung bzw. Speicherung. So können die Batterien der zur Beladung angeschlossenen Fahrzeuge als Speicher der Anlage dienen oder der Strom fließt in die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse, worin zunächst eine weitere Option zur Stromspeicherung besteht.

Auf dem Parkplatz am Flughafen Niederrhein in Weeze wurden 2016 für 1.350 Stellflächen 66 Solar-Carports mit insgesamt 15.296 Solarmodulen errichtet (Abbildung 39). Das ein- und zweireihige Carportsystem Park@Sol der Schletter-Gruppe hat eine Leistung von 4.053,44 kWp [74], woraus je Modul eine Nominalleistung von 265 Wp resultiert. Es wurden 5,5 Mio. € investiert, um den Energiebedarf des Flughafens anteilig regenerativ zu erzeugen und einen wertvollen Beitrag zur Einsparung von THG-Emissionen zu leisten. Je Modul ergeben sich daraus Investitionskosten von rund 360 € inkl. Installation bzw. 1.360 €/kWp und somit im oberen Bereich der üblichen Kosten für PV-Anlagen von 600–1.400 €/kWp [73]. Auf der Parkplatzfläche von etwa 41.500 m² inkl. diverser Fahrwege und Grünstreifen beträgt die Modulfläche 25.036,5 m² mit einer Kollektorfläche von 22.549,9 m² (ca. 90,1 %). Somit wird die Parkplatzfläche zu 60,3 % genutzt bzw. liegt ein Flächenfaktor von rund 1,66 vor.

Üblicherweise werden PV-Anlagen bisher optimal nach Süden mit einem Neigungswinkel von 30°–35° ausgerichtet, um den maximalen Jahresertrag erzielen zu können. Unter diesen idealen Bedingungen und abzüglich der Anlagenverluste ist im Gebiet des Flughafens Niederrhein etwa ein jährlicher spezifischer Ertrag von 900 kWh/kWp installierter Leistung möglich. Aus den zu berücksichtigenden Abschattungswinkeln resultiert jedoch eine mäßige Flächenausnutzung im Bereich von 30–40 %. Die Module der Solar-Carports sind um 10° ange stellt, was sich insbesondere aus der grundlegenden Gestaltung von Carports, der Anordnung der Parkplätze sowie der erforderlichen Durchfahrthöhe ergibt. Mit einem zusätzlichen Azimut von etwa 45° (Südwest, vgl. Abbildung 39) sinkt der jährliche spezifische Ertrag um 10 % auf 810 kWh/kWp, sodass für die Solar-Carports in Weeze ein Ertrag von 3,28 GWh/a prognostiziert werden kann. Auf 1 m² der Parkplatzfläche ist durchschnittliche eine Leistung von 97,67 Wp installiert, was einem lokalen, flächenbezogenen Ertrag von 79,11 kWh/m²/a entspricht. Ob der höhere Flächennutzungsgrad den geringeren Ertrag kompensieren kann, entscheidet die zugehörige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. In jedem Fall sind für Solarmodule mit geringen Neigungswinkeln negative Einflüsse durch erhöhte Verschmutzung zu berücksichtigen, die zusätzliche Verluste bis zu 10 % verursachen können.

In Chemnitz bieten sich die Parkplätze der drei großen Einkaufszentren Chemnitz-Center (ca. 97.600 m²), Alt-Chemnitz-Center (ca. 36.600 m²) und Neefepark (ca. 34.800 m²) sowie die Parkflächen im Umfeld der Chemnitz Arena (Messe, ca. 50.900 m²) an. Im Hinblick auf die Besitzverhältnisse seitens der Stadt Chemnitz und im Kontext der Nutzung von Altlastenstandorten (Galvanik und Lösungsmittelager der ehem. Wanderer-Werke) für die Erzeugung erneuerbarer Energien, sollten zunächst die Flächen im Bereich der Chemnitz Arena betrachtet werden. Um die Messehalle sind vier Parkplätze (Abbildung 40) angeordnet, wovon sich die beiden größten Teilflächen mit 17.700 m² (2) und 13.200 m² (3) besonders gut für ein Carportsystem eignen. Auf den Teilflächen sind Modulausrichtungen mit einem Azimut von –15° (2) bzw. –29° (Südost, vgl. Abbildung 40) denkbar. Die Investitionskosten für beide Teilflächen belaufen sich in Summe auf etwa 4,1 Mio. € bei einem Stromertrag von 2,45 GWh/a unter der Annahme, dass standortabhängig jährlich ein spezifischer Ertrag von 810 kWh/kWp vorliegt. Alle spezifischen Kennwerte entsprechen denen der Solar-Carports vom Parkplatz am Flughafen Niederrhein, der an dieser Stelle als bewährtes, umgesetztes Modellvorhaben dient.

In Tabelle 32 sind alle Teilflächen zum Parkplatz an der Arena Chemnitz (Abbildung 39) sowie die Parkplätze der drei großen Chemnitzer Einkaufszentren (Abbildung 40) zusammengefasst. Demnach kann das Gesamtpotenzial durch Solar-Carports an den vier Standorten auf rund 17,74 GWh/a abgeschätzt werden, was CO₂-Einsparungen von 6,4 kt/a bzw. 25,9 kg/(EW a) ermöglicht (0,45 % der Gesamtemissionen von Chemnitz 2017). Die Investitionskosten würden insgesamt auf 29,7 Mio. € betragen. Belastbare Berechnungen der tatsächlichen Potenziale sind erst durch eine erweiterte Planung unter Berücksichtigung aller technologischen Einflussfaktoren, städtebaulichen Aspekte und wirtschaftlichen Gegebenheiten möglich.

Tabelle 32: Chemnitzer Parkflächen in großen Einkaufszentren sowie an der Arena Chemnitz für die mögliche Errichtung von Solar-Carports als THG-Einsparpotenzial

Standort	Fläche [m ²]	Module	Leistung [MWp]	Ertrag [GWh/a]	Investition [Mio. €]	CO ₂ -Einsparung [t/a]	CO ₂ -Einsparung [kg/(EW a)]
Arena Chemnitz (Messe)	50.900	18.758	4,97	4,02	6,7	1.451,2	5,9
Teilfläche 1	8.500	3.132	0,83	0,67	1,1	241,9	1,0
Teilfläche 2	17.700	6.523	1,73	1,40	2,3	505,4	2,0
Teilfläche 3	13.200	4.865	1,29	1,04	1,8	375,4	1,5
Teilfläche 4	11.500	4.238	1,12	0,91	1,5	328,5	1,3
Chemnitz-Center	102.000	37.594	9,96	8,07	13,5	2.913,3	11,8
Alt-Chemnitz-Center	36.600	13.489	3,57	2,90	4,9	1.046,9	4,2
Neefepark	34.800	12.826	3,40	2,75	4,6	992,8	4,0
Summe	219.900	82.667	21,91	17,74	29,7	6.404,1	25,9



Abbildung 39: Parkplatz P2 am Flughafen Niederrhein in Weeze überdacht durch 66 Solar-Carports mit insgesamt 15.296 PV-Modulen und 4053,44 kWp installierter Leistung [71]



Abbildung 40: Parkplätze im Umfeld der Arena Chemnitz bestehend aus vier Teilflächen mit insgesamt 50.900 m² versiegelter Parkfläche [71]



Abbildung 41: Parkflächen des Chemnitz-Centers mit insgesamt 102.000 m² als potenzielle Fläche für die Errichtung von Solar-Carports mit einer möglichen Gesamtleistung von 9,96 MWp [71]



Abbildung 42: Parkflächen des Alt-Chemnitz-Centers mit insgesamt 36.600 m² als potenzielle Fläche für die Errichtung von Solar-Carports mit einer möglichen Gesamtleistung von 3,57 MWp [71]



Abbildung 43: Parkflächen des Neefeparks in Chemnitz mit insgesamt 34.800 m² als potenzielle Fläche für die Errichtung von Solar-Carports mit einer möglichen Gesamtleistung von 3,40 MWp [71]

4.4 Photovoltaik-Aufdachanlagen – Industrie und GHD

Großes Potenzial ist auch bei den Dachflächen größerer Industriebetriebe vorhanden. Hier sind in Chemnitz vor allem der Industrie- und Technologiepark HECKERT GmbH Chemnitz (ITC, Otto-Schmerbach-Straße 19, 09117 Chemnitz, Abbildung 44) und das Werk von Volkswagen (Kaufahrtei 47, 09120 Chemnitz, Abbildung 44) zu nennen. Hier gilt es jedoch immer zu beachten, dass unklar ist, wie groß die zulässigen Dachlasten an den Standorten sind und die gewerblichen Betriebe nicht verpflichtet sind solche Vorhaben durchzuführen.

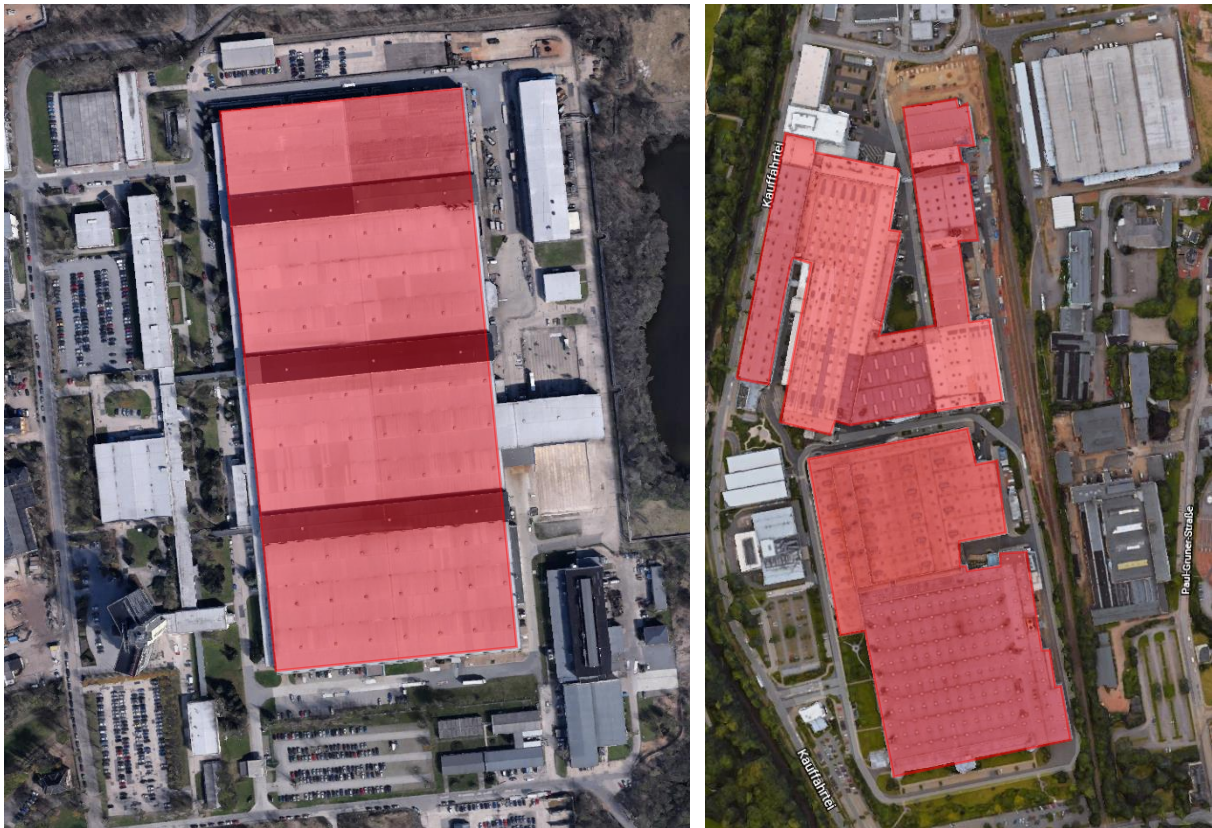


Abbildung 44: Dachflächen von Industrie- und Technologiepark HECKERT GmbH Chemnitz (ITC, Otto-Schmerbach-Straße 19, 09117 Chemnitz) und das Volkswagen (Kaufahrtei 47, 09120 Chemnitz)

Die Dachfläche des ITC ist ca. 64.000 m² groß und bietet damit Platz für ca. 4,4 MWp und damit in Chemnitz ca. 4 GWh/a Ertrag. Bei dem VW-Werk können bei ca. 99.000 m² ungefähr 6,9 MWp installiert werden und es ist somit mit einem Ertrag von ca. 6,2 GWh/a zu erwarten. Bezogen auf den jährlichen Stromverbrauch im Stadtgebiet im Jahr 2017 entspricht dies einem Anteil von ca. 1,0 %. Bei einer Berechnung der somit möglichen Einsparungen an CO₂-Emissionen und einem direkten Bezug des erzeugten PV-Stroms im Stadtgebiet ergibt sich ein Einsparpotenzial von ca. 3,7 kt/a oder 14,9 kg/(EW a) (0,3 % der Gesamtemissionen von Chemnitz 2017). Die Kosten von großen Aufdachanlagen sind mit 800-1000 €/kWp abzuschätzen (Tabelle 31).

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Zahlenwerte und Informationen zu weiteren möglichen Standorten und die dort zu erwartenden Jahreserträge sowie die sich ergebenden Einsparungen sind in Tabelle 33 aufgeführt.

Tabelle 33: Zusammenfassung aussichtsreiche Industrie- und GHD-Standorte für PV-Aufdach-Anlagen und die dort zu erwartenden Erträge und CO₂-Einsparungen

Objekt	Adresse	Ertrag [GWh/a]	CO ₂ - Einsparung [t/a]	CO ₂ - Einsparung [kg/(EW a)]	Invest- Kosten [Mio. €]
ITC	Otto-Schmerbach-Str. 19	4,0	1.444,0	5,8	4,00
VW Kauffahrttei	Kauffahrttei 47	6,2	2.233,7	9,0	6,19
Hauptbahnhof	Bahnhofstraße 1	1,5	552,8	2,2	1,53
Rhenus AL Chemnitz GmbH	Johann-Esche-Straße 2	1,0	372,3	1,5	1,03
Schönherrfabrik	Schönherrstraße 8	1,1	406,1	1,6	1,13

4.5 Solar-Aufdachanlagen – Zusammenarbeit mit Wohnungsgesellschaften und -genossenschaften

Eine aussichtsreiche Maßnahme, um die Vorteile einer verstärkten Nutzung von erneuerbaren Energien der breiten Bevölkerung verständlich bzw. greifbarer zu machen, ist eine Zusammenarbeit mit Wohnungsgesellschaften und -genossenschaften. Durch Mieterstrommodelle könnten Mieter größerer Mehrfamilienhäuser selbst direkt von den auf den Hausdächern befindlichen PV-Anlagen profitieren (und möglicherweise auch in diese investieren und somit nach einigen Jahren ebenfalls an den Gewinnen beteiligt werden). Bei einer Nutzung von Solarthermie wäre es denkbar, die Mieter durch niedrigere Nebenkosten für Heizung und Warmwasserbereitung an den Einsparungen teilhaben zu lassen. Dies erhöht auch die Attraktivität der Wohneinheiten und damit die Konkurrenzfähigkeit auf dem Wohnungsmarkt.

In Chemnitz gibt es verschiedene große Wohnungsgesellschaften und -genossenschaften. Dazu gehören

- die Chemnitzer Siedlungsgemeinschaft eG (CSG),
- die Grundstücks- und Gebäudewirtschafts-Gesellschaft m.b.H. (GGG),
- die Sächsische Wohnungsgenossenschaft Chemnitz eG (SWG),
- die Chemnitzer Allgemeine Wohnungsbaugenossenschaft eG (CAWG),
- Wohnungsgenossenschaft „EINHEIT“ eG Chemnitz (WG Einheit) und
- die Wohnungsbaugenossenschaft Chemnitz West eG (WCW).

Weiterhin gibt es eine Reihe verschiedener, kleinerer Gesellschaften, private Gesellschaften und private Eigentümer. Aufgrund verschiedener Faktoren (Standort, Verschattung, Ausrichtung, Dachlasten, Denkmalschutz) kommen einige Mehrfamilienhäuser im Stadtgebiet nicht für eine Installation von Solar-Aufdachanlagen in Betracht. Tabelle 34 fasst die durch die geeigneten Standorte erschließbaren Potenziale laut Solarkataster zusammen. Berücksichtigt sind dabei die Gebäudetypen 10 und 11 (Mehrfamilienhäuser) [15].

Tabelle 34: Potenziale der für eine Nutzung mit Solar-Aufdachanlagen geeigneten Standorte der in Chemnitz vertretenden Wohnungsgesellschaften und -genossenschaften [15]

Eigentümer	PV [MWh/a]	CO _{2eq} - Einsparung [t/a]	ST – WW [MWh/a]	CO _{2eq} - Einsparung [t/a]	ST – Hz [MWh/a]	CO _{2eq} - Einsparung [t/a]
privat	4.864,5	1.756,1	21.437,6	5.893,0	6.044,1	1.661,5
CSG	4.522,7	1.632,7	19.613,6	5.391,6	6.419,9	1.764,8
GGG	3.742,5	1.351,1	16.320,6	4.486,4	4.573,6	1.257,2
SWG	3.201,5	1.155,7	13.741,7	3.777,4	4.617,2	1.269,2
private Gesellschaften	1.817,0	655,9	7.948,0	2.184,8	2.324,9	639,1
CAWG	1.377,0	497,1	5.894,0	1.620,2	2.213,7	608,5
WG Einheit	1.134,8	409,7	5.042,6	1.386,2	288,9	79,4
WCW	1.000,6	361,2	4.367,2	1.200,5	502,5	138,1
restl. Gesellschaften	463,5	167,3	2.069,9	569,0	526,6	144,8
Summe	22.124,2	7.986,8	96.435,1	26.509,1	27.511,3	7.562,6

Dementsprechend sind hier Einsparmöglichkeiten bzgl. der CO₂-Emissionen in Höhe von 8,0 kt/a oder 32,3 kg/(EW a) im Stromsektor oder bzgl. der CO₂-Äquivalent-Emissionen von ca. 7,6 kt/a bzw. 30,6 kg/(EW a) bei der Heizungsunterstützung vorhanden. Dies entspricht ca. 0,6 % bzw. 0,5 % der Gesamtemissionen von Chemnitz 2017.

4.6 Solaranlagen Garagenhöfe

Im gesamten Chemnitzer Stadtgebiet befinden sich zahlreiche Garagenhöfe die sich als potenzielle Dachfläche für Solarthermie- oder Photovoltaikanlagen anbieten. Von den vorhandenen Garagenhöfen wurden für die Potenzialanalyse die Standorte entnommen, die im Einzugsbereich des Wärmenetzes liegen und welche gemäß der Garagenkonzeption der Stadt Chemnitz dauerhaft Bestand haben sollen [15]. Tabelle 35 fasst die Potenziale nach Solarkataster für einen Ausbau mit Photovoltaik, für die Warmwassererzeugung (WW) und für eine Heizungsunterstützung (Hz) für die verschiedenen Standorte zusammen.

Tabelle 35: Potenziale der für eine Anbindung an das Fernwärmenetz günstig gelegenen dauerhaften Garagenhöfe für Solaranlagen [15]

	PV [MWh/a]	CO _{2eq} - Einsparung [t/a]	ST – WW [MWh/a]	CO _{2eq} - Einsparung [t/a]	ST – Hz [MWh/a]	CO _{2eq} - Einsparung [t/a]
Altendorfer Straße	850,8	307,1	3.696,5	1.016,1	1.463,0	402,2
Bersarinstraße	338,7	122,3	1.464,5	402,6	586,9	161,3
Carl-von-Ossietzky-Str.	136,5	49,3	600,0	164,9	233,2	64,1
Charlottenstraße	342,2	123,5	1.580,7	434,5	589,1	161,9
Flemmingstraße	44,3	16,0	187,8	51,6	75,7	20,8
Geibelstraße	145,8	52,6	661,1	181,7	232,6	63,9
Kepplerstraße	36,8	13,3	159,4	43,8	61,9	17,0
Kutusowstraße	76,0	27,4	323,4	88,9	127,4	35,0
Paul-Bertz-Straße	37,7	13,6	160,9	44,2	64,9	17,8
Rilkestraße	48,9	17,7	224,6	61,7	83,7	23,0
Sterzelstraße	165,5	59,7	741,9	203,9	278,2	76,5
Straße Usti nad Labem	733,3	264,7	3.098,7	851,8	1.245,2	342,3
Yorckstraße	218,1	78,7	917,4	252,2	368,7	101,4
Summe	3.174,5	1.146,0	13.817,0	3.798,2	5.410,4	1.487,3

Insgesamt wären hier also Einsparungen von 0,3 % im Stromsektor und ebenfalls ca. 0,3 % bei der Heizungsunterstützung möglich. Die so ermittelten Potenziale ergeben Einsparmöglichkeiten bzgl. der CO₂-Emissionen in Höhe von 1,2 kt/a oder 4,6 kg/(EW a) im Stromsektor oder bzgl. der CO₂-Äquivalent-Emissionen von ca. 1,5 kt/a bzw. 6 kg/(EW a) bei der Heizungsunterstützung (0,1 % der Gesamtemissionen von Chemnitz 2017).

Die Anlagenkosten für PV können am Beispiel der kleinen Dachanlagen (Tabelle 31) hochgerechnet werden und betragen demnach ca. 1300 €/kWp. Dies ergibt bei einer Nutzung aller in Frage kommenden Garagenhöfe eine Summe von ca. 4,6 Mio. €. Die Stromgestehungskosten liegen bei ca. 0,09-0,10 €/kWh. Bei Solarthermieanlagen kann für Aufdachanlagen mit ca. 300 €/m² gerechnet werden.

4.7 Maßnahmen private Haushalte

Aufgrund der großen Vielfalt an verbauter Technik in bestehenden Haushalten ist es schwierig, eine explizite Maßnahme zu nennen bzw. zu empfehlen. Die durchzuführenden Maßnahmen unterscheiden sich je nach Einzelfall. Weiterhin sind Fördermöglichkeiten für solche Einzelmaßnahmen den Hausbesitzern häufig nicht bekannt. Es erfolgt daher hier eine Auflistung von Förderprogrammen und den dort anrechenbaren Maßnahmen. Die wichtigsten Adressen hierfür sind das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), die Sächsische Aufbaubank (SAB) und die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Die Programme doppelten sich hier teilweise insbesondere bei der SAB und der KfW. Eine vollumfängliche Auflistung der Angebote und Bedingungen übersteigt den Rahmen dieses Berichts. Es sei daher an dieser Stelle auf die entsprechenden Websites und Förderwegweiser der verschiedenen Anbieter verwiesen.

- BAFA: <https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienzwegweiser/energieeffizienzwegweiser.html>
- SAB: <https://www.sab.sachsen.de/f%C3%B6rderprogramme/>
- KfW: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/F%C3%B6rderprodukte/F%C3%B6rderprodukte-f%C3%BCr-Bestandsimmobilien.html>

Eine Auswahl der förderfähigen Maßnahmen umfasst:

- Bundesförderung für effiziente Gebäude – Heizungsoptimierung [75]
 - Ersatz von Heizungs-Umwälzpumpen und Warmwasser-Zirkulationspumpen durch hocheffiziente Umwälzpumpen und Warmwasser-Zirkulationspumpen (einschließlich der Kosten für den fachgerechten Einbau und direkt mit der Maßnahme verbundenen Materialkosten)
 - Heizungsoptimierung durch einen hydraulischen Abgleich bei bestehenden Heizsystemen
 - zusätzliche Investitionen und Optimierungsmaßnahmen an bestehenden Anlagen im Zuge des hydraulischen Abgleichs:
 - voreinstellbaren Thermostatventilen
 - Einzelraumtemperaturreglern
 - Strangventilen
 - Technik zur Volumenstromregelung
 - separater Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik und Benutzerinterfaces
 - Pufferspeichern
 - die professionell erledigte Einstellung der Heizkurve

- KfW-Energieeffizient Bauen
 - Das Programm dient der langfristigen Finanzierung der Errichtung, der Herstellung oder des Ersterwerbs von KfW-Effizienzhäusern.
- KfW-Energieeffizient Sanieren
 - Ziel des Programms ist die langfristige Finanzierung von Maßnahmen zur Energieeinsparung und zur Minderung des CO₂-Ausstoßes bei bestehenden Wohngebäuden.
 - Gefördert wird die energetische Sanierung von Wohngebäuden (wohnwirtschaftlich genutzte Flächen), für die vor dem 01.02.2002 der Bauantrag gestellt oder Bauanzeige erstattet wurde.
 - Sanierung von Wohngebäuden mit dem Ziel der Energieeinsparung und Minderung des CO₂-Ausstosses
 - Folgende Einzelmaßnahmen werden gefördert:
 - Wärmedämmung von Wänden
 - Wärmedämmung von Dachflächen
 - Wärmedämmung von Geschossdecken
 - Erneuerung der Fenster und Außentüren
 - Erneuerung/ Einbau einer Lüftungsanlage
 - Erstanchluss an Nah- oder Fernwärme
 - Optimierung bestehender Heizungsanlagen (sofern diese älter als zwei Jahre sind)
- KfW-Programm Erneuerbare Energien
 - Gefördert wird die Nutzung erneuerbarer Energien zum Beispiel durch die Errichtungen von Photovoltaik-, Solarkollektor-, Biomasse- und Biogasanlagen.
 - Die Nutzung erneuerbarer Energien zum Beispiel durch die Errichtungen von Photovoltaik-, Solarkollektor-, Biomasse- und Biogasanlagen, Anlagen zur energetischen Nutzung von Erdwärme, Anlagen zur Kraft-Wärme-Kopplung sowie Energiecontracting.
- Förderrichtlinie Energieeffizienz und Klimaschutz - RL EuK/2007
 - Gefördert werden Vorhaben zur Steigerung der Energieeffizienz und zum Klimaschutz im Rahmen der Förderrichtlinie Klimaschutz (RL Klima/2014) und Förderrichtlinie Zukunftsfähige Energieversorgung (RL Energie/2014).
- Stromspeicher mit/ohne Ladestation (RL Speicher)
 - Gefördert werden dezentrale Stromspeicher, die mit einer Photovoltaikanlage und dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt sind sowie damit kombinierte Ladestationen für Elektrofahrzeuge.
 - Investitionen für Anlagen zur Speicherung von elektrischer Energie (Stromspeicher, einschließlich Quartierspeicher und Nachrüstsätze), die auf Lithium-Ionen-Technologien basieren (konventionelle Stromspeicher) auch in Verbindung mit Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge (Ladestation) und
 - Investitionen für Anlagen zur Speicherung von elektrischer Energie (Stromspeicher, einschließlich Quartierspeicher und Nachrüstsätze), die nicht auf Blei- oder Lithium-Ionen-Technologien basieren (Modellvorhaben), auch in Verbindung mit Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge (Ladestation) sowie der Mess- und Steuereinrichtungen und Ingenieur- und Planungsleistungen.
 - Entsprechend werden folgende vier Vorhabenarten gefördert:
 - Konventioneller Stromspeicher (ohne Ladestation)
 - Konventioneller Stromspeicher mit Ladestation
 - Modellvorhaben (ohne Ladestation)
 - Modellvorhaben mit Ladestation

4.8 Wasserstofftankstelle

Im Bereich Power-to-X bietet sich in Zusammenhang mit der bereits angesprochenen Maßnahme der PV-Carports am Standort Messe-Chemnitz eine Möglichkeit für eine Zusammenarbeit mit dem in der Nähe befindlichen Toyota-Autohaus (Neefestraße 127/129). Hier wäre eine Wasserstofftankstelle mit eigens produziertem, grünem Wasserstoff mittels PV-Strom denkbar. Toyota hat ein Brennstoffzellenfahrzeug im Programm und dieses auch erst kürzlich neu aufgelegt [76]. Die Möglichkeit dieses klimaneutral mit grünem Wasserstoff zu betanken wäre marketingtechnisch eine große Möglichkeit. Die räumliche Nähe zum Parkplatz Messe-Chemnitz bietet eine Nutzung des dort produzierten PV-Stroms an und würde das dahintersteckende Konzept für die breite Öffentlichkeit fassbar und verständlich machen.

Für die Produktion von grünem Wasserstoff per Elektrolyse gibt es eine Reihe unterschiedlicher Verfahren. Welches Verfahren letztlich hauptsächlich eingesetzt wird, ist schwer abzuschätzen und hängt von der technischen Weiterentwicklung in den nächsten Jahren ab. In diesem Zusammenhang ist das sogenannte Technology Readiness Level (TRL; Technologie-Reifegrad; Abbildung 45) zu beachten.

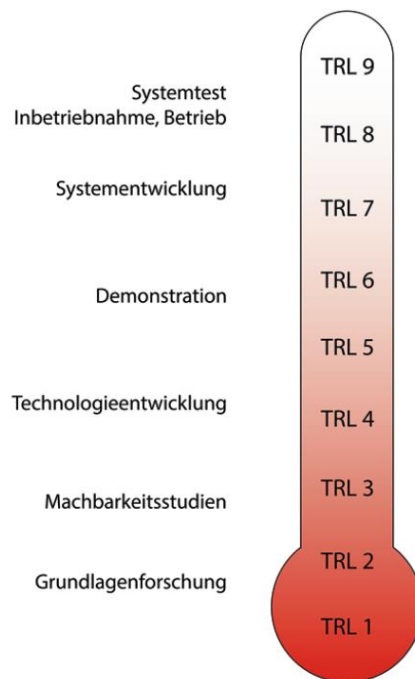


Abbildung 45: Technologie-Reifegrad oder Technology Readiness Level [77]

Die verschiedenen Levels werden dabei wie folgt definiert [77]:

- TRL 1: Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips,
- TRL 2: Beschreibung der Anwendung einer Technologie,
- TRL 3: Nachweis der Funktionstüchtigkeit einer Technologie,
- TRL 4: Versuchsaufbau im Labor,
- TRL 5: Versuchsaufbau in Einsatzumgebung,
- TRL 6: Prototyp in Einsatzumgebung,
- TRL 7: Prototyp im Einsatz,
- TRL 8: qualifiziertes System mit Nachweis der Funktionstüchtigkeit im Einsatzbereich,
- TRL 9: qualifiziertes System mit Nachweis des erfolgreichen Einsatzes.

Es gibt drei wesentliche Wasserelektrolyse-Verfahren. Die verschiedenen Technologien lassen sich nach der Art der eingesetzten Elektrolyte in drei relevante Gattungen unterteilen:

- die alkalische Elektrolyse (AEL) mit wässriger Kali- oder Natronlauge als Elektrolyt,
- die Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyse (PEMEL) mit einer protonenleitenden Membran als Elektrolyt und
- die Feststoff-Oxid-Hochtemperatur-Elektrolyse (engl. SOEL; Solid Oxid Electrolysis) mit einer keramischen ionenleitenden Membran [78].

In Bezug auf das TRL der unterschiedlichen Technologien sind laut dem ISE momentan folgende Werte anzunehmen [79]:

- alkalische Elektrolyse: TRL 8-9,
- Membran- / PEM-Elektrolyse: TRL 7-8 und
- Hochtemperatur-Elektrolyse: TRL 4-6.

An diesen Werten ist abzulesen, dass momentan ausschließlich die alkalische Elektrolyse für einen Einsatz außerhalb von Forschung & Entwicklung in Frage kommt. Zwar ist gerade die Hochtemperatur-Elektrolyse interessant, um mögliche Wärmeüberschüsse nutzbar zu machen, die Technik ist jedoch momentan noch im Labor-Stadium [78], [79]. Als durchschnittlicher Wirkungsgrad kann ein Wert von ca. 60 % angenommen werden [78].

Bei einer ausschließlichen Nutzung des mit den beiden aussichtsreichsten Teilflächen (2 und 3, Abbildung 40) des Messe-Parkplatzes zu erwartenden Ertrags von ca. 2,44 GWh/a für die Produktion von grünem Wasserstoff mittels AEL, ließen sich ca. 44.364 kgH₂/a produzieren (Annahme: 55 kWh/kgH₂) [80]. Bei Annahme eines durchschnittlichen Verbrauchs von 1 kgH₂/100 km [81], [82], [83] könnten damit ca. 4,4 Mio. km/a mit Brennstoffzellen-PKW zurückgelegt werden. Dies entspricht ungefähr den in Chemnitz pro Werktag gefahrenen Kilometern und damit einer Einsparung von 0,1 % der Gesamtemissionen von Chemnitz im Jahr 2017. Es ist zu beachten, dass diese Angaben nur erreichbar sind, sofern eine kontinuierliche Produktion und Speicherung realisiert wird und im Stadtgebiet auch ausreichend brennstoffzellenbetriebene Fahrzeuge zugelassen werden.

Die Investitionskosten für die AEL-Technologie betragen ca. 1.000 €/kW bis 1.200 €/kW. Hinzu kommen noch die Kosten für die eigentliche Tankstelle, diese sind mit ca. 1-1,4 Mio. € anzunehmen [84], [85], [87], [88].

4.9 Regionale Wertschöpfung durch die neu vorgeschlagenen Maßnahmen

Als grober Anhaltspunkt liegen für die regionale Wertschöpfung ca. 10 % der Investitionskosten als voraussichtlicher Gewinn im Bereich des Möglichen. Teilweise können bei den angesprochenen Maßnahmen lokale Unternehmen zum Einsatz kommen, teilweise muss jedoch auch auf das Know-how einzelner großer überregionaler Firmen gesetzt werden.

Bei Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen im häuslichen Bereich kann davon ausgegangen werden, dass problemlos lokale Firmen einen großen Teil der Arbeit umsetzen können. Bei Großprojekten wie bspw. den vorgeschlagenen Freiflächenanlagen muss voraussichtlich jedoch der Einsatz von überregionalen Firmen mit explizitem Fachwissen erfolgen.

4.10 Bezug zur demografischen Entwicklung

Für die demografische Entwicklung sollten sich durch die Attraktivitätssteigerung des Wohnraums positive Effekte ergeben. Möglicherweise ist ein geringer Zuzug von jungen Menschen zu verzeichnen. Weiterhin ist durch die Umsetzung von gezielten Vorhaben möglicherweise auch eine Akzeptanzsteigerung in der Bevölkerung (Bewusstsein) erreichbar.

4.11 Bezug zur wirtschaftlichen Entwicklung

In Hinblick auf die wirtschaftliche Entwicklung ist vor allem mit einer Unterstützung der momentanen Situation zu rechnen. Eventuell sind auch positive Effekte durch die Attraktivitätssteigerung des Standortes, insbesondere für junge Unternehmen, möglich.

4.12 Zusammenfassung der Einsparpotenziale durch die dargestellten Maßnahmen

Tabelle 36 fasst die durch die beschriebenen Maßnahmen zu erreichenden maximalen Einsparungen an THG-Emissionen zusammen. Wie bereits bei der Zusammenfassung der Potenziale, ist anzumerken, dass für die Berechnungen Emissionsfaktoren aus dem Jahr 2017 (Bilanzjahr dieses Berichtes) zum Einsatz kamen. Dementsprechend sinken zukünftig auch hier die Absolutwerte der zu erreichenden Einsparungen.

Tabelle 36: Zusammenfassung der Einsparmöglichkeiten an THG-Emissionen durch die dargestellten Maßnahmen

Potenzial	Einsparung an THG-Emissionen		
	CO _{2eq} [kt/a]	CO _{2eq} [kg/(EW a)]	CO _{2eq} [% Gesamtemissionen]
solarthermische Fernwärme	25,9	104,8	1,8
Agro-PV	1,8	7,3	0,1
Solar-Carports	5,5	22,3	0,4
PV-Aufdachanlagen	11,7	47,2	0,8
Solaranlagen Garagenhöfe	1,5	6,0	0,1
Wasserstoffelektrolyse mit PV	0,9	3,7	0,1
Summe	47,3	191,3	3,3

Bei Umsetzung aller in diesem Abschnitt aufgelisteten Maßnahmen kann eine Einsparung der THG-Emissionen um ca. 3,3 % erreicht werden. Dies entspräche einem Ausstoß von noch 1388,1 kt/a bzw. 5610,0 t/(EW a). Nicht berücksichtigt sind hierbei die schwer zu quantifizierenden Einsparpotenziale durch die in Abschnitt 4.7 aufgelisteten, möglichen Maßnahmen für die privaten Haushalte.

5 Controlling

5.1 Allgemeine Informationen

Der kommunale Klimaschutz muss regelmäßig analysiert werden, um die aktuelle Situation, die beeinflussenden Entwicklungen und die daraus folgenden Handlungsoptionen abschätzen zu können. Die stetige Bewertung der Zielerreichung liefert rückgekoppelte Ergebnisse, womit eine gesteuerte Anpassung der Ziele möglich ist. Anhand dieser dauerhaften Positionsbestimmung ist zu beurteilen, ob die finanziellen und personellen Mittel der Stadt Chemnitz effizient und effektiv für den Klimaschutz genutzt werden. Die Einführung eines geeigneten Controlling-systems ist hierfür ein wesentlicher Bestandteil des kommunalen Klimaschutzmanagements und sollte bereits im Klimaschutzkonzept angelegt sein. Neben der Bewertung von Prozessen auf der Strukturebene, muss auf Ebene der Maßnahmen deren Umsetzung geprüft werden sowie auf der Ergebnisebene mittels verschiedener Indikatoren ein Feedback zur Zielebene erfolgen, die gleichzeitig als wissenschaftliche und politische Steuerungsebene in die korrigierte Zielformulierung eingreift. Demnach erfordert das Controlling, wie das Klimaschutzmanagement allgemein, ein fachlich fundiertes und aktuelles Wissen im Bereich Klimawandel, -schutz und -anpassung, ein technisches Know-how zur Realisierung, Bilanzierung und Statistik aller Prozesse mit THG-Relevanz sowie Erfahrungen in Veranstaltungsmanagement, Kommunikation und Außendarstellung. Ob die bestehenden personellen Kapazitäten ein entsprechend breites Profil aufweisen und alle Leistungen abdecken können, muss auf kommunaler Ebene frühzeitig geklärt und ggf. strukturell fixiert werden. Die Etablierung von Klimaschutzmanager(innen) innerhalb von Kommunalverwaltungen ermöglicht eine langfristig konsistente Bearbeitung notwendiger Maßnahmen zum Klimaschutz, gewährleistet eine zielorientierte Lenkung entsprechender Ressourcen und sichert die Einhaltung der politischen Klimaschutz- und Energieziele.

Da sich Zuständigkeiten und Strukturen zwischen Kommunen wesentlich unterscheiden, existiert kein standardisiertes Erfolgsmodell für die Umsetzung und das Controlling eines Klimaschutzkonzepts. Die Management- und Organisationsstruktur sollte klar geregelt sein, sodass die Verantwortlichkeiten für Klimaschutzberichte, Maßnahmenberichte und Bilanzen bei der Person oder Stelle liegen, die mit dem Controlling der Klimaschutzarbeit betraut ist. Weiterhin sollten konkrete und überprüfbare Ziele festgelegt und zeitlich fixiert werden. Die Erstellung von Detailzielen liefert hierbei überschaubare Einzelschritte mit individuellen Meilensteinen und messbaren Kennwerten. Zur systematischen Erfassung der Entwicklungen bzw. der Fehlentwicklungen sollte das Controlling parallel auf kommunaler Ebene (Top-down) sowie auf Maßnahmenebene (Bottom-up) stattfinden. Insbesondere die jährliche Energie- und THG-Bilanz, definierte Indikatoren als Vergleichsmaßstab sowie Berechnungen der technischen Effekte festgelegter Maßnahmen ermöglichen ein quantitatives Monitoring im kommunalen Klimaschutz. Qualitative Bewertungen sind auf kommunaler Ebene über Aktivitätsprofile (z. B. Anzahl von Workshops, Auswertung von Fragebögen) und auf Maßnahmenebene über die generelle Entwicklung (z. B. Investitionen, Verhaltensänderungen) in den Zielbereichen möglich.

Als wesentliche Indikatoren sollten der Anteil der erneuerbaren Energien im Strom und Wärmebereich, Endenergieverbräuche in den einzelnen Sektoren sowie die resultierenden THG-Emissionen regelmäßig erfasst und verglichen werden. Die Basis dieser quantitativ erfassbaren Entwicklungen besteht aus einer Vielzahl von Eingangsdaten, deren Beschaffung, Organisation, Analyse, Auswertung und Darstellung gezielt durch festgelegte Klimaschutzmanager(innen) erfolgen sollte. Mit einer entsprechend konsistenten Datenbasis und

Vorgehensweise sind die Vergleichbarkeit und somit die jährliche Überprüfung der Wirksamkeit gewährleistet. Durch die Nutzung umfassender Tools für Ist-Analysen (z. B. Excel-Sheets) kann der Automatisierungsgrad und damit die Effizienz des Controllings gesteigert werden. Im Vorfeld sind jedoch die Verfügbarkeit, Aktualität und Nutzbarkeit der benötigten und vorhandenen Daten zu bewerten. Die Prüfung der rechtlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen sowie vertragliche Festlegungen mit allen datenverarbeitenden Akteuren sind demnach frühzeitig im Controlling-Konzept zu verankern.

Um erfolgreiche und weniger erfolgreiche Klimaschutzmaßnahmen identifizieren zu können, müssen die Ziele, Erfolgsfaktoren und grundlegende Indikatoren klar definiert, messbar und allen Beteiligten bekannt sein. Die erstellten Maßnahmenberichte und Bilanzen sowie entwickelte Vorschläge für das weitere Vorgehen sind den übergeordneten Entscheidungsträgern vorzulegen. Darüber hinaus sollte die Öffentlichkeit stets detaillierte Informationen über die aktuellen Entwicklungen erhalten, damit der Klimaschutzprozess nachhaltig im Bewusstsein der Bürger(innen) und Unternehmen präsent ist.

Der Praxisleitfaden zum Klimaschutz in Kommunen [1], herausgegeben vom Deutschen Institut für Urbanistik (Difu), liefert weitere Orientierungspunkte zur Einführung eines individuell angepassten Controllingsystems für das kommunale Klimaschutzmanagement der Stadt Chemnitz.

5.2 Vorschläge für Chemnitz

Anhand der im vorherigen Abschnitt beschriebenen, größtenteils allgemein gehaltenen Möglichkeiten als Bestandteil eines Controlling-Konzeptes, können am konkreten Beispiel Chemnitz verschiedene Maßnahmen empfohlen werden, die im Folgenden stichpunktartig aufgelistet sind.

- Schaffung und Besetzung einer zusätzlichen Stelle im Bereich des Klimaschutzes, explizit als Klimaschutzmanager/-in, u. a. für die im folgenden aufgelisteten Arbeiten,
- jährliche Auswertung der Endenergieverbräuche und der damit verbundenen THG-Emissionen (CO₂ und CO₂-Äquivalente) in Berichtsform,
 - Festlegung einer Verfahrensweise um den jährlichen Arbeitsaufwand zu minimieren; dazu gehören u. A.:
 - Festlegung einer Quelle für die Emissionsfaktoren (Vorschlag: Umweltbundesamt oder Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle),
 - einheitliche, automatisierte Berechnungsverfahren in Anlehnung an den hier vorliegenden Bericht (Vorschlag: Aufbau einer umfassenden Excel-Datei mit verlinkten Berechnungsformeln und Abbildungen in der lediglich die sich jährlich ändernden Werte wie THG-Emissionsfaktoren und Endenergieverbräuche angepasst werden müssen),
 - Festlegung der Einheiten um eine schnelle Vergleichbarkeit der genutzten und erhaltenen Zahlenwerte ohne Umrechnungen zu ermöglichen (Vorschlag: GWh/a, t_{CO2} bzw. CO_{2eq}/GWh, kt_{CO2} bzw. CO_{2eq}/a, kg_{CO2} bzw. CO_{2eq}/(EW a)),
 - Gegenüberstellung mit dem deutschlandweiten Durchschnitt des jeweiligen Bilanzjahres,
 - Gegenüberstellung mit den Werten in Chemnitz vergangener Jahre,
 - Gegenüberstellung mit den für 2050 vereinbarten Zielen – Soll-Ist-Vergleich anhand von noch festzulegenden Meilensteinen auf dem Weg zur Erreichung der 2050er-Ziele (Anhaltspunkt s. Abbildung 46),

- enge Zusammenarbeit mit der eins energie in sachsen GmbH & Co. KG,
 - Kooperationsvereinbarung bzgl. der benötigten Daten (inkl. einer gemeinsamen Festlegung eines Stichtages zur Übermittlung der Daten an den Klimaschutzmanager bzw. das Umweltamt),
 - Bestimmung von CO_{2eq}-Faktoren für den Strommix und die Fernwärmeversorgung (momentan sind nur CO₂-Faktoren zugänglich),
- jährliche Auswertung der Entwicklung von erneuerbaren Energien im Stadtgebiet, um die getroffenen Maßnahmen und den erreichten Fortschritt kontrollieren zu können,
- laufende Potenzialanalyse in enger Zusammenarbeit mit der Naturschutzbehörde und den verantwortlichen Stellen für den Flächennutzungsplan,
 - Verfolgung der aktuell bekannten Flächen mit Prüfbedarf (bspw. „Fischblase“)
 - entsprechend den vorhandenen Potenzialen, Kontaktaufnahme mit den jeweils notwendigen Akteuren,
 - regelmäßige Aktualisierung der Daten des Solarkataster,
 - Anstreben einer Erweiterung um Informationen bzgl. Brand- und Denkmalschutz, zulässige Dachlasten sowie Freiflächen,
 - Datenschutz- und Zugriffsregelung: Informationen des Solarkataster müssen der Stadt uneingeschränkt und kurzfristig zur Abfrage bereitstehen.

Die bereits angesprochene Abbildung 46 zeigt ein mögliches Szenario für die Entwicklung der THG-Emissionen bis zum Jahr 2050. Von 1990 bis 2018 sind die für Chemnitz bekannten Zahlenwerte aufgeführt. Zusätzlich sind in den Jahren 2030, 2035 und 2050 weitere Meilensteine eingezeichnet. Der mit einer gestrichelten Linie markierte, mögliche Verlauf der THG-Emissionen bis zum Jahr 2050 zeigt auf, wie die angestrebten Ziele erreicht werden könnten bzw. welche Teilziele als Anhaltspunkt in den kommenden Jahren gelten könnten, um letztlich die Zielstellung von 0,62 t/(EW a) im Jahr 2050 erreichen zu können.

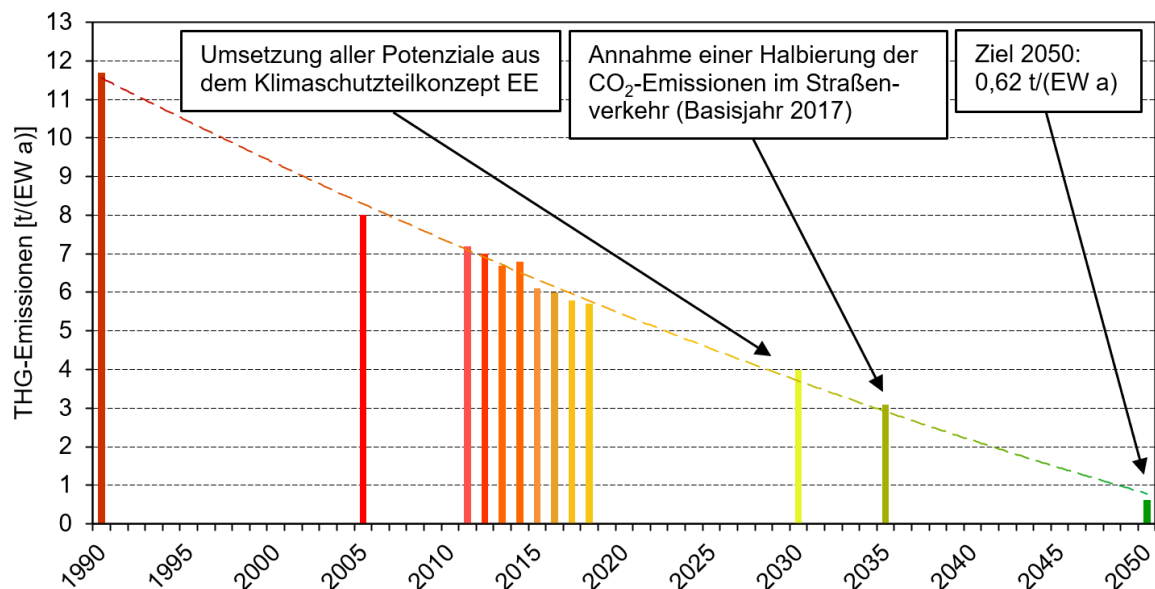


Abbildung 46: Szenario für die Entwicklung der THG-Emissionen in Chemnitz auf Basis der Daten von 1990-2018 und der in diesem Bericht aufgezeigten Potenziale zur Erreichung der für 2050 ausgegebenen Ziele

6 Kommunikationsstrategie

6.1 Allgemeine Informationen

Die notwendige Verringerung der THG-Emissionen kann nur durch die Mitwirkung der gesamten Bevölkerung erreicht werden. Es handelt sich bei Klimaschutz um eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Das heißt, dass es neben planerischen, rechtlichen und technischen Maßnahmen auch einer Veränderung des menschlichen Verhaltens bedarf. An dieser Stelle setzen die Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikationsstrategie an. Es geht darum, sowohl klimaschädigendem Handeln entgegenzuwirken als auch klimaschützendes Verhalten zu fördern [1].

Die Öffentlichkeitsarbeit lässt sich grob in folgende drei Hauptkategorien unterteilen:

1. die Verbreitung von Informationen zur generellen Situation rund um den Klimaschutz (Ist-Zustand und notwendige Änderungen),
2. Öffentlichkeitsarbeit in Bezug auf Maßnahmen der Stadt in ihrer Rolle als Vorreiter/Vorbild in Sachen Klimaschutz und
3. Öffentlichkeitsarbeit zu Maßnahmen zum Klimaschutz, welche durch Dritte umzusetzen sind [86].

Wichtig sind bei allen Formen oder Kategorien der Öffentlichkeitsarbeit folgende drei Punkte:

1. das Herausarbeiten von entsprechenden Zielgruppen,
2. die Ermittlung von zielgruppenspezifischen Bedürfnissen und
3. mit welcher Kernaussage die jeweilige Zielgruppe angesprochen werden soll [86].

Am Anfang einer Öffentlichkeitskampagne muss herausgestellt werden, welche Zielgruppe die Kampagne erreichen soll. Ist dies erfolgt, müssen die Bedürfnisse der Zielgruppe herausgearbeitet werden. Hier können verschiedene Interessen der Zielgruppen ausschlaggebend sein, wie bspw. ökologische Interessen (Klimabewusstsein), wirtschaftliche Interessen (z. B. Energiekosten sparen) oder eine Imageaufwertung [86]. Weiterhin ist zu beachten, welchen Beschränkungen die Zielgruppen unterliegen. Dazu gehören Informations-, Zeit- und Geldmangel oder auch keine bzw. nur eine geringe Entscheidungsbefugnis was eventuelle Veränderungen oder Investitionen angeht [86].

Neben den zielgruppenorientierten Aussagen sind auch grundlegende Aspekte zu kommunizieren. Wichtig ist hier der Aufbau eines Verständnisses für den Zusammenhang der eigenen Handlungen der Bürger mit den THG-Emissionen und die Auswirkungen aller einzelnen Handlungen auf den Gesamtzustand bzw. das Gesamtziel [86]. Denn es ist essentiell, dass dem Gefühl der Unbedeutsamkeit des Handelns eines Einzelnen entgegengewirkt wird: jeder Beitrag ist wichtig und notwendig.

Für eine Steigerung des Klimabewusstseins und der Handlungsbereitschaft aller Akteure in Chemnitz sollte das Klimaschutzkonzept möglichst frühzeitig und deutlich mit der breiten Öffentlichkeit kommuniziert werden [86]. Diese Vorarbeit für die spätere Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen der eigentlichen Umsetzung von Maßnahmen ist wichtig, um möglichst viele Bürger früh von dem Klimaschutzkonzept und der Idee dahinter erfahren zu lassen. Dies erzeugt einen Wiedererkennungseffekt, welcher sich positiv bei der Öffentlichkeitsarbeit für die Umsetzung der Maßnahmen äußern kann [86].

6.2 Instrumente der Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit

Die wichtigsten Instrumente einer erfolgreichen Kommunikation und Öffentlichkeitsarbeit im kommunalen Klimaschutz werden im Praxisleitfaden zum Klimaschutz in Kommunen [1] ausführlich dargestellt. Neben der Bereitstellung von umfangreichen Informationsmaterialien und der Nutzung verschiedener Informationsmedien spielen zielgruppenspezifische und öffentlichkeitswirksame Aktionen, Veranstaltungen sowie gezielte Beratungsangebote durch die Kommunen eine wichtige Rolle [1]. Abbildung 47 fasst einige Beispiele für typische Kommunikations- und Informationsinstrumente zusammen.

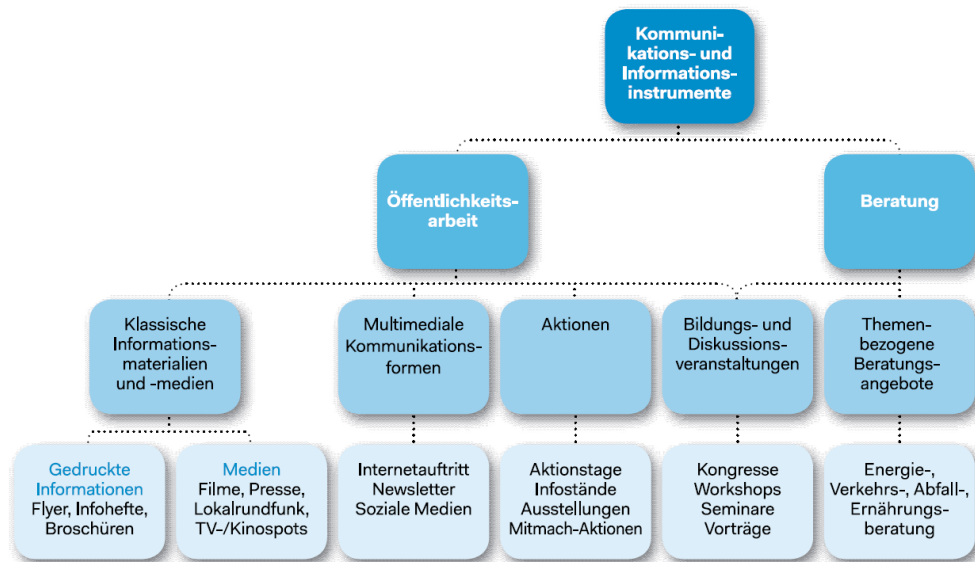


Abbildung 47: Beispiele für Kommunikations- und Informationsinstrumente [1]

Im konkreten Fall Chemnitz erscheinen in einem ersten Schritt folgende Instrumente zweckmäßig:

- Pressemitteilungen,
 - generelle Information über die aktuelle Lage und die notwendigen Anstrengungen sowie mögliche Maßnahmen,
- Drucksachen (bspw.: Faltblätter, Broschüren, Plakate),
- Internetauftritte,
- Workshops mit lokalen, potenziell beteiligten Akteuren für besonders aussichtsreiche Großprojekte,
 - Abstimmung der verschiedenen Interessengruppen,
 - Klärung möglicher wirtschaftlicher und politischer Hindernisse,
 - Informationen zu Finanzierung und Wirtschaftlichkeit,
- Vortragsreihen bzw. Informations-/Präsentationsveranstaltung für die breite Öffentlichkeit,
 - Aufklärung über verschiedene (technische) Möglichkeiten bei der energetischen Modernisierung von Gebäuden,
 - Informationen zu Förderprogrammen.

6.2.1 Pressearbeit

Artikel in der Presse sind eine gute Basis der Öffentlichkeitsarbeit. Vor allem ältere Menschen informieren sich auch heute noch vorwiegend über die regionale Druckpresse. Chemnitz sollte daher versuchen durch redaktionelle Beiträge bspw. in der Tageszeitung Freie Presse oder dem Amtsblatt Chemnitz in Erscheinung zu treten. Dies gilt für Informationen zum Klimaschutz in Chemnitz allgemein, die Verbreitung des Klimaschutzkonzeptes und die Maßnahmenumsetzung [86].

6.2.2 Drucksachen

Die Unterstützung von Projekten mit gedruckten Publikationen ist in jedem Falle zu empfehlen [86]. Dies gilt ebenso für Informationen zum Klimaschutz in Chemnitz allgemein, die Verbreitung des Klimaschutzkonzeptes und die Maßnahmenumsetzung. Als Möglichkeiten sind insbesondere Faltblätter, Broschüren und Plakataktionen im öffentlichen Raumen (bspw.: Bus- und Straßenbahnhaltestellen) zu nennen. Für die Gestaltung dieser Drucksachen sollten unbedingt die Hinweise unter 6.1 berücksichtigt werden.

6.2.3 Internetauftritte

Neben der Pressearbeit und der Veröffentlichung von Drucksachen kommt der Verbreitung von Neuigkeiten über das Internet eine sehr große und immer größer werdende Bedeutung bei, insbesondere bei jüngeren Menschen. Auf der Internetseite der Stadt Chemnitz und den Social Media Accounts, wie Twitter oder Instagram, sollten daher Informationen zum Klimaschutz (z. B. umgesetzte Maßnahmen, Ankündigungen zu Veranstaltungen o. Ä.) regelmäßig und für den Besucher leicht auffindbar publiziert werden [86]. Des Weiteren empfiehlt es sich Informationen und Verlinkungen zu Netzwerken, Verbänden und Fördermöglichkeiten vorzusehen [86]. Dazu gehört auch eine Veröffentlichung des Klimaschutzkonzeptes, soweit möglich in Kombination mit Hinweisen und Informationen zur geplanten Verwertung und Umsetzung¹⁰ [86]. Des Weiteren ist es wichtig, für möglicherweise auftretende Rückfragen in diesem Zusammenhang Kontaktinformationen der verantwortlichen Ansprechpartner zur Verfügung zu stellen [86].

6.2.4 Workshops, Vortragsreihen und Informationsveranstaltungen

Bei Vortragsreihen sollte die Präsentation der Gesamtsituation und des Grundgedankens sowie der Inhalte des Klimaschutzkonzeptes im Vordergrund stehen. Vor allem die Zielvorstellungen und die dafür notwendigen Handlungsschritte der verschiedenen Akteure sollten klar präsentiert werden. Mithilfe von Vortragsreihen können außerdem, ähnlich wie bei Workshops, verschiedene Aspekte auf die jeweiligen Akteure bzw. Zielgruppen spezifiziert werden und diese hinsichtlich ihrer Handlungsmöglichkeiten sensibilisiert werden [86].

Bei Workshops und Informationsveranstaltungen sollte den Teilnehmern die Möglichkeit gegeben werden mit entsprechenden Ansprechpartnern in Kontakt treten zu können und individuelle Fragen zu stellen [86]. Daher empfiehlt sich dieses Instrument eher bei der Maßnahmenumsetzung. Vorstellbar wären z. B. Veranstaltungen, bei denen Bürger und regionale

¹⁰ Es wird hiermit ausdrücklich von förderschädlichen Veröffentlichungen von Projektideen vor der Bewilligung der Fördergelder abgeraten.

Unternehmen eingeladen werden, um einen Austausch zwischen Markt (regional verfügbare Produkte und Dienstleistungen) und Nachfrage zu generieren [86].

Weiterhin wären Workshops für explizite Großprojekte denkbar. Hier könnten fünf verschiedene Gruppen von Teilnehmer eingeladen werden:

- Akteure, die das Großprojekt umsetzen wollen und sollen,
- Unternehmen die als Dienstleister bei der Umsetzung beteiligt sein können,
- Unternehmen die Erfahrung bei vergleichbaren Projekten haben,
- Referenten für die wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen und
- Moderatoren und Referenten von Seiten der Stadt und/oder der Wissenschaft.

Es ergäbe sich bei dieser Verfahrensweise Synergieeffekte, indem die Informationsbereitstellung mit Zielgruppen und Werbemöglichkeiten der Anbieter verknüpft wird [86]. Um den Wirkungshorizont der Veranstaltungen zu vergrößern, sollte sowohl bei Vortragsreihen als auch bei Informationsveranstaltungen unbedingt die lokale Presse mit einbezogen werden [86].

6.3 Empfehlungen zur Umsetzung in Chemnitz

Um die zielgruppengerechte Kommunikation in Gang zu bringen, kann Chemnitz auf ein fundiertes Netzwerk aus bereits erfolgter Klimaschutzarbeit zurückgreifen (u. a. der Arbeit im Rahmen der eea-Zertifizierung; Abbildung 48 und Abbildung 49) [15].

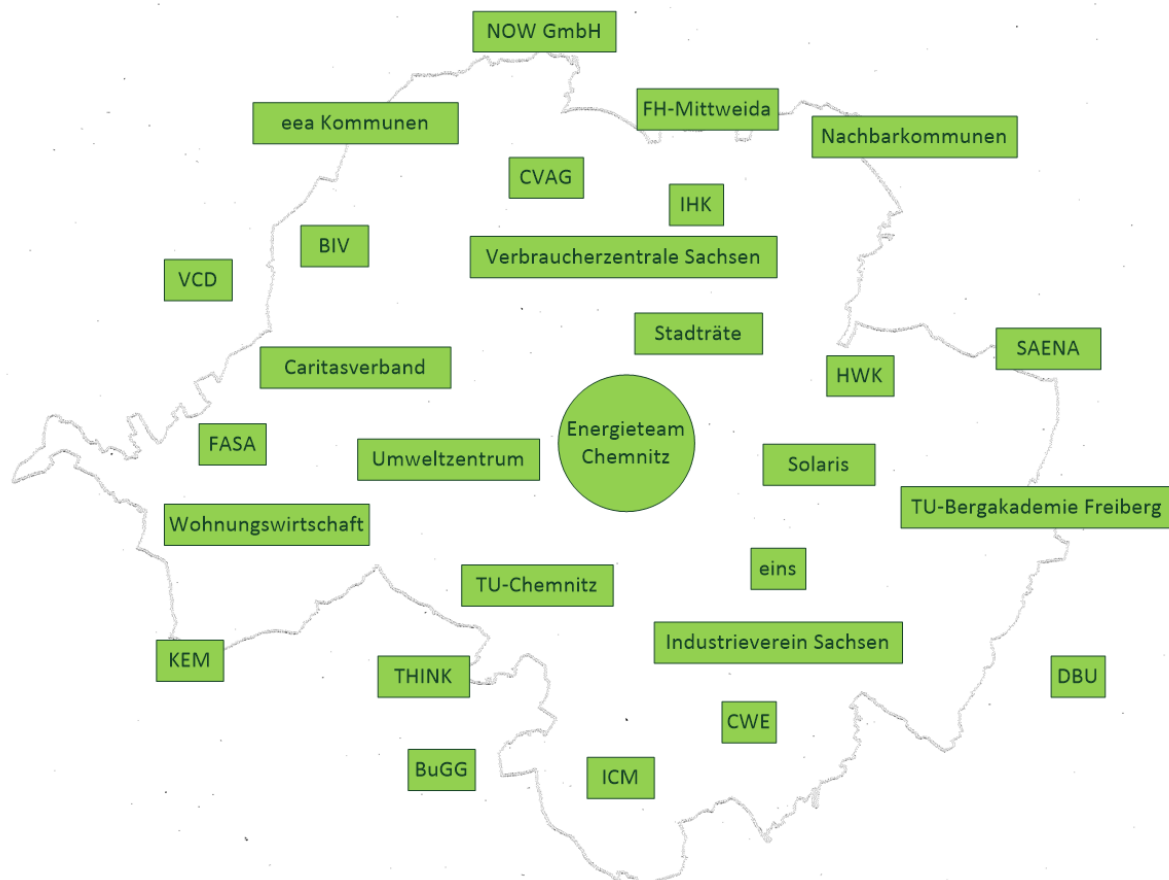


Abbildung 48: Kommunikationsnetzwerk im Rahmen der eea-Zertifizierung [15]

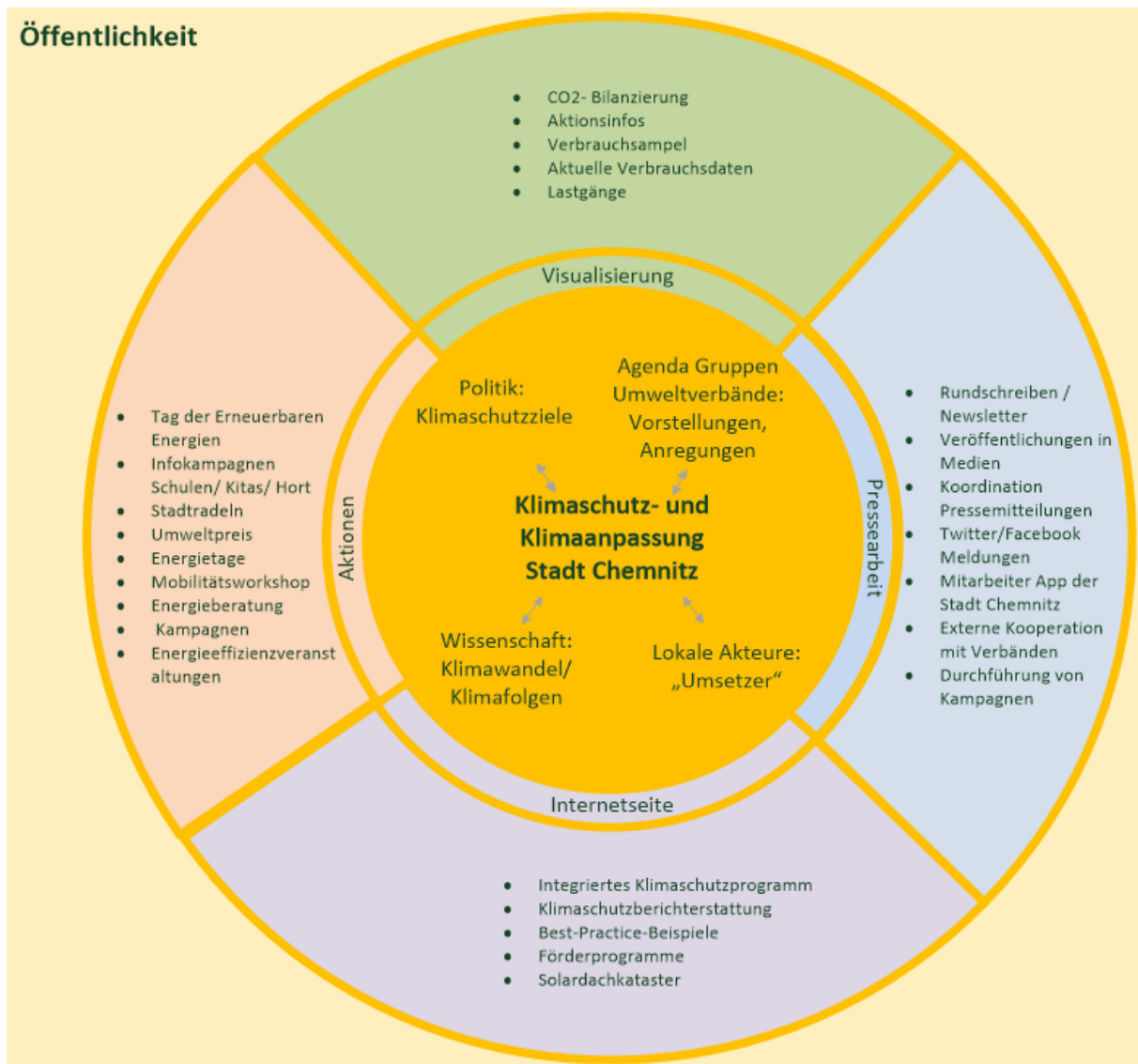


Abbildung 49: Kommunikationsnetzwerk im Rahmen bereits erfolgter Klimaschutzarbeit [15]

Die Auswahl der Referenten und Teilnehmer bei Workshops, Vortragsreihen und Informationsveranstaltungen kann zu großen Teilen aus diesem bekannten Netzwerk erfolgen, muss sich dabei aber nach der Zielgruppe richten. Als Referenten bei Vortragsreihen könnten Vertreter der Stadt und von gemeinnützigen Vereinen bzw. Kammern, Agenda-Gruppen, Verbänden (bspw.: Umweltzentrum, BUND) sowie der Wissenschaft (bspw.: TU Chemnitz, FH Mittweida, TU Bergakademie Freiberg) oder auch Vertreter anderer Gemeinden, die über erfolgreiche Umsetzungsbeispiele berichten können in Frage kommen. Bei Informationsveranstaltungen und Workshops sollten außerdem regionale Unternehmen eingeladen werden, welche direkt über Produkte und Leistungen informieren können oder als Akteur bei der Umsetzung einer Maßnahme in Frage kommen (bspw.: CVAG, FASA AG).

Die Organisation sollte aus Kostengründen am besten durch personelle Ressourcen der Stadt Chemnitz selbst getragen werden [86]. Denkbar wäre auch die Übertragung dieser Aufgaben an die im Abschnitt Controlling vorgeschlagene neue Position eines Klimaschutzmanagers oder die Schaffung einer weiteren neuen Stelle, welche sich ausschließlich mit der Organisation von Kampagnen und Veranstaltungen beschäftigt.

Verschiedene im Rahmen dieses Berichts vorgeschlagene Maßnahmen benötigen für eine erfolgreiche Umsetzung begleitende Öffentlichkeitsarbeit. Tabelle 37 enthält verschiedene Ziele der Öffentlichkeitsarbeit und eine Empfehlung welches Instrument dabei angewendet werden könnte.

Tabelle 37: Vorschläge zur Zuordnung von ausgewählten Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikationsinstrumenten

Ziel Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikationsstrategie	Vorschlag Instrument
Verbreitung von Informationen zur allgemeinen Lage zum Thema Klimaschutz	Pressearbeit, Internet, Vortragsreihe
Kommunikation zu Maßnahmen der Stadt Chemnitz (Vorbildwirkung)	Internet, Pressearbeit
Kommunikation zu Maßnahmen mit direkter Beteiligung Dritter (Pilot-, Großprojekte)	Internet, Workshops, Pressearbeit
Informationen zu Förderprogrammen	Internet, Pressearbeit, Broschüren
Informationen zu Beratungs-, Aus- und Weiterbildungsangeboten	Internet, Pressearbeit, Broschüren
Beeinflussung des Nutzerverhaltens	Internet, Informationsveranstaltungen und Workshops, Pressearbeit, Broschüren

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die 2050er Ziele, eine Reduzierung der THG-Emissionen um 80 % bis 95 % bezogen auf das Basisjahr 1990 (in Chemnitz bedeutet dies eine Reduzierung auf 2,5 t CO₂/(EW a) bis 0,6 t CO₂/(EW a)), sind allein mit den vorgeschlagenen Maßnahmen nicht zu erreichen. Dieses Ergebnis war aufgrund der sehr großen, hierfür nötigen Einsparungen zu erwarten. Es ist jedoch zusätzlich festzuhalten, dass anhand der Potenzialanalyse abzusehen ist, dass ohne die Identifikation weiterer Großprojekte auch eine Nutzung aller momentan abzusehenden Potenziale nicht ausreicht, um die genannten Ziele zu erreichen.

Das heißt, es sind große Anstrengungen zu unternehmen, um die Maßstäbe der notwendigen Änderungen und Einsparungen in das öffentliche und wirtschaftliche Bewusstsein zu bringen und entsprechende Maßnahmen umzusetzen. Dies beinhaltet drei wesentliche Punkte.

- Die Erreichung der 2050er Ziele, allein durch eine Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien auf Basis der vorhandenen Potenziale, erscheint vom jetzigen Standpunkt aus unrealistisch. Eine zusätzliche Senkung des Energiebedarfs scheint vor diesem Hintergrund unabdingbar.
- Es müssen weitere Potenziale identifiziert werden, um einen deutlich größeren Anteil klimaneutraler Technologien in die Energieversorgung integrieren zu können. Dazu gehören vor allem Freiflächen und Industriepartner, sowie eine flächendeckende Nutzung von geeigneten Dachflächen. Hierbei gilt es auch bürokratische und politische Barrieren zu überwinden (bspw. die Freigabe von Freiflächen zur (Doppel-)Nutzung mit Solaranlagen oder strengere Regelungen bei der Nutzung von erneuerbaren Energien bei jeglichen Neubauten).
- Eine laufende Überprüfung der Fortschritte in Bezug auf die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energieträgern, ein regelmäßiger Soll-Ist-Vergleich der THG-Emissionen auf Basis von Abbildung 46 und eine den Ergebnissen entsprechende, laufende Anpassung oder Neuausrichtung der Maßnahmen sind essentiell. Es wird empfohlen dies jährlich durch eine neu zu schaffende, zusätzliche Position eines Klimaschutzmanagers durchführen zu lassen.

Weiterhin ist der Sektor Verkehr mit einem Anteil von fast einem Drittel der Gesamt-THG-Emissionen ein wichtiges Gebiet, um großskalige Einsparungen zu erreichen. Es ist zu beachten, dass vorrausichtlich eine alleinige Senkung des Verbrauchs bzw. der THG-Emissionen pro gefahrenen Kilometer nicht ausreichen wird. Daher sollten auch Mobilitätskonzepte mit dem Ziel der Minimierung der überhaupt zustande kommenden, gefahrenen Kilometer diskutiert werden. Eine zentrale Rolle spielen dabei Änderungen im Bereich des öffentlichen Personen Nahverkehrs. Denkbar sind Konzepte mit autofreien Innenstadtbereichen und ein Angebot von öffentlichen Verkehrsmitteln, ausschließlich auf Basis erneuerbarer Energien (Wasserstoffbusse und -Züge, Nutzung von Ökostrom). Damit solche Konzepte funktionieren können, ist dabei darauf zu achten, dass die öffentlichen Verkehrsmittel für die Benutzer möglichst preiswert sein müssen und eine Taktfrequenzverdichtung, also häufigere Abfahrtszeiten, zwingend notwendig ist, um das Angebot möglichst attraktiv zu machen¹¹. Um die Elektromobilität im Individualverkehr voran zu bringen, ist vor allem das Problem der immer noch zu geringen

¹¹ In einer Übergangszeit muss dies höchstwahrscheinlich durch Zuschüsse der Stadt, des Landes oder des Bundes finanziert werden. Es ist jedoch wichtig, dass zuerst der Impuls für einen preiswerten ÖPNV mit hoher Taktfrequenz kommen muss, bevor mit steigenden Fahrgastzahlen gerechnet werden kann.

Anzahl an Ladesäulen und Wasserstofftankstellen zu lösen¹². Abbildung 46 zeigt den enormen Einfluss einer Halbierung der aktuellen THG-Emissionen durch den Sektor Verkehr bis zu dem Jahr 2035. Eine solche Entwicklung entspräche einer Senkung der gesamten THG-Emissionen um ca. 15,4 % auf noch ca. 4,9 t CO₂/(EW a) (Bezugsjahr 2017).

Abbildung 46 zeigt zudem, dass bei einer kontinuierlichen Umsetzung von Klimaschutz-Maßnahmen, der Annahme einer Steigerung der Energieeffizienz und der Sonnenstunden¹³ die genannten 2050er Ziele nicht unerreichbar sind. Eine Umsetzung der in diesem Bericht aufgezeigten Potenziale bis 2030 erscheint bei der zeitnahen Ergreifung entsprechender Maßnahmen machbar.

Bei den erneuerbaren Energien sind die größten Potenziale im Stadtgebiet im Bereich der Solarenergie zu finden (ca. 12-14 % Einsparpotenzial an THG-Emissionen, diese Zahl dürfte bei steigenden Wirkungsgrade der Kollektoren in den nächsten Jahren noch steigen, s. a. Fußnote 13). Diese gilt es schrittweise umzusetzen.

Auf der Seite der aktuellen Energiebereitstellung ist der große Anteil an genutzter Fernwärme in Chemnitz positiv hervorzustellen (ca. 25 % im Vergleich zum Bundesdurchschnitt von ca. 6 %). Dies ermöglicht, bei Umstellung bzw. schrittweiser Anpassung der Fernwärmeversorgung auf Basis erneuerbarer Energien, eine automatische Erschließung von vielen Haushalten. Das Fernwärmenetz sollte daher unbedingt weiter gepflegt und wenn möglich ausgebaut und mit Insellösungen, Quartierskonzepten und Nahwärmenetzen ergänzt werden.

Die Nutzung von Freiflächen muss laufend geprüft werden. Eine flächendeckende Nutzung mit Solaranlagen ist keine nachhaltige Lösung. Eine Doppelnutzung der Flächen beispielsweise durch Agro-PV Anlagen, Weideflächen zwischen den Modulreihen oder Naturschutzgebieten (Biotope, Kräuter- und Wildblumenwiesen) ist jedoch eine vielversprechende Möglichkeit dieser Problematik sinnvoll Beachtung zu schenken. Eine Vollversiegelung der für Solaranlagen genutzten Flächen ist vorteilhafterweise nicht notwendig. Dies bietet vielfältige Möglichkeiten zur Nutzung der Bodenflächen zwischen oder auch unter den Modulreihen. Studien zu Agro-PV berichten teilweise sogar von erhöhten Erträgen im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft [67].

Abschließend ist zu sagen, dass eine essentiell wichtige Möglichkeit der Öffentlichkeitsarbeit und der Erschließung vorhandener Potenziale durch die Durchführung von Projekten und die Anpassung entsprechender Verordnungen für Neubauten und Sanierungen von öffentlichen und kommunalen Einrichtungen der Stadt Chemnitz selbst gegeben ist. Das heißt, die Stadt Chemnitz und die eng angegliederten Unternehmen wie die eins energie in sachsen GmbH & Co. KG oder die CVAG Chemnitzer Verkehrs-AG sollten eine Vorbildrolle einnehmen und entsprechend progressive Projekte umsetzen und bspw. bei Neubauten oder Sanierungsarbeiten besonders hohe Anteile an erneuerbaren Energien verwirklichen. Auch bei Dienstgängen und -reisen kann die Stadt mit gutem Beispiel voran gehen und die Nutzung von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor nur in absoluten, begründbaren Ausnahmefällen erlauben. Durch eine Bereitstellung von Dienstfahrrädern, Jobtickets für den ÖPNV und einer Elektroauto-Flotte o. Ä. sind die meisten Eventualitäten abdeckbar und eine große Signalwirkung zu erreichen.

¹² Es erscheint wahrscheinlich, dass zuerst die Infrastruktur für Ladesäulen und Wasserstofftankstellen ausgebaut werden muss, bevor die breite Bevölkerung auf ein entsprechendes Auto umsteigt.

¹³ Bei einer Fortsetzung des aktuellen Klimatrends zu wärmeren Durchschnittstemperaturen und größeren Anzahlen von Sonnenstunden, ergeben sich höhere Erträge bei den Solaranlagen und gleichzeitig niedrige Heizbedarfe (v. a. in den Übergangsmonaten) und damit höhere solare Deckungsgrade [89].

8 Quellen

- [1] Link, G.; Krüger, C.; Rösler, C.; Bunzel, A.; Nagel, A; Sommer, B.; Hertle, H.; Dünnebeil, F.; Rechsteiner, E.; Gugel, B.; Kuhn, C; Jurisch, K.: Klimaschutz in Kommunen – Praxisleitfaden. Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH (Difu) (2018) – ISBN 978-3-88118-585-1
- [2] <https://ag-energiebilanzen.de/7-0-Bilanzen-1990-2017.html> (Version 24.06.2020)
- [3] <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energie-traeger-2017> (Version 11.10.2019)
- [4] Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2017. Umweltbundesamt (2019) – ISSN 1862-4359
- [5] https://ifu.brandenburg.de/media_fast/4055/emissionsfaktoren_co2_2017.pdf (Version 24.06.2020)
- [6] eins energie in sachsen GmbH & Co. KG (22.11.2019)
- [7] Förtsch, F.: Entwicklung methodischer Ansätze zur Aufstellung von detaillierten CO₂-Bilanzen für städtische Räume mit einer Fallstudie für das Stadtgebiet Chemnitz. Masterarbeit, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg (2015)
- [8] Stadt Chemnitz, Tiefbauamt, Abt. Verkehrsplanung, Analysestand 2019
- [9] German Informative Inventory Report. Umweltbundesamt (2019)
- [10] Register der Stadt Chemnitz (2017)
- [11] 4. Sachstandsbericht (AR4) des IPCC über Klimaänderungen (2007)
- [12] 5. Sachstandsbericht (AR5) des IPCC über Klimaänderungen (2014/2015)
- [13] <https://statistik.arbeitsagentur.de/Navigation/Statistik/Statistische-Analysen/Interaktive-Visualisierung/Pendleratlas/Pendleratlas-Nav.html> (Version: 12.02.2020)
- [14] Verkehr in Zahlen 2018/2019. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2018) – ISBN 978-3-00-061294-7
- [15] persönliche Mitteilungen, Informations- und Datenbereitstellung des Umweltamts Chemnitz im Zeitraum der Berichtserstellung (06.2019 – 06.2020)
- [16] Lagebericht für das Geschäftsjahr 2018. CVAG (2018)
- [17] <https://www.city-bahn.de/> (Version: 16.03.2020)
- [18] <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online> (Version: 16.03.2020)
- [19] Siedlungsabfallbilanz 2017. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (2018/2019)

- [20] Potentialanalyse für die Deponie Wittgensdorf, FKZ: 03K02842. (2016/2017)
- [21] Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2018 – Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2016. Umweltbundesamt (2018) – ISSN 1862-4359
- [22] <https://www.regionalstatistik.de/genesis/online/logon> (Version: 16.03.2020)
- [23] Poppitz, W.; Schreyer, M.; Schreiber, U.: Anlagenbestand und Emissionen von Kleinfeuerungsanlagen in Sachsen. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (2019), Dresden
- [24] Statistischer Bericht – Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung im Freistaat Sachsen – Wassereigenversorgung und Abwassereigenversorgung privater Haushalte 2016. Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (2018) – ISSN 2195-4089
- [25] Energieerzeugung aus Abfällen, Text 51/2018. Umweltbundesamt (2018)
- [26] Umwelt – Abfallentsorgung 2017, Fachserie 19, Reihe 1. Statistisches Bundesamt (2019)
- [27] Mauch, W.; Corrdini, R.; Wiesenmeyer, K.; Schwentzek, M.: Allokationsmethoden für spezifische CO₂-Emissionen von Strom und Wärme aus KWK-Anlagen. Energiewirtschaftliche Tagesfragen 55.Jg. (2010) Heft 9
- [28] Die Nutzung von Exergieströmen in kommunalen Strom-Wärme-Systemen zur Erreichung der CO₂-Neutralität von Kommunen bis zum Jahr 2050. Bundesministerium für Umwelt, Natur-schutz und nukleare Sicherheit (2014)
- [29] Klimarelevante Maßnahmen der Abfallwirtschaft, Heft 3/2013. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) (2013)
- [30] Optionen für Biogas-Bestandsanlagen bis 2030 aus ökonomischer und energiewirtschaftlicher Sicht, Text 24/2020. Umweltbundesamt (2020)
- [31] Seifert, M.: persönliche Nachricht. eins energie in sachsen GmbH & Co. KG (19.11.2019)
- [32] CO₂-Bilanzen verschiedener Energieträger im Vergleich - Zur Klimafreundlichkeit von fossilen Energien, Kernenergie und erneuerbaren Energien. Deutscher Bundestag (2007)
- [33] Merkblatt zu den CO₂-Faktoren - Energieeffizienz in der Wirtschaft – Zuschuss und Kredit. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (2019)
- [34] Dokumentation Solarpotenzialanalyse und Bereitstellung einer Software + web-site für die Stadt Chemnitz. IP SYSCON GmbH (2015)
- [35] Windpotenzialstudie Sachsen - Modellierung eines Windfeldes im komplexen Gelände des Freistaates Sachsen. Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (2017)
- [36] Regionales Windenergiekonzept – Regionalplan Region Chemnitz. Planungsverband Region Chemnitz (2015)

- [37] Handlungsleitfaden über die Berechnung der Ertragsprognosen für Windkraftanlagen. Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (2015)
- [38] Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (März 2018)
- [39] <https://www.geologie.sachsen.de/geothermische-karte-13914.html> (Version 17.03.2020)
- [40] http://www.saena.de/angebote/abwaermeatlas.html?appurl=categorie_abwa/detail/id:1411 (Version 17.03.2020)
- [41] http://www.saena.de/angebote/abwaermeatlas.html?appurl=categorie_abwa/detail/id:1377 (Version 17.03.2020)
- [42] <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/heizen-mit-waermepumpe-ist-klimafreundlich-wenn-die-bedingungen-stimmen-5439> (Version 17.03.2020)
- [43] <https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/c/cop-wert.html> (Version 17.03.2020)
- [44] Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks. Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (2018)
- [45] Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung im Freistaat Sachsen 2016. Statistisches Landesamt (2018)
- [46] Kommunale Abwässer als Potenzial für die Wärmewende, Kurzstudie. Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu) im Auftrag des Bundesumweltministeriums (2018)
- [47] Öffentliche Wasserversorgung und öffentliche Abwasserentsorgung 2016, Fachserie 19, Reihe 2.1.3. Statistisches Bundesamt (2018)
- [48] Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserentsorgung im Freistaat Sachsen 2013. Statistisches Landesamt (2015)
- [49] Fortschreibung Abwasserbeseitigungskonzept 2009–2015. Entsorgungsbetrieb der Stadt Chemnitz (2008)
- [50] Anlagenbestand des Entsorgungsbetrieb der Stadt Chemnitz, technische Daten 2018. http://www.esc-chemnitz.de/wir_technische_daten.htm (Version: 22.03.2020)
- [51] Energie aus Kanalabwasser - Leitfaden für Ingenieure und Planer. Deutsche Bundesstiftung Umwelt (2005)
- [52] Energieeffizienz in Zahlen – Entwicklungen und Trends in Deutschland 2019. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019)
- [53] Energetische Einsparpotentiale und wirtschaftliche Bewertung des hydraulischen Abgleiches für Anlagen der Gebäudeenergie-technik. ITG Dresden (2018)
- [54] Abschlussbericht Hydraulischer Abgleich. Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Institut für Energieoptimierte Systeme, Labor für Heizungstechnik (2014)

- [55] Rebound-Effekte – Empirische Ergebnisse und Handlungsstrategien. Umweltbundesamt (2016)
- [56] Semmling, E.; Peters, A.; Marth, H.; Kahlenborn, W.; de Haan, P.: Rebound-Effekte: Wie können sie effektiv begrenzt werden?. Umweltbundesamt (2016) – ISSN 2363-832X
- [57] <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rebound-effekte-ihre-bedeutung-fuer-die> (Version: 24.06.2020)
- [58] <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/rebound-effekte> (Version: 24.06.2020)
- [59] Eschment, J.: Der Rebound-Effekt: Störendes Phänomen bei der Steigerung der Energieeffizienz. Deutscher Bundestag. Berlin (2014)
- [60] <https://www.ptx-allianz.de> (Version: 17.03.2020)
- [61] [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/F%C3%B6rderprodukte/Energieeffizient-Bauen-und-Sanieren-Zuschuss-Brennstoffzelle-\(433\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilie/F%C3%B6rderprodukte/Energieeffizient-Bauen-und-Sanieren-Zuschuss-Brennstoffzelle-(433)/) (Version: 17.03.2020)
- [62] Erarbeitung einer fachlichen Strategie zur Energieversorgung des Verkehrs bis zum Jahr 2050 – Endbericht. Umweltbundesamt (2016) – ISSN 1862-4804
- [63] eMobil 2050 Szenarien zum möglichen Beitrag des elektrischen Verkehrs zum langfristigen Klimaschutz. Öko-Institut e.V. (2014)
- [64] Mönning, A.; Schneemann, C.; Weber, E.; Zika, G.; Helmrich, R.: Elektromobilität 2035 Effekte auf Wirtschaft und Erwerbstätigkeit durch die Elektrifizierung des Antriebsstrangs von Personenkraftwagen. Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (2018) – ISSN 2195-2655
- [65] Energiepolitisches Arbeitsprogramm für die Stadt Chemnitz 2017 bis 2020. Stadt Chemnitz (2017)
- [66] Ackermann, C.: Nutzung großer Kollektorfelder in Fernwärmesystemen. Masterarbeit an der TU Chemnitz, Professur Technische Thermodynamik (2020)
- [67] <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2019/agro-photovoltaik-hohe-ernteertraege-im-hitzesommer.html> (Version: 17.03.2020)
- [68] <https://www.pv-magazine.e/2018/02/23/mehrertrag-bei-bifazialen-modulen-haengt-nicht-nur-vom-hersteller-ab/> (Version: 17.03.2020)
- [69] <https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2017/sonnernten-auf-zwei-etagen-agrophotovoltaik-steigert-landnutzungseffizienz-um-ueber-60-prozent.html> (Version: 17.03.2020)
- [70] Wirth, H.: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE (2020)
- [71] <https://www.google.com/maps/> (Version: 12.02.2020)
- [72] <http://www.agrophotovoltaik.de/machbarkeit/wirtschaftlichkeit/> (Version: 17.03.2020)

- [73] Kost, C.; Shammugam, S.; Jülch, V.; Nguyen, H.; Schlegl, T.: Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE (2018)
- [74] Marktdatenstammregister. Bundesnetzagentur (2020)
- [75] https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Heizungsoptimierung/heizungsoptimierung_node.html (Version: 17.03.2020)
- [76] https://www.toyota.de/automobile/mirai/?gclid=EAlaIqobChMlpP3iuc2S6A-IVmJ3VCh3tqw5DEAAYASAAEgJrDvD_BwE&gclid=aw.ds (Version: 17.03.2020)
- [77] https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-48893-5_12.pdf (Version: 17.03.2020)
- [78] https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7058/file/7058_Power-to-gas.pdf (Version: 17.03.2020)
- [79] https://www.energetage.de/fileadmin/user_upload/2019/Vortraege/4.02_Smolinka_Dick-schas_Wasserelektrolyse.pdf (Version: 17.03.2020)
- [80] <https://cleanenergypartnership.de/faq/wasserstoffproduktion-und-speicherung/?scroll=true> (Version: 17.03.2020)
- [81] <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/wasserstoffauto-brennstoffzelle-co2-neutral-batterie-lithium/> (Version: 17.03.2020)
- [82] <https://www.adac.de/der-adac/motorwelt/reportagen-berichte/auto-innovation/brennstoffzellenauto-toyota-mirai/> (Version: 17.03.2020)
- [83] <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/marken-modelle/hyundai/hyundai-nexo> (Version: 17.03.2020)
- [84] <https://www.autoservicepraxis.de/nachrichten/kfz-werkstatt/ps-union-erste-wasserstoff-tankstelle-in-einem-autohaus-2492827> (Version: 17.03.2020)
- [85] <https://www.br.de/nachrichten/deutschland-welt/wasserstofftankstellen-ermoeglichen-mobilitaet-der-zukunft,RNK2y0o> (Version: 17.03.2020)
- [86] Huhn, R.; Baake, M.; Hebing, J.; Ohm, D.; Schüffler, M.: Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept für die Stadt Leipzig – Analyse und Handlungsempfehlungen Phase 4 – Maßnahmenkatalog, Umsetzungsstrategien, Empfehlungen für die Öffentlichkeitsarbeit. Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz. Dresden (2011)
- [87] <https://www.kreiszeitung.de/lokales/diepholz/stuhr-ort52271/neue-wasserstoff-tankstelle-stuhr-eingeweiht-derzeit-jedoch-kaum-bedarf-10201225.html> (Version: 17.03.2020)
- [88] <https://www.stuttgarter-nachrichten.de/inhalt.wasserstofftankstelle-in-wendlingen-voller-tank-in-drei-minuten.96f1b456-d1b0-41e8-abc3-2a6b9202ceb2.html> (Version: 17.03.2020)
- [89] <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/trends-der-lufttemperatur#auswirkungen-auf-die-tier-und-pflanzenwelt> (Version: 16.06.2020)