

KrefeldKlimaNeutral 2035

Teil B: Erläuterungsbericht

Auftraggeberin:

Stadt Krefeld
Geschäftsbereich VI – Stabsstelle Klimaschutz und Nachhaltigkeit
Von-der-Leyen-Platz 1
47798 Krefeld

Bietergemeinschaft:

einsfünf Beratungsgesellschaft mbH
Kaiser-Wilhelm-Ring 1
40545 Düsseldorf
Fon +49 (0) 211 598961-10
info@einsfuenf.de
www.einsfuenf.de

Dipl.-Ing., M.Sc. Andre Wilk
B.Sc. Juliana Hautz
Dipl.- Ing. Adem Aslan

In Unterauftrag:

INFRASTRUKTUR & UMWELT
Professor Böhm und Partner
Julius-Reiber-Straße 17
D-64293 Darmstadt
Fon +49 (0) 61 51 / 81 30-0
Fax +49 (0) 61 51 / 81 30-20
mail@iu-info.de

DREES & SOMMER SE

Bundesallee 39-40a
D-10717 Berlin
Fon +49 (0) 30 / 2543940
info.berlin@dreso.com

Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Gräff
M.Eng. Benjamin Malke
B.Eng. Niko Leutbecher

Dipl.-Ing. Stephan Breker-Isa

Inhalt

Inhalt	III
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1. Energie- und Treibhausgasbilanz.....	1
1.1. Bilanzierungsgrenzen.....	1
1.2. Datengrundlagen und Methodik	3
1.3. Entwicklung des Energieverbrauchs (Gesamtstadt)	8
1.4. Fokusbetrachtung: Energieverbrauch des Stadtkonzerns für die Jahre 2018-2020.....	14
1.5. Bereitstellung aus erneuerbaren Energien und Kraft-Wärmekopplung.....	20
1.6. THG-Bilanz für die Stadt Krefeld	21
1.7. Exkurs: Controlling der in KrefeldKlima 2030 definierten Ziele für die Jahre 2021 und 2022.....	27
2. Wärmewende (Fokusbetrachtung)	28
2.1. Grundlagen	28
2.2. Ausgangslage und Energieverbrauch	30
2.3. Potenziale	35
2.4. Szenarien der Wärmewende	47
2.5. Umsetzungsstrategie	66
3. Mobilitätswende.....	69
3.1. Ausgangslage	69
3.2. Energieverbrauch und THG-Emissionen	70
3.3. Potenziale	72
3.4. Szenarien zur Mobilitätswende.....	74
4. Stromwende	75
4.1. Ausgangslage und aktueller Beitrag der Erzeugung in Krefeld zur Deckung des Stromverbrauchs....	75
4.2. Potenziale	77
4.3. Szenarien zur Stromwende.....	86
5. Szenarienbetrachtung: Szenarien für das Zieljahr 2045 und Zielszenarien „THG-Neutralität bis 2035“	89
5.1. Annahmen zu den Szenarien	89
5.2. Entwicklung des Endenergieverbrauchs.....	91
5.3. Entwicklung der klimaschonenden Stromerzeugung	98
5.4. Entwicklung der THG-Emissionen.....	100
6. Quellenverzeichnis	107

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	„Treibhausgasneutralität in Kommunen“. Quelle: UBA Factsheet (2021).....	2
Abbildung 2	Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen. Quelle: LANUV (2019).	2
Abbildung 3	Territorialprinzip und nicht mehr angewandtes Verursacherprinzip	6
Abbildung 4	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern ohne ETS-pflichtige Betriebe.....	8
Abbildung 5	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern inkl. ETS-pflichtige Betriebe	9
Abbildung 6	Vorläufige Anteile der Endenergieträger im Jahr 2022 ohne ETS-pflichtige Betriebe.....	9
Abbildung 7	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungszweck ohne ETS-pflichtige Betriebe	10
Abbildung 8	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungszweck inkl. ETS-pflichtige Betriebe	11
Abbildung 9	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Verbrauchssektor ohne ETS-pflichtige Betriebe	11
Abbildung 10	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Verbrauchssektoren inkl. ETS-pflichtige Betriebe	12
Abbildung 11	Entwicklung des Energieverbrauchs im Stadtkonzern (Strom, Wärme, Mobilität), bereinigt.....	15
Abbildung 12	Entwicklung des Energieverbrauchs im Stadtkonzern (Verwaltung, Betriebe, Gesellschaften), bereinigt.....	16
Abbildung 13	Entwicklung des Energieverbrauchs der Stadtverwaltung	16
Abbildung 14	Entwicklung des Energieverbrauchs der Betriebe, bereinigt.....	17
Abbildung 15	Entwicklung des Energieverbrauchs der Gesellschaften, bereinigt.....	17
Abbildung 16	Entwicklung der THG-Emissionen im Stadtkonzern (Strom, Wärme, Mobilität), bereinigt	18
Abbildung 17	Entwicklung der THG-Emissionen im Stadtkonzern (Verwaltung, Betriebe, Gesellschaften), bereinigt.....	18
Abbildung 18	Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung	19
Abbildung 19	Entwicklung der THG-Emissionen der Betriebe, bereinigt	19
Abbildung 20	Entwicklung der THG-Emissionen der Gesellschaften, bereinigt.....	19
Abbildung 21	Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK, Krefeld 2022 (Bilanzieller Deckungsgrad ohne ETS-pflichtige Betriebe).....	20
Abbildung 22	Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld für die Jahre 2010 bis 2022 nach Energieträgern, ohne ETS-pflichtige Betriebe	21
Abbildung 23	Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld für die Jahre 2017 bis 2022 nach Energieträgern, inkl. ETS-pflichtige Betriebe	23
Abbildung 24	vorläufige THG-Emissionen in Krefeld im Jahr 2022 anteilig nach Energieträgern, ohne ETS-pflichtige Betriebe	23
Abbildung 25	Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld 2010 bis 2022 nach Anwendungszwecken, ohne ETS-pflichtige Betriebe	24
Abbildung 26	Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld von 2010 bis 2022 anteilig nach Verbrauchssektoren, ohne ETS-pflichtige Betriebe	25
Abbildung 27	Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld von 2017 bis 2022 anteilig nach Verbrauchssektoren, inkl. ETS-pflichtige Betriebe	25
Abbildung 28	Entwicklung der einwohnerspezifischen THG-Emissionen in Krefeld aufgeteilt nach Energieträgern von 2010 bis 202, ohne ETS-pflichtige Betriebe	26
Abbildung 29	Statische Bezirk der Stadt Krefeld.....	29
Abbildung 30	Energiemix Wärme im Status-Quo 2020 (inkl. ETS-pflichtiger Betriebe)	30
Abbildung 31	Energiemix Wärme im Status-Quo 2020 (ohne ETS-pflichtige Betriebe)	31
Abbildung 32	Anteile Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme am Endenergieverbrauch je Sektor, 2020.....	32
Abbildung 33	Wärmeverbrauch je m ² Nutzfläche der Bestandsgebäude im Stadtgebiet Krefeld	33
Abbildung 34	THG-Emissionen für die Wärmeerzeugung in der Stadt Krefeld je Sektor nach Energieträger, 2020 (ohne ETS-pflichtige Betriebe)	34

Abbildung 35	Spezifischer Wärmebedarf bei einer Stufenweisen Sanierung eines beispielhaften MFH (1938-1961)	36
Abbildung 36	THG-Emissionen der Wärmeversorgung bei einer Stufenweisen Sanierung eines beispielhaften MFH (1938-1961)	36
Abbildung 37	ZIEL-Szenario „all-electric“: THG-Minderung Industrie (nicht-ETS-pflichtige Betriebe) bis 2035	37
Abbildung 38	ZIEL-Szenario „grüner H ₂ “: THG-Minderung Industrie (nicht-ETS-pflichtige Betriebe) bis 2035	38
Abbildung 39	Wasser- und Heilquellenschutzgebiete in der Stadt Krefeld	39
Abbildung 40	Auszug aus dem Abwärmekataster LANUV NRW [LANUV 2019]	41
Abbildung 41	Wärmedichten je Baublock in Krefeld	42
Abbildung 42	Szenario A zur Entwicklung der Fernwärme gemäß Gutachten DatWK	43
Abbildung 43	Entwicklung THG-Emissionsfaktoren Fernwärme nach Carnot-Methode (BISKO konform) gemäß Gutachten DatWK	44
Abbildung 44	Gebiete mit besonderer Eignung für den Einsatz von Fernwärme in der Stadt Krefeld	45
Abbildung 45	Ausbauplan von Verbindungsleitungen für H ₂ ercules	46
Abbildung 46	Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Energieträgermixes für Wärme – TREND-Szenario	49
Abbildung 47	Wärmewende-TREND-Szenario: THG-Minderung Haushalte bis 2035	50
Abbildung 48	Wärmewende-TREND-Szenario: THG-Minderung Industrie bis 2035	50
Abbildung 49	Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Energieträgermixes für Wärme – BASIS-Szenario	52
Abbildung 50	Wärmewende-BASIS-Szenario: THG-Minderung Haushalte bis 2035	53
Abbildung 51	Wärmewende-BASIS-Szenario: THG-Minderung Industrie bis 2035	53
Abbildung 52	Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Energieträgermixes für Wärme – ZIEL-Szenario „all-electric“	56
Abbildung 53	Energieträgermix 2035 für Haushalte im Wärmewende-ZIEL-Szenario „all-electric“	57
Abbildung 54	Wärmewende-ZIEL-Szenario „all-electric“: THG-Minderung Haushalte bis 2035	57
Abbildung 55	Energiemix 2035 für Industrie (nicht ETS-pflichtig) im Wärmewende-ZIEL-Szenario „all-electric“	58
Abbildung 56	Wärmewende-ZIEL-Szenario „all-electric“: THG-Minderung Industrie (nicht ETS-pflichtig) bis 2035	58
Abbildung 57	Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Energieträgermixes für Wärme – ZIEL-Szenario „grüner Wasserstoff“	60
Abbildung 58	Energiemix 2035 für Haushalte im Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H ₂ “	61
Abbildung 59	Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H ₂ “: THG-Minderung Haushalte bis 2035	61
Abbildung 60	Energiemix 2035 für Industrie (nicht ETS-pflichtig) im Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H ₂ “	62
Abbildung 61	Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H ₂ “: THG-Minderung Industrie (nicht ETS-pflichtig) bis 2035	62
Abbildung 62	Reduktionspfade der Wärmewende je Szenario	64
Abbildung 63	Handlungsoptionen und deren Rangfolge für die Wärmewende in Krefeld (Gebäudesektor)	66
Abbildung 64	Handlungsoptionen und deren Rangfolge für die Wärmewende in Krefeld (Industrie)	67
Abbildung 65	Vergleich des Energieträgermixes in den ZIEL-Szenarien je Gebiet der Stadt Krefeld	67
Abbildung 66	Modal-Split der Verkehrsleistung in Krefeld und in Deutschland im Vergleich (Mobilität 2017, MID 2017)	70
Abbildung 67	Übersicht Konzepte im Bereich Mobilität	70
Abbildung 68	Energiebilanz im Bereich Mobilität	71
Abbildung 69	Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld	72
Abbildung 70	Entwicklung des Energieverbrauch in den Szenarien im Bereich Mobilität	74
Abbildung 71	Entwicklung des Stromverbrauchs zur Straßenbeleuchtung in der Stadt Krefeld (KBK 2019)	80
Abbildung 72	Entwicklung des Stromverbrauchs der Straßenbeleuchtung in Krefeld (Netzbetreiber 2022)	80
Abbildung 73	Stromverbrauch des Stadtkonzerns	81

Abbildung 74	Entwicklung des Stromverbrauchs in den Szenarien in der Stadt Krefeld unter Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums, ohne ETS-pflichtige Betriebe und ohne zusätzlichen Stromverbrauch durch Sektorenkopplung.....	87
Abbildung 75	Entwicklung der Erneuerbaren Energien und KWK in den Szenarien.....	88
Abbildung 76	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungszwecken im TREND-Szenario, ohne ETS-pflichtige Betriebe	91
Abbildung 77	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im TREND-Szenario, ohne ETS-pflichtige Betriebe	92
Abbildung 78	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungen im BASIS-Szenario, ohne ETS-pflichtige Betriebe	93
Abbildung 79	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im BASIS-Szenario, ohne ETS-pflichtige Betriebe	94
Abbildung 80	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungen bis 2035 im ZIEL-Szenario „all-electric“, ohne ETS-pflichtige Betriebe	95
Abbildung 81	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im ZIEL-Szenario „all electric“, ohne ETS-pflichtige Betriebe	96
Abbildung 82	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungen bis 2035 im ZIEL-Szenario „grüner H ₂ “, ohne ETS-pflichtige Betriebe.....	97
Abbildung 83	Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im ZIEL-Szenario „grüner Wasserstoff“, ohne ETS-pflichtige Betriebe.....	98
Abbildung 84	Entwicklung Strom aus Erneuerbaren Energien und KWK in Krefeld – ZIEL-Szenario	99
Abbildung 85	Wasserfall TREND-Szenario Zieljahr 2045.....	100
Abbildung 86	Wasserfall BASIS-Szenario Zieljahr 2045	101
Abbildung 87	Wasserfall ZIEL-Szenario „grüner H ₂ “ Zieljahr 2035	102
Abbildung 88	Wasserfall ZIEL-Szenario „all-electric“ Zieljahr 2035	103
Abbildung 89	Die Stadt Krefeld auf dem Weg zur THG-Neutralität (bundesweiter Strommix).....	104
Abbildung 90	THG- Vermeidung durch Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Reststoffe	106

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	spezifische THG-Faktoren aus dem Bilanzierungstool EcoRegion von 2010-2022	7
Tabelle 2	spezifische Verbrauchsdaten in [kWh/Einwohner] der Stadt Krefeld im Vergleich zum Bundesdurchschnitt.....	13
Tabelle 3	Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Stadtkonzern in MWh/a	15
Tabelle 4	Entwicklung der THG-Emissionen im Stadtkonzern in t CO _{2eq} /a	17
Tabelle 5	Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld für die Jahre 2010 bis 2022 nach Energieträgern, ohne ETS-pflichtige Betriebe	22
Tabelle 6	Gegenüberstellung der Zielerreichung, aktuelle angepasste Datenlage	27
Tabelle 7	Energiemix Wärme im Status-Quo 2020 (ohne ETS-pflichtige Betriebe)	31
Tabelle 8	Durchschnittlicher spezifischer Wärmeverbrauch des Gebäudebestand in Krefeld nach Nutzergruppen.....	34
Tabelle 9	Einschätzung der Eignung zur Errichtung von Wärmenetzen anhand von Wärmedichten.....	42
Tabelle 10	Annahmen zu den Szenarien im Wärmebereich	48
Tabelle 11	THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld im Wärmewende-TREND-Szenario	51
Tabelle 12	THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld im Wärmewende-BASIS-Szenario	54
Tabelle 13	THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld im Wärmewende-ZIEL-Szenario „all electric“	59
Tabelle 14	THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld im Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H ₂ “	63
Tabelle 15	Fahrtleistung des Verkehrs in der Stadt Krefeld in 2017 und 2020 (EcoRegion, MID 2017, SWK AG).....	69
Tabelle 16	Mobilitätswende-Potenziale.....	73
Tabelle 17	Aufstellung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und KWK, Stromverbrauch und bilanziellen Deckungsgrad	76
Tabelle 18	Einsparpotenzial Stromverbrauch private Haushalte	77
Tabelle 19	Reduktionspotenziale beim Stromverbrauch im Bereich Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistung, ohne ETS-pflichtige-Betriebe	79
Tabelle 20	Annahmen für Balkonkraftwerke	83
Tabelle 21	Zusammenfassung: Potenziale der klimaschonenden Stromerzeugung in Krefeld.....	86
Tabelle 22	Annahmen zur Entwicklung des Energieverbrauchs in den Szenarien	89
Tabelle 23	Annahmen zur Entwicklung der Nutzung Erneuerbarer Energien und KWK zur Stromproduktion in den Szenarien.....	90
Tabelle 24	Entwicklung THG- Emissionen in Tonnen CO _{2 eq} für die ZIEL 2035-Szenarien	105
Tabelle 25	Entwicklung THG- Emissionen in Tonnen CO _{2 eq} für TREND- und BASIS-Szenario.....	105
Tabelle 26	THG-Reduktionen der Szenarien gegenüber 1990 für die ZIEL 2035-Szenarien.....	105
Tabelle 27	THG-Reduktionen der Szenarien gegenüber 1990 für TREND- und BASIS-Szenario	105

Abkürzungsverzeichnis

BAB / B	Bundesautobahn / Bundesstraße
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BAV	Bundesanstalt für Verwaltungsdienstleistungen
BEG	Bundesförderung für effiziente Gebäude
BEW	Bundesförderungen Effiziente Wärmenetze
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
CO ₂	Kohlendioxid
CO _{2eq}	CO ₂ -Äquivalent; Maß für das Treibhauspotenzial eines Stoffes oder die klimaschädliche Wirkung einer Aktivität
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
dena	Deutsche Energieagentur
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EGK	Entsorgungsgesellschaft Krefeld mbH Co. KG
EMoG	Elektromobilitätsgesetz
EW	Einwohner:in
GEG	Gebäudeenergiegesetz
GGK	Grundstücksgesellschaft der Stadt Krefeld mbH & Co KG
GHD	Gewerbe, Handel, Dienstleistungen
GSAK	Gesellschaft für Stadtreinigung und Abfallwirtschaft Krefeld mbH
GWh/a	Gigawattstunde pro Jahr
KBK	Kommunalbetrieb Krefeld AöR
KEA-BW	KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH
KEP	Kurier -, Express- und Paketdienstleistungen
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
Klimabündnis	Klima-Bündnis europäischer Städte mit den indigenen Völkern der Regenwälder zum Erhalt der Erdatmosphäre e.V.
kWh	Kilowattstunde
kWh/m ² a	Kilowattstunde pro Quadratmeter und Jahr
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Life Cycle Assessment / Life Cycle Analysis (Lebenszyklusanalyse)
LKW	Lastkraftwagen und Sattelzugmaschinen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LSA	Lichtsignalanlage
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MWh	Megawattstunde (=1.000 Kilowattstunden)
MWh/a	Megawattstunde pro Jahr
MW _{peak}	Installierte Leistung von PV-Anlagen (unter Standard-Testbedingungen)
NGN	NETZGESELLSCHAFT NIEDERRHEIN MBH
NVP	Nahverkehrsplan
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkw	Personenkraftwagen
PV	Photovoltaik (direkte Stromerzeugung aus Sonnenenergie)
STINA	Steuerungsgruppe nachhaltige und klimaneutrale Verwaltung
t/a	Tonnen pro Jahr
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
VRR	Verkehrsverbund Rhein-Ruhr
WDI	Dezernat für Wirtschaft, Digitalisierung und Internationales
WfG	Wirtschaftsförderungsgesellschaft Krefeld mbH,  Wirtschaftsförderungsgesellschaft Krefeld mbH
ZGM	Zentrales Gebäudemanagement

1. Energie- und Treibhausgasbilanz

1.1. Bilanzierungsgrenzen

Wie wird Krefeld „klimaneutral“? Um die Frage nach der Klimaneutralität zu beantworten ist es zunächst wichtig, Klimaneutralität zu definieren. Dazu gibt das Umweltbundesamt (UBA) folgende Definition:

*„**Klimaneutralität** ist ein Zustand, bei dem menschliche Aktivitäten im Ergebnis keine Nettoeffekte auf das Klimasystem haben. Diese Aktivitäten beinhalten klimawirksame Emissionen, Maßnahmen, die darauf abzielen, dem atmosphärischen Kreislauf Treibhausgase zu entziehen sowie durch den Menschen verursachte Aktivitäten, die regionale oder lokale biogeophysische Effekte haben (z.B. Änderung der Oberflächenalbedo).*

*Die **Treibhausgasneutralität** bedeutet hingegen eine Netto-Null der Treibhausgasemissionen. Dementsprechend erfordert das Ziel der Klimaneutralität eine andere und ambitioniertere Politik als das Ziel der Treibhausgasneutralität, da neben den Treibhausgasemissionen auch alle anderen Effekte des menschlichen Handels auf das Klima berücksichtigt werden müssen, z.B. Flächenversiegelungen durch Straßen und Siedlungen. In der kommunalen Praxis werden beide Begriffe teils synonym genutzt.“ (UBA 2021)*

Im Folgenden wird nicht der Begriff "Klimaneutralität", sondern der Begriff „Treibhausgasneutralität“ (kurz: THG-Neutralität) weiterverwendet. In der kommunalen Treibhausgasbilanzierung werden alle relevanten Emissionen erfasst, die durch den Verbrauch von Energie emittiert werden. Demzufolge reden wir von einer Treibhausgasneutralität.

Fokussierung auf „energiebedingte Treibhausgasemissionen“

- Unter Anwendung des BSKO-Standards¹ ist eine Kommune im Bereich der energiebedingten Treibhausgasemissionen treibhausgasneutral, wenn die BSKO-konforme Treibhausgasbilanz Netto-Null Treibhausgasemissionen aufweist.
- Um die vollständige Treibhausgasneutralität zu erreichen, wären auch „nichtenergetische Emissionen“ in der Industrie, Landwirtschaft sowie der Abwasser- und Abfallwirtschaft zu berücksichtigen. Diese tragen insgesamt wenig zur Emissionsbilanz bei und können nur näherungsweise quantifiziert werden, siehe dazu auch Abbildung 1.

¹ Der BSKO-Standard ist eine Bilanzierungsmethode, die vom IFEU Institut mitentwickelt wurde und aktuell in der bundesweit verbreiteten Software „EcoSpeed Region“ sowie dem Bilanzierungstool des Klima-Bündnisses verwendet wird, um kommunale Treibhausgasbilanzen zu erstellen.

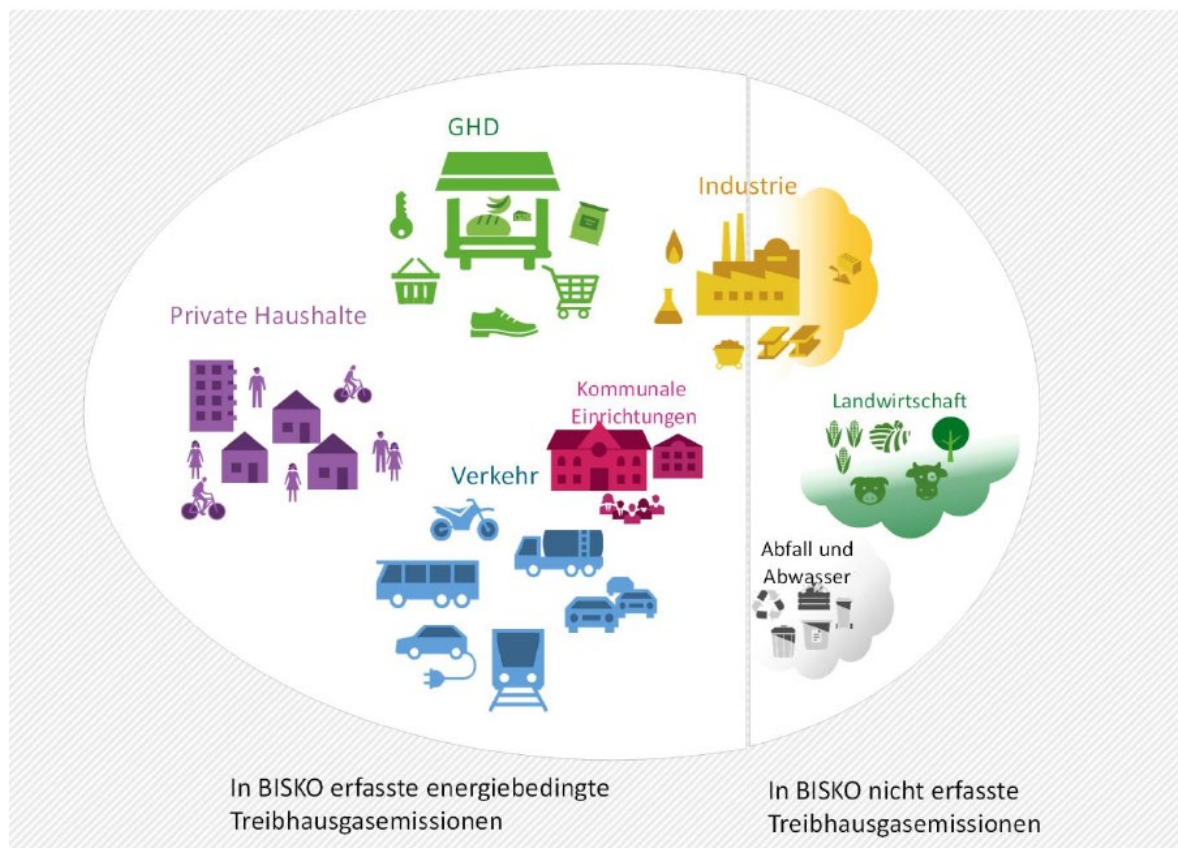


Abbildung 1 „Treibhausgasneutralität in Kommunen“. Quelle: UBA Factsheet (2021).

In Abbildung 2 wird das Treibhausgas-Emissionsinventar von Nordrhein-Westfalen für das Jahr 2019 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Energiewirtschaft mit über 40 % den größten Anteil an den Treibhausgasemissionen einnimmt. Knapp 6 % der aufgeführten Emissionen sind nicht energiebedingte Emissionen und daher in der Bilanzierung vernachlässigbar.

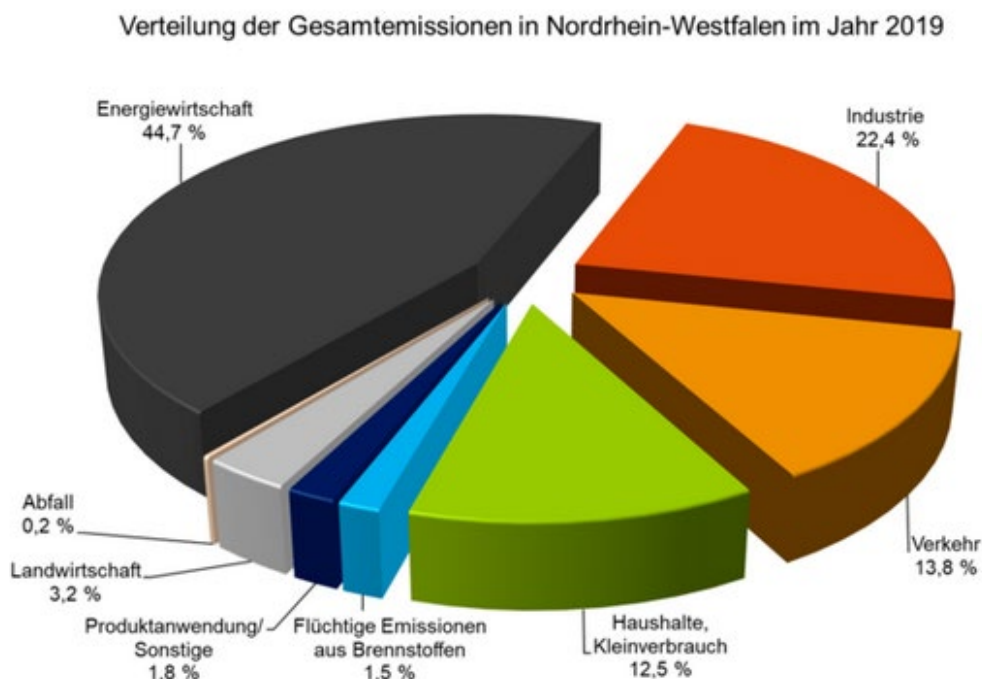


Abbildung 2 Treibhausgas-Emissionsinventar Nordrhein-Westfalen. Quelle: LANUV (2019).

1.2. Datengrundlagen und Methodik

Allgemeine Hinweise

Grundlage für alle weiteren Analysen des Gutachtens ist eine Energie- und THG-Bilanz. Sie stellt die aktuellen Energieverbräuche und die daraus resultierenden THG-Emissionen sowie die Entwicklung der letzten Jahre dar.

Wie auch im integrierten Klimaschutzkonzept „KrefeldKlima 2030“ wurde für die Jahre bis incl. 2016 eine „einfache“ Bilanzierung mit Hilfe der im verwendeten Bilanzierungstool hinterlegten Daten erstellt (Startbilanz).

In einem ersten Schritt wurde die im Rahmen von KrefeldKlima erstellte Feinbilanz für 2017 für die Jahre 2018 bis 2020 fortgeschrieben. Vereinbarungsgemäß wurde die Feinbilanz für das Jahr 2017 gegenüber dem Gutachten KrefeldKlima2030 noch einmal angepasst, um einheitliche Bilanzgrenzen zu erhalten (weitere Erläuterungen s.u.). Die Energie- und THG-Bilanz wurde in einem zweiten Schritt für die Jahre 2021 und 2022 im Rahmen einer Nachbeauftragung fortgeschrieben. Die Werte für 2022 sind (insbesondere bezogen auf den Mobilitätsbereich) vorläufige Daten, die sich noch verändern können.

Das Jahr 2020 war zum Zeitpunkt der Potenzialermittlung und der Erarbeitung der Szenarien das Jahr mit der aktuellen, vollständigen Datenbasis. Daher werden für die Potenziale und Szenarien das Jahr 2020 als Basisjahr genutzt.

Allgemeine Datengrundlage

Die Bilanz wurde mit dem Bilanzierungstool EcoRegion der Firma EcoSpeed (www.ecospeed.ch) angelegt. In EcoRegion sind bereits die folgenden Strukturdaten hinterlegt:

- Einwohnendenzahlen
- Beschäftigtenzahlen
- Fahrtleistungen für den Verkehrssektor

Für die Feinbilanzierung (2018 bis 2022) wurden darüber hinaus u.a. folgende Echtdateien eingepflegt:

- Daten der Netzbetreiber zum Strom-, Erdgas- und Fernwärmeverbrauch, aufgeteilt nach Verbrauchergruppen, sowie zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien
- Daten zu Anlagen zur Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien (BAFA)
- Schornsteinfegerdaten
- Daten der Linienbusse und der Straßenbahn
- Weitere statistische Daten (IT.NRW, Daten der Stadt Krefeld etc.)

Daten zu Emissionshandelsbetrieben (ETS-pflichtige Betriebe)

In Krefeld sind mehrere Betriebe ansässig, die gemäß den gesetzlichen Vorgaben verpflichtet sind, am europäischen Handel mit Emissionszertifikaten (European Trade System; kurz ETS) teilzunehmen (UBA DEHST 2021). Diese „ETS-pflichtigen Betriebe“ werden nachrichtlich in der Bilanz erwähnt und dargestellt. Für die Potenzialbetrachtung werden die Emissionshandelsbetriebe nicht betrachtet, da diese anderen Gesetzgebungen und Anreizen folgen um die Ziele der Bundesregierung zu erreichen.

Üblicherweise sind solche Betriebe so groß, dass sie sich direkt aus dem Hochspannungs-, Mittelspannungsnetz (respektive Hoch-, Mitteldrucknetz) versorgen und daher nicht von den ortsansässigen Netzbetreibern beliefert werden. In diesem Konzept wurden fünf Betriebe berücksichtigt, davon werden nur die beiden letztgenannten über die Netze der NGN versorgt:

- Chempark
- Outokumpu
- Cargill
- Siemens (in Netzbetreiber enthalten)
- Evonik (in Netzbetreiber enthalten)

Die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) veröffentlicht die jährlichen Emissionen der Emissionshandelsbetriebe (nach Betrieb und Anlage), sodass auf dieser Grundlage eine Energiemenge für die Betriebe, für die keine Daten des Netzbetreibers NGN vorliegen, abgeschätzt werden kann. Durch Internetrecherchen können die Energieträger ermittelt werden, welche von den Anlagen genutzt werden.

Daten zum Stadtkonzern

Darüber hinaus wurden für eine genauer Betrachtung der Energieverbräuche des „Stadtkonzerns“ folgende Daten erhoben und eingearbeitet:

- Energieverbräuche der kommunalen Liegenschaften und Einrichtungen
- Energieverbräuche der kommunalen Betriebe
 - Wirtschaftsförderungsgesellschaft (WFG)
 - Kommunalbetriebe Krefeld AÖR (KBK)
 - Grundstücksgesellschaft der Stadt Krefeld mbH & Co. KG (GGK)
 - Theater Krefeld
 - Zoo Krefeld
- Energieverbräuche der Tochtergesellschaften
 - Stadtwerke Krefeld GmbH
 - Hafen Krefeld
 - Wohnstätte Krefeld

Methodik

Mit Hilfe dieser umfangreichen Datenbasis wurde eine detaillierte Energie- und THG-Bilanz für die Jahre 2018-2022 für die Stadt Krefeld erstellt und die im Rahmen von KrefeldKlima 2030 durchgeführte Feinbilanz für das Jahr 2017 angepasst.

Die Anpassung der Bilanz für 2017 erfolgte vor dem Hintergrund, dass für KrKN35 vereinbart wurde, die Potenzialanalyse und Szenarienbetrachtung nur für die Gesamtstadt ohne Emissionshandelsbetriebe vorzunehmen. In den Bilanzdaten für 2017 waren aber in KrefeldKlima 2030 die Verbräuche von zwei ETS-pflichtige Betrieben enthalten, die im Zuge der Korrektur herausgerechnet wurden. Weitere Anpassungen der Werte für 2017 ergeben sich zudem aus einer Aktualisierung der im Bilanzierungstool EcoRegion hinterlegten Verkehrsdaten sowie aus der Auswertung der Schornsteinfegerdaten zu den Feuerungsanlagen.

Die Bilanz orientiert sich an den drei Anwendungsbereichen Stromversorgung, Wärmeversorgung und Mobilität. Dabei werden die Energieverbräuche nach den folgenden Verbrauchergruppen unterteilt:

- Private Haushalte
- Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistung (GHD)
- Verkehr
- Stadtkonzern (Verwaltung, Betriebe und Tochtergesellschaften)

Neben den „feinbilanzierten“ Daten für die Jahre 2017 bis 2022 werden die Daten der Vorjahre dargestellt. Diese sind als „Startbilanz“ markiert, weil es sich dabei um eine rein nachrichtliche Übernahme der im Bilanzierungstool EcoRegion hinterlegten (und im Rahmen von KrKN35 nicht nachbearbeiteten) Daten handelt. Die Daten der Startbilanz haben nicht die gleiche Datengüte wie die feinbilanzierten Daten und sie sind daher nur begrenzt mit diesen vergleichbar.

Im Rahmen der Energie- und THG-Bilanz werden jeweils die Energieverbräuche nach Anwendungsbereich und Verbrauchssektoren dargestellt und analysiert. Auf Basis dieser Energieverbrauchs-Analysen wird anschließend die THG-Bilanz aufgestellt. Das Berechnungstool EcoRegion ermöglicht für alle Emissionsberechnungen eine Life-Cycle-Assessment-(LCA)-Methode. Diese berücksichtigt bei den THG-Emissionen auch die Vorketten für die Bereitstellung der Energie, wie z.B. Erschließung, Aufbereitung und Transport von Erdgas. Eine Besonderheit ergibt sich bei den THG-Emissionen, die aus dem Stromverbrauch resultieren. Sie entstehen vor allem bei der Stromproduktion in den Kraftwerken. Hinzu kommen diejenigen Emissionen, die bei der Brennstoffbereitstellung und dem Bau der Erzeugungsanlage entstehen. Der Großteil dieser Emissionen entsteht nicht in Krefeld selbst, sondern wird durch den Stromverbrauch in Krefeld an anderer Stelle verursacht.

Um vergleichbare Ergebnisse zu anderen Energieträgern zu erhalten und Strom als Energieträger nicht zu bevorteilen, müssen die THG-Emissionen der Stromproduktion auf den Stromverbrauch in Krefeld angerechnet werden. Da das Stromnetz bundesweit verknüpft ist und sich nicht unterscheiden lässt, aus welchen Quellen der in Krefeld genutzte Strom physikalisch tatsächlich stammt, wird für die Analyse der bundesweite Strommix angesetzt. Dies geschieht im Einklang mit den Bilanzierungsempfehlungen des Klima-Bündnisses (vgl. Morcillo 2011, ifeu 2014). Der Nachteil dieser Betrachtungsweise liegt darin, dass dadurch die lokalen Beiträge zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien keinen direkten Eingang in die THG-Bilanz finden. Diesen Beitrag darzustellen, ist aber nicht zuletzt für die Diskussion um Erneuerbare-Energien-Anlagen vor Ort sehr wichtig. Daher wird im vorliegenden Konzept zusätzlich aufgezeigt, welchen Beitrag die erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung in Krefeld leisten.

Die Bilanzierung erfolgt nach dem Territorialprinzip. Das heißt, es wird der Endenergieverbrauch bilanziert, der auf dem Gemarkungsgebiet der Stadt Krefeld erfolgt.

Die folgende Abbildung verdeutlicht die Wirkungsweise des Territorialprinzips für den Verkehrssektor. Es werden lediglich die mobilitätsbedingten Endenergieverbräuche der innerhalb der Grenzen

Krefeld stattfindenden Fahrten berücksichtigt. Die durch die Bürger:innen sowie Gewerbe und Industrie Krefelds verursachten Fahrten (und Flüge) außerhalb des Stadtgebietes werden nicht betrachtet.

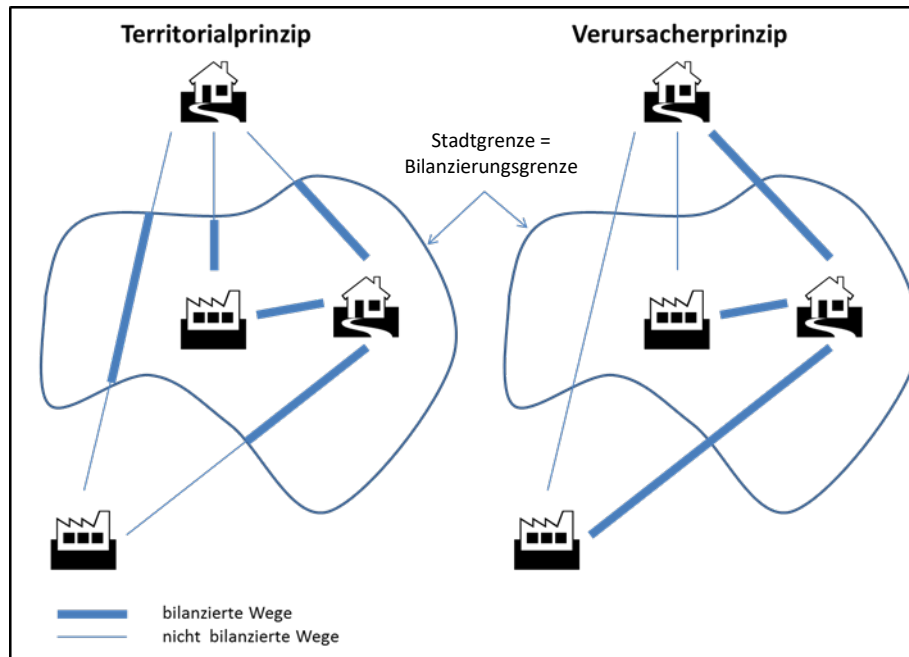


Abbildung 3 Territorialprinzip und nicht mehr angewandtes Verursacherprinzip

Die Daten der Bilanz werden gemäß BSKO-Methodik nicht witterungsbereinigt². Dies ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. So war beispielsweise das Jahr 2010 ein verhältnismäßig kaltes Jahr und dementsprechend hoch sind auch die Energieverbräuche für Heizzwecke. Demgegenüber beispielsweise 2019 ein verhältnismäßig mildes Jahr, was zu einem verringerten Energieverbrauch für Heizzwecke führte.

In der folgenden Tabelle sind die verwendeten THG-Emissionsfaktoren zusammengestellt. Diese entsprechen weitestgehend den im Bilanzierungstool EcoRegion hinterlegte Daten. Lediglich bei der Fernwärme wurde für die Feinbilanz auf Grundlage der im Rahmen des Gutachtens „Datengrundlage für Wärmekonzepte (DatWK)“ ermittelten Faktor gerechnet.

² Als Witterungs- oder Klimabereinigung bezeichnet man die Verrechnung des Heizenergieverbrauchs eines Jahres mit dem entsprechenden Klimakorrekturenfaktor. So werden klimatische Bedingungen herausgerechnet und die einzelnen Jahre besser miteinander vergleichbar gemacht. Im folgenden Text und in den Abbildungen werden die Begriffe „klimabereinigt“ und „witterungsbereinigt“ synonym gebraucht.

Tabelle 1 spezifische THG-Faktoren aus dem Bilanzierungstool EcoRegion von 2010-2022

g CO ₂ eq./kWh	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017*	2018	2019	2020	2021	2022 **
Strom	614	633	645	633	620	600	581	553	544	478	438	472	472
Heizöl	320	320	320	320	320	320	318	318	319	318	318	318	318
Braunkohle	439	439	439	439	439	439	411	411	411	411	443	445	445
Steinkohle	444	444	444	444	444	444	438	438	438	438	429	433	433
Erdgas	250	250	250	250	250	250	247	247	247	247	247	247	247
Fernwärme	270	268	267	268	266	265	263	167	156	156	156	156	156
Biomasse	27	27	27	27	27	27	22	22	22	22	21	22	22
Sonnenkollektoren	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	19	23	23
Benzin	310	309	307	309	307	315	317	317	313	313	311	312	312
Diesel	312	313	313	315	315	317	316	316	315	316	310	314	312
sonstige Kraftstoffe	300	300	273	273	273	300	300	333	250	286	286	286	286
Abfall	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
sonstige konventionelle Energieträger	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330
Flüssiggas	267	267	267	267	267	267	276	276	276	276	276	276	276

** vorläufige Daten

1.3. Entwicklung des Energieverbrauchs (Gesamtstadt)

Entwicklung des Energieverbrauchs nach Energieträgern

Die Entwicklung des Energieverbrauchs nach Energieträgern ist in Abbildung 5 und Abbildung 4 dargestellt. Wiedergegeben sind dort in Säulendiagramm der jährliche Verbrauch an Endenergie nach Energieträgerart in Gigawattstunden.

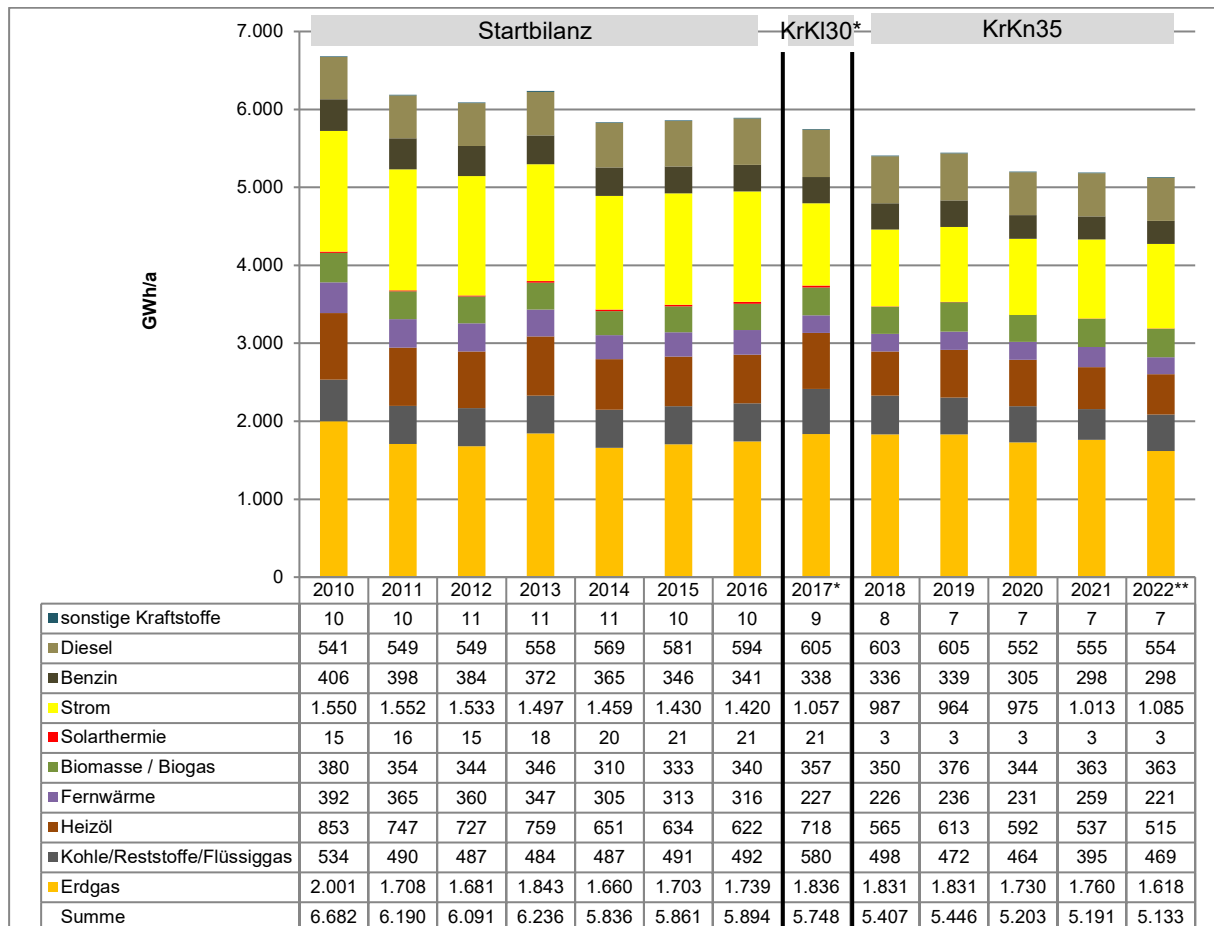


Abbildung 4 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern ohne ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten]

In den aktuellen Darstellungen weichen die Werte im Jahr 2017 von KrefeldKlima2030 ab, da die Verkehrsdaten aktualisiert wurden und die ETS-pflichtigen Betriebe anders betrachtet wurden (s.o.). Die Werte für 2022 sind (insbesondere bezogen auf den Mobilitätsbereich) vorläufige Daten, die sich noch verändern können.

In der folgenden Abbildung ist nachrichtlich die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Krefeld (inkl. ETS-pflichtige Betriebe) nach Energieträgern für die Jahre 2017 bis 2022 dargestellt.

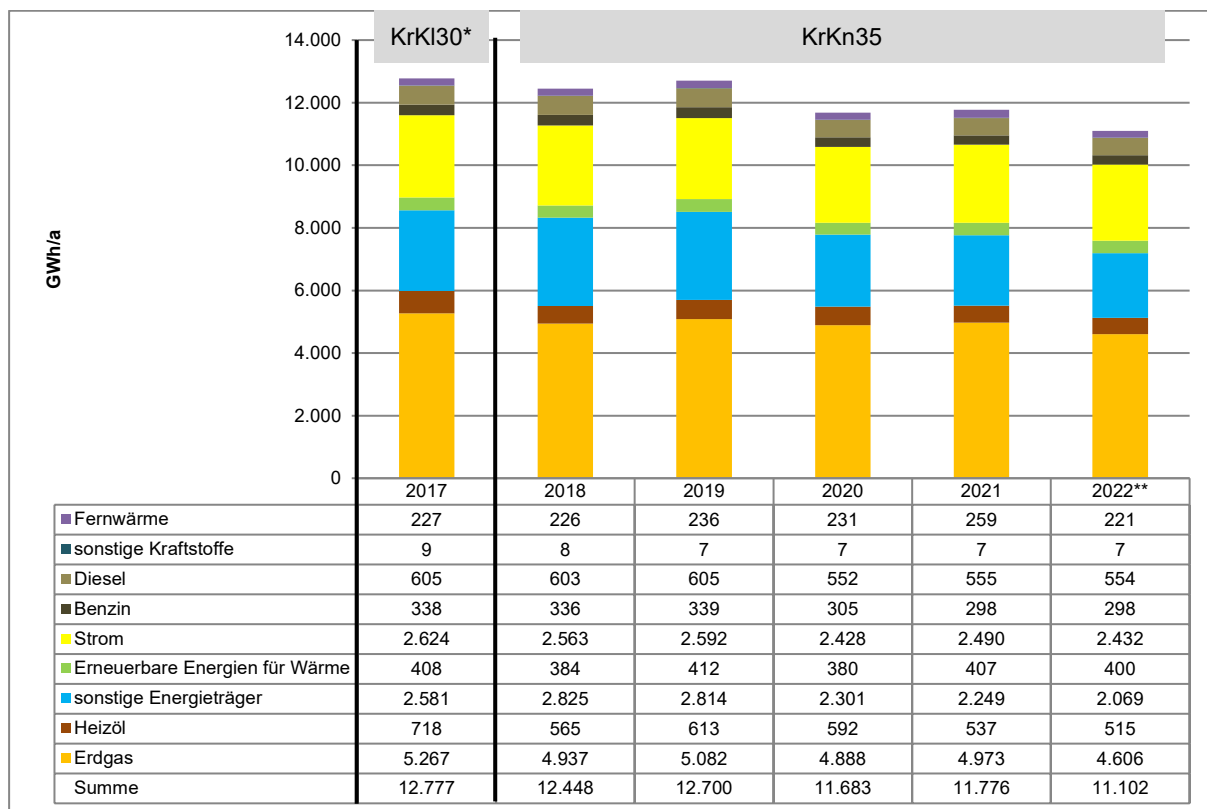


Abbildung 5 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern inkl. ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten]

Die folgende Abbildung zeigt für das Jahr 2022 die Anteile der Energieträger am Endenergieverbrauch für Krefeld ohne ETS-pflichtige Betriebe.

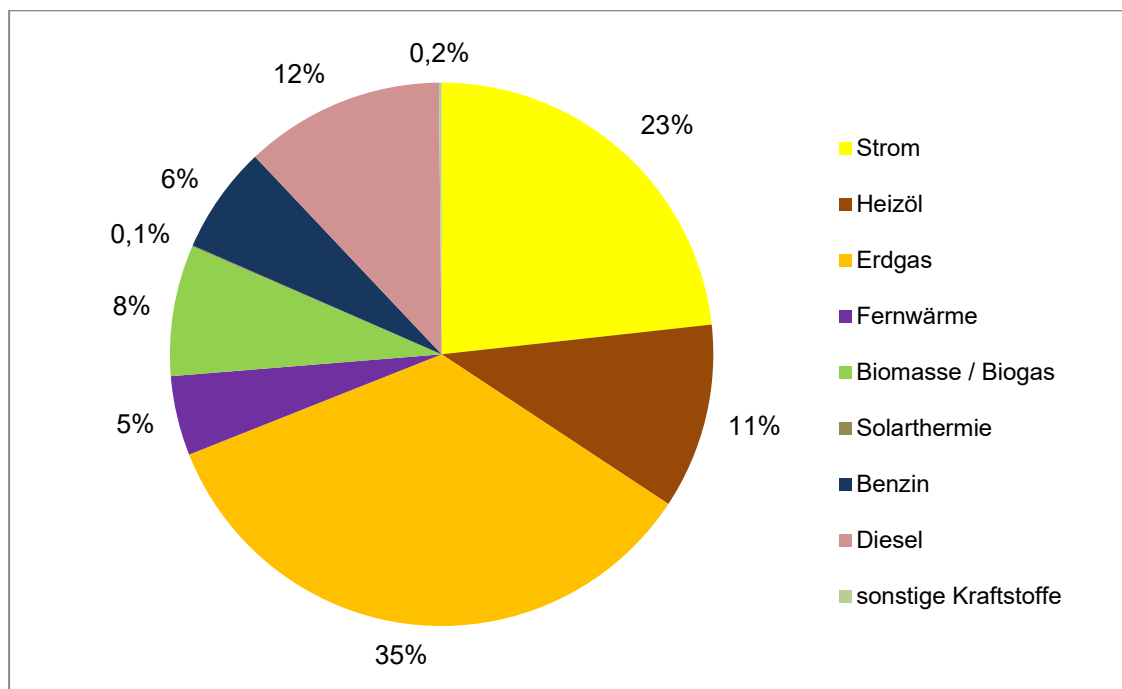


Abbildung 6 Vorläufige Anteile der Endenergieträger im Jahr 2022 ohne ETS-pflichtige Betriebe

Wichtigster Energieträger ist Erdgas mit ca. 35 % des gesamten Endenergieverbrauchs im Jahr 2022. Der Stromverbrauch trägt mit etwa 23 % zum Gesamtenergieverbrauch bei. Im Verkehrsbereich sind Diesel (12 %) und Benzin (6 %) die wichtigsten Energieträger. Biomasse (und Biogas) tragen etwa 8 % zum gesamten Endenergieverbrauch bei.

Entwicklung des Energieverbrauchs nach Anwendungszweck

In Abbildung 7 und Abbildung 8 sind die Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungszwecken dargestellt. Hier wird noch einmal deutlich, dass der Endenergieeinsatz für Wärmezwecke mit Abstand den größten Anteil (über 60 %) hat. Nach dem hier angewendeten Bilanzierungsprinzip (Territorialbilanz) hat der Mobilitätssektor nur einen vergleichsweise geringen Anteil am Endenergieverbrauch (rund 17 %). Der Anteil des Stromverbrauchs beträgt rund 20 %.

Zu beachten ist, dass die Zahlen zum Strom in den Auswertungen „nach Energieträgern“ von der Auswertung „nach Anwendungszwecken“ voneinander abweichen. Das rührt daher, dass in der Auswertung „nach Anwendungszwecken“ der Stromverbrauch für Wärme- und Mobilitätszwecke eben jenen Anwendungszwecken zugeordnet wird.

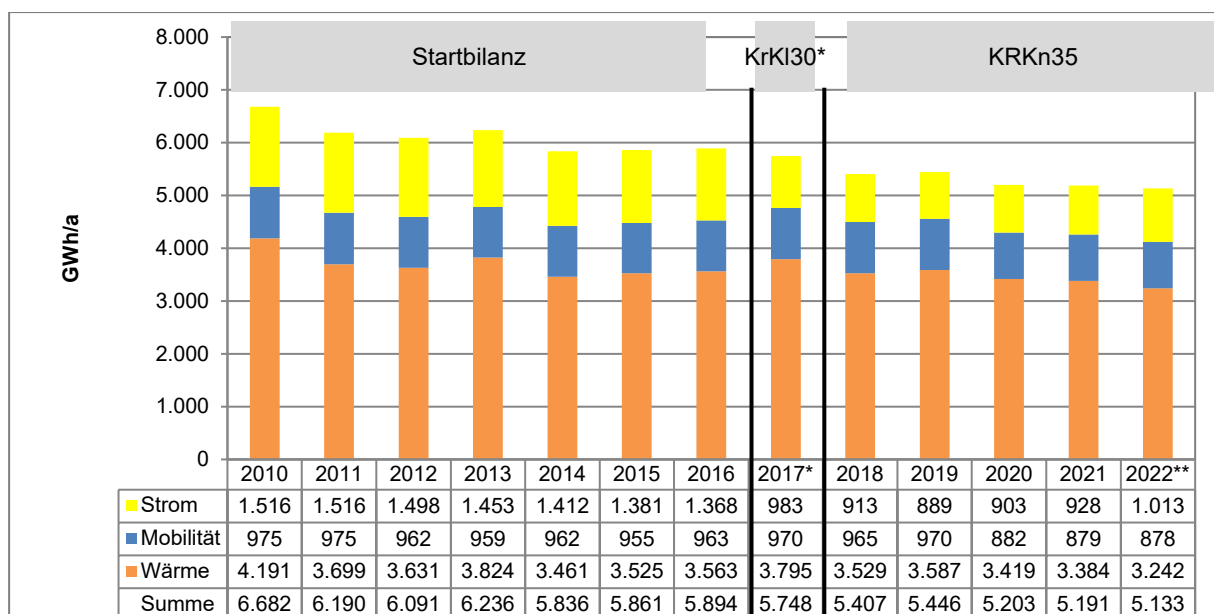


Abbildung 7 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungszweck ohne ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten]

Bei der Entwicklung über die Jahre zeigt sich, dass der Wärmeverbrauch von den klimatischen Bedingungen abhängt und insgesamt ein wichtiger Einflussfaktor für die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Betrachtungszeitraum darstellt. Während 2010 ein verhältnismäßig kaltes Jahr war, waren beispielsweise 2019-2022 verhältnismäßig milde Jahre, was zu einem verringerten Wärmeverbrauch führte.

Die Jahre 2020-2022 waren im Vergleich zu den Vorjahren besonders, da externe Faktoren (Corona-Pandemie und Auswirkungen des Krieges gegen die Ukraine) den Energieverbrauch teilweise stark beeinflussten. Durch die Lockdowns wurde insbesondere im Mobilitätsbereich Energie eingespart. Durch die gestiegenen Energiepreise und die gesetzlichen Vorgaben zur Energieeinsparung im Jahr 2022 wurde deutlich weniger Energie zur Wärmeversorgung verbraucht.

In der folgenden Abbildung ist nachrichtlich die Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld (inkl. ETS-pflichtige Betriebe) nach Anwendungszwecken für die Jahre 2017 bis 2022 dargestellt.

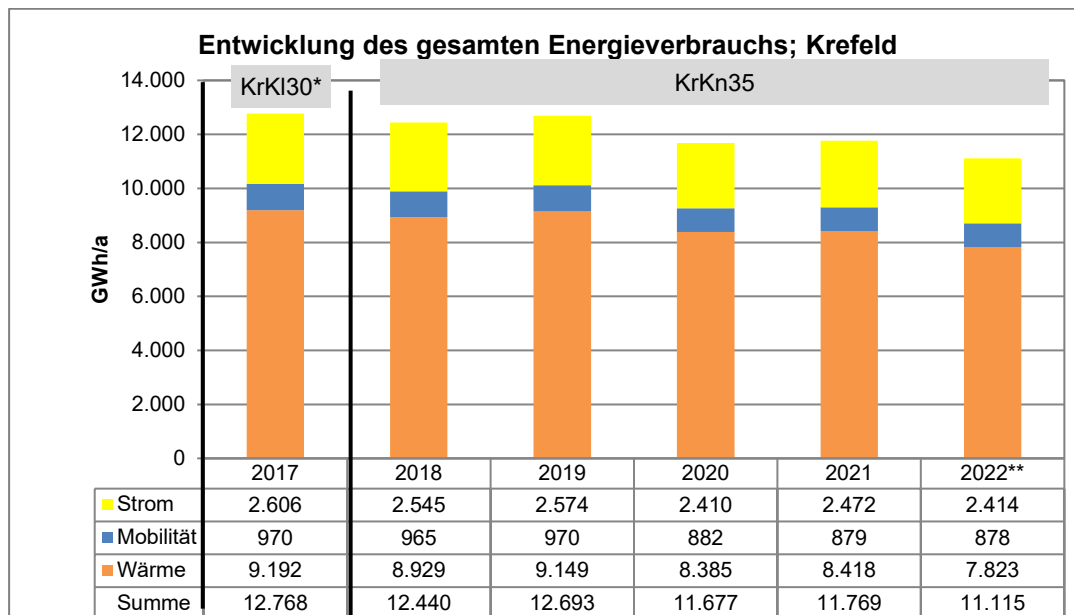


Abbildung 8 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungszweck inkl. ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten]

Entwicklung des Energieverbrauchs nach Verbrauchssektoren

Eine vergleichende Betrachtung des Endenergieverbrauchs nach Verbrauchssektoren (Haushalte, Verkehr, Wirtschaft und kommunaler Verbrauch) für die Jahre 2010 (bzw. 2017) bis 2022 erfolgt in den beiden folgenden Abbildungen.

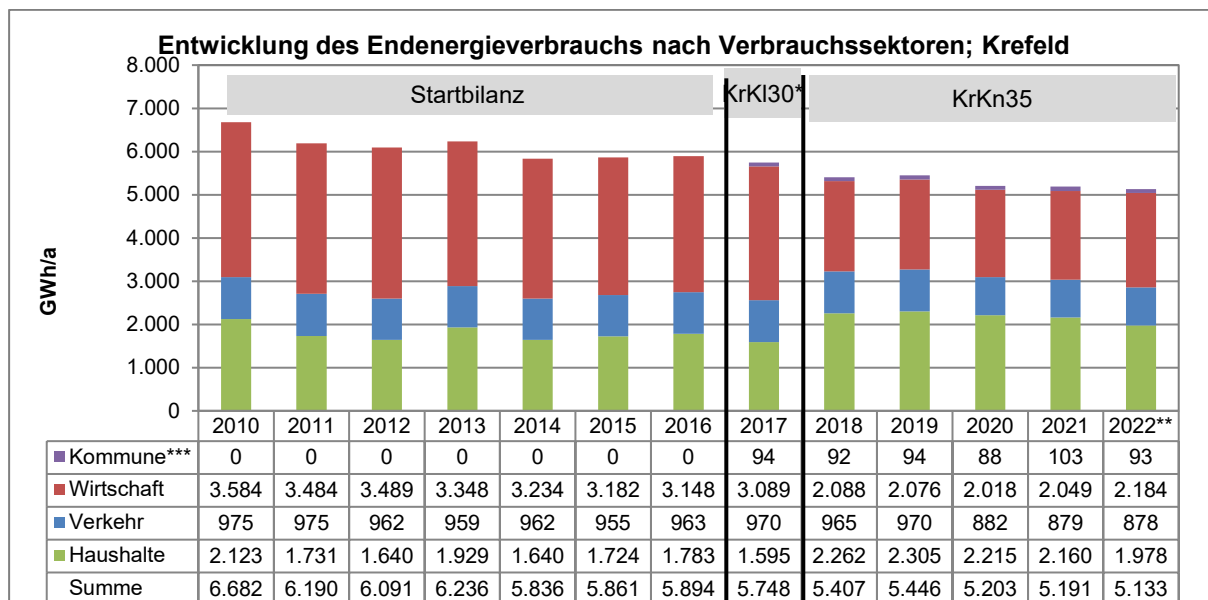


Abbildung 9 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Verbrauchssektor ohne ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten; ***Kommune: (Liegenschaften Verwaltung / ZGM; KBK)]

Der Verbrauch des „Stadtkonzerns“ wurde als eigenständiger Verbrauchssektor erst im Rahmen von KrKN35 ermittelt und in Kapitel 1.4 dargestellt. Für die Zeitreihen konnte keine durchgängige Datenbasis erhoben werden, sodass die Liegenschaften der Stadtverwaltung / des ZGM (eigene und angemietete), sowie die vorliegenden Daten des KBK (Liegenschaften und Infrastruktur) genutzt wurden. Die Daten des KBK für 2017 und 2018 wurden anhand der übrigen Jahre interpoliert. Für die Mobilität lagen keine durchgehenden Datenreihen vor, daher wurden diese nicht dargestellt.

Ohne Berücksichtigung der ETS-pflichtigen Betriebe ergibt sich für das Jahr 2022 folgende Aufteilung auf die Verbrauchssektoren

- Wirtschaft ca. 43 %,
- Haushalte ca. 39 %
- Verkehr ca. 17 %
- Stadtkonzern (hier Liegenschaften ZGM und KBK): ca. 2 %

Im Vergleich zur bundesweiten Verteilung (AGEB 2021) spielt der Wirtschaftssektor in Krefeld mit etwa 43 % selbst ohne Einbeziehung der ETS-pflichtigen Betriebe eine vergleichbare Rolle (bundesweit 44 % Anteil).

Die Verteilung der Energieverbräuche auf die Sektoren ist auch im Hinblick auf die spätere Maßnahmenentwicklung wichtig. Es wird daraus deutlich, dass es gelingen muss, die Bürger:innen sowie die Unternehmen „mitzunehmen“, weil dort der größte Beitrag zur Senkung des Energieverbrauchs und der THG-Emissionen zu leisten ist. Auch wenn die Stadt entsprechend ihres geringen Anteils am Energieverbrauch nur einen geringen „direkten“ Einfluss auf die Senkung von Energieverbrauch und THG-Emissionen hat, ist es trotzdem wichtig, dass die Stadt Krefeld mit guten Beispiel vorangeht und ihre eigenen Liegenschaften saniert und den Energieverbräuche senkt.

Werden die ETS-pflichtigen Betriebe mitbetrachtet, fallen rund 73 % des Endenergieverbrauchs in Krefeld dem Wirtschaftssektor zu.

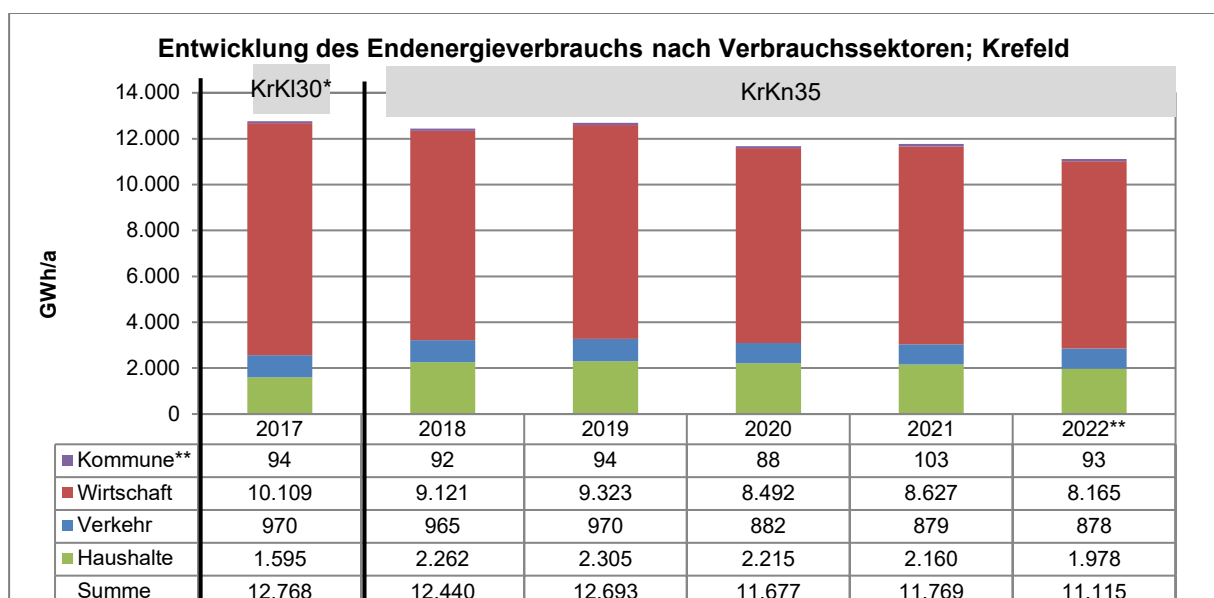


Abbildung 10 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Verbrauchssektoren inkl. ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten;
***Kommune: (Liegenschaften Verwaltung / ZGM; KBK)

In der folgenden Tabelle ist der Pro-Kopf-Verbrauch in Krefeld für die Jahr 2022 und 2021 im Vergleich zum Bundesdurchschnitt im Jahr 2021 dargestellt. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung waren für den Bundesdurchschnitt noch keine Zahlen für 2022 verfügbar.

Der Pro-Kopf-Verbrauch liegt ohne Einbeziehung der ETS-pflichtigen Betriebe im Jahr 2022 bei rund 22.620 kWh je Einwohner:in und im Jahr 2021 bei ca. 22.950 kWh je Einwohner:in und damit insgesamt etwas unter dem bundesweiten Durchschnitt.

Tabelle 2 spezifische Verbrauchsdaten in [kWh/Einwohner] der Stadt Krefeld im Vergleich zum Bundesdurchschnitt

Spezifische Verbrauchsdaten [kWh/EW]			
	Krefeld		Ø Deutschland
	2022*	2021	2021
Gesamt	22.620	22.950	28.970
Haushalte	8.720	9.600	8.100
<i>Wärme</i>	7.340	8.100	6.800
<i>Strom (ohne Heizen & Warmwasser)</i>	1.380	1.500	1.300
Industrie & Gewerbe	9.620	9.000	13.020
<i>Wärme</i>	6.690	6.300	8.870
<i>Strom (ohne Heizen & Warmwasser)</i>	2.930	2.700	4.150
Kommune	410	480	0
<i>Wärme</i>	330	400	1)
<i>Strom</i>	80	80	1)
Mobilität	3.870	3.870	7.850
EW = Einwohner 1) kommunale Werte in Industrie und Gewerbe enthalten *teilweise vorläufige Daten			

In den einzelnen Bereichen sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Durch die städtischen Strukturen und den hohen Anteil von Mehrfamilienhäusern liegt die durchschnittliche Wohnfläche je Einwohner:in unter dem bundesweiten Durchschnitt. Gleichzeitig wird in Mehrfamilienhäusern i.d.R. im Vergleich weniger Heizenergie benötigt als bei Einfamilienhäusern, da die Außenfläche im Verhältnis zum Gebäudevolumen geringer ist. Diese Faktoren führen dazu, dass der Energieverbrauch bei den privaten Haushalten in Krefeld geringer ist als im Bundesdurchschnitt.
- Der Energieverbrauch des Wirtschaftssektors spielt ohne die Berücksichtigung der ETS-pflichtigen Betriebe eine geringere Rolle wie bundesweit. Unter Hinzurechnung der ETS-pflichtigen Betriebe würde sich dieses Verhältnis umkehren. Aber auch ohne Berücksichtigung der ETS-pflichtigen Betriebe ist die Stadt Krefeld immer noch ein wichtiger Gewerbestandort und Dienstleistungszentrum für die Region, was sich in einem entsprechenden spezifischen Verbrauch bemerkbar macht.
- In Krefeld sind trotz guter Anbindungen an den ÖPNV und städtischer Strukturen geringfügig weniger Pkw je Einwohner:in (0,53) zugelassen als im Bundesdurchschnitt (0,56). Der im Vergleich zum Bundesdurchschnitt deutlich geringere spezifische Energieverbrauch für Mobilitätszwecke ist dadurch begründet, dass in der territorialen Betrachtung Krefelds keine Flüge,

sowie Fernverkehre (außerhalb der Stadtgrenzen) berücksichtigt werden. Diese sind hingegen bei den Durchschnittswerten für Deutschland berücksichtigt.

1.4. Fokusbetrachtung: Energieverbrauch des Stadtkonzerns für die Jahre 2018-2020

Endenergieverbrauch

Um die Entwicklung im unmittelbaren Einflussbereich von Politik und Verwaltung in den Fokus zu rücken, wird der Energieverbrauch des Stadtkonzerns vertiefend betrachtet. Dabei werden die Energieverbräuche und die energiebedingten THG-Emissionen betrachtet, die der „Stadtkonzern“ zur Erbringung seiner Dienstleistungen benötigt, ohne die Dienstleistung bzw. das Produkt als solches (z.B. Erzeugung von Fernwärme, Mobilitätsdienstleistung, Mietwohnungen) zu erfassen (Scope 1 und 2 gemäß Greenhouse Gas Protocol).

Bei der Erhebung und Ergebnisdarstellung wurde folgende Dreiteilung der Nutzergruppen des „Stadtkonzerns“ vorgenommen:

Ebene 1: Verwaltung

- Liegenschaften im Besitz des ZGM
- Mobilität der Stadtverwaltung

Ebene 2: Betriebe

- Grundstücksgesellschaft der Stadt Krefeld mbH & Co KG (GGK)
- Kommunalbetrieb Krefeld AöR (KBK)
- KREFELD BUSSINESS (Verbund aus WfG, GGK und Geschäftsbereich I - Dezernat für Wirtschaft, Digitalisierung und Internationales (WDI))
- Wirtschaftsförderungsgesellschaft Krefeld mbH (WfG)
- Zoo Krefeld gGmbH

Ebene 3: Gesellschaften

- Wohnstätte Krefeld AG
- Hafen Gesellschaft GmbH & Co
- Stadtwerke Krefeld AG
- SWK MOBIL GmbH
- SWK ENERGIE GmbH
- Wirtschaftsförderungsgesellschaft Krefeld mbH (WfG)
- GSAK Gesellschaft für Stadtreinigung und Abfallwirtschaft Krefeld mbH
- EGK Entsorgungsgesellschaft Krefeld mbH Co. KG
- NGN NETZGESELLSCHAFT NIEDERRHEIN MBH

Die Datenerhebung für die Jahre 2018-2020 wurde im August 2022 abgeschlossen. Teilweise lagen nicht für alle Jahre Daten aller Verbraucher:innen vor. Die dadurch entstehenden Datenlücken wurden dann mit Daten aus anderen Jahren ausgefüllt (bereinigt). Eine Fortschreibung für die Jahre 2021 und 2022 ist – anders als auf gesamtstädtischer Ebene – im Rahmen dieses Gutachtens aus Zeitgründen nicht erfolgt.

Nicht betrachtet wurden:

- Angemietete Liegenschaften der Verwaltung (ZGM/FB60)
- Diesellok des Hafens

- Linienbusse des SWK
- Straßenbahn des SWK

Nachfolgend der gesamte Energieverbrauch des Stadtkonzerns, und die Unterteilungen.

Zu bestehenden Veröffentlichungen zum Energieverbrauch (z.B. Energieberichte des ZGM) können Abweichungen auftreten, da unterschiedliche Bilanzgrenzen gewählt wurden (angemietete Liegenschaften).

Tabelle 3 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Stadtkonzern in MWh/a

	Summe Verwaltung, Betriebe, Gesellschaften			
	Strom [MWh/a]	Wärme [MWh/a]	Mobilität [MWh/a]	Summe [MWh/a]
2018	125.200	111.000	57.100	293.300
2019	124.400	113.300	51.900	289.600
2020	121.500	107.500	51.700	280.700

Im Stadtkonzern (Gesamt) spielt – anders als beim gesamtstädtischen Verbrauch – der Stromverbrauch eine größere Rolle.

Seit 2018 ist der Endenergieverbrauch um ca. 4,3 % gesunken. Dabei ist der Rückgang von 2018 auf 2019 mit 1,3 % deutlich geringer als der Rückgang von 2019 auf 2020 mit 3,1 %.

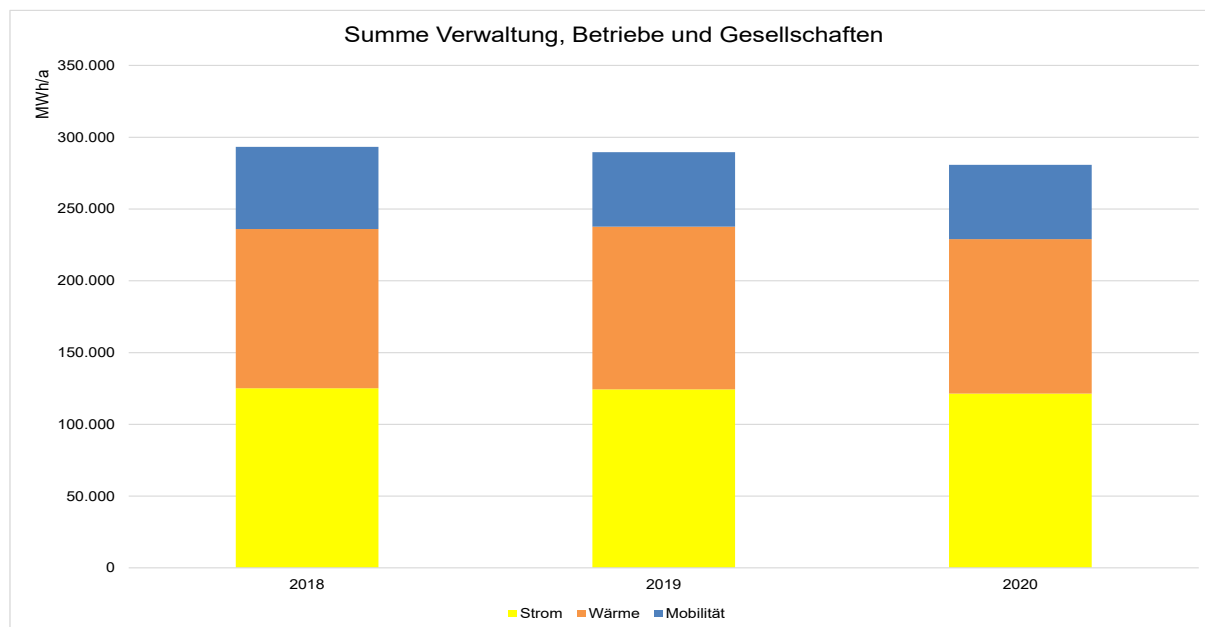


Abbildung 11 Entwicklung des Energieverbrauchs im Stadtkonzern (Strom, Wärme, Mobilität), bereinigt

Bezogen auf die Verbrauchergruppen innerhalb des Stadtkonzerns haben die Gesellschaften den größten Energieverbrauch, gefolgt von der Stadtverwaltung.

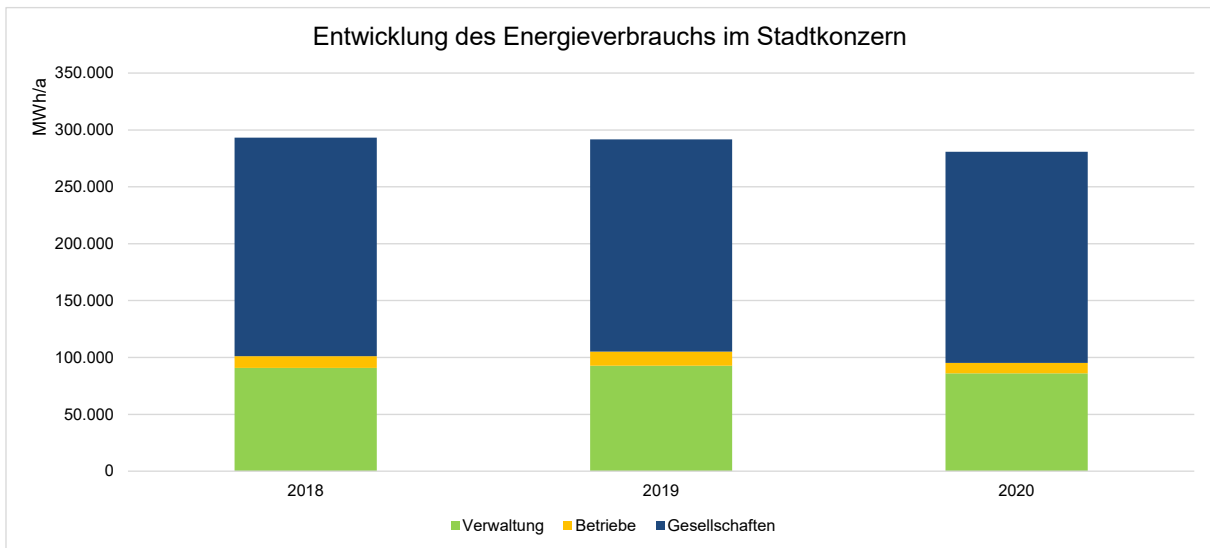


Abbildung 12 Entwicklung des Energieverbrauchs im Stadtkonzern (Verwaltung, Betriebe, Gesellschaften), bereinigt

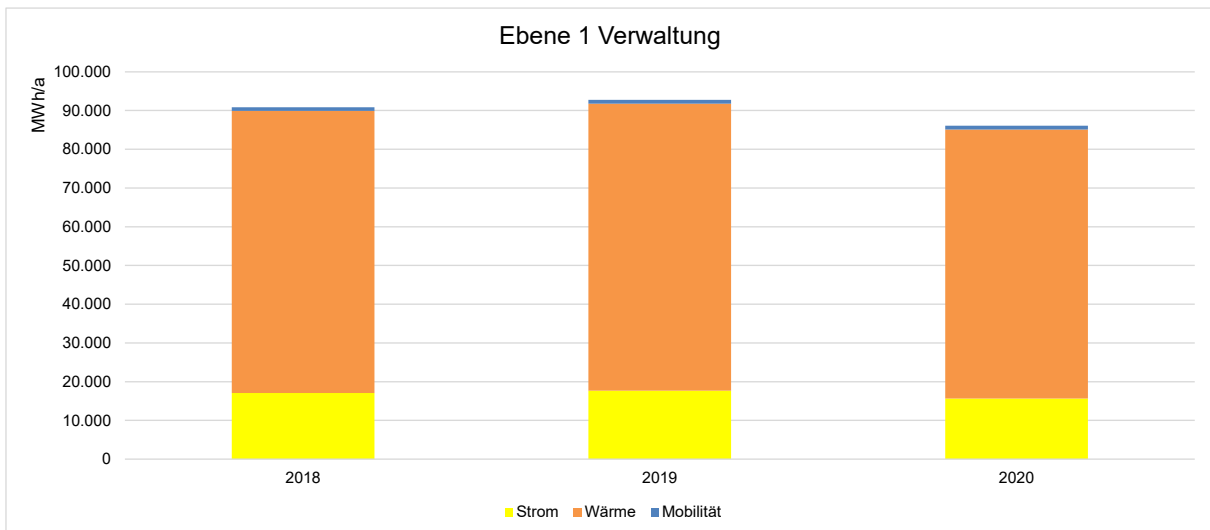


Abbildung 13 Entwicklung des Energieverbrauchs der Stadtverwaltung

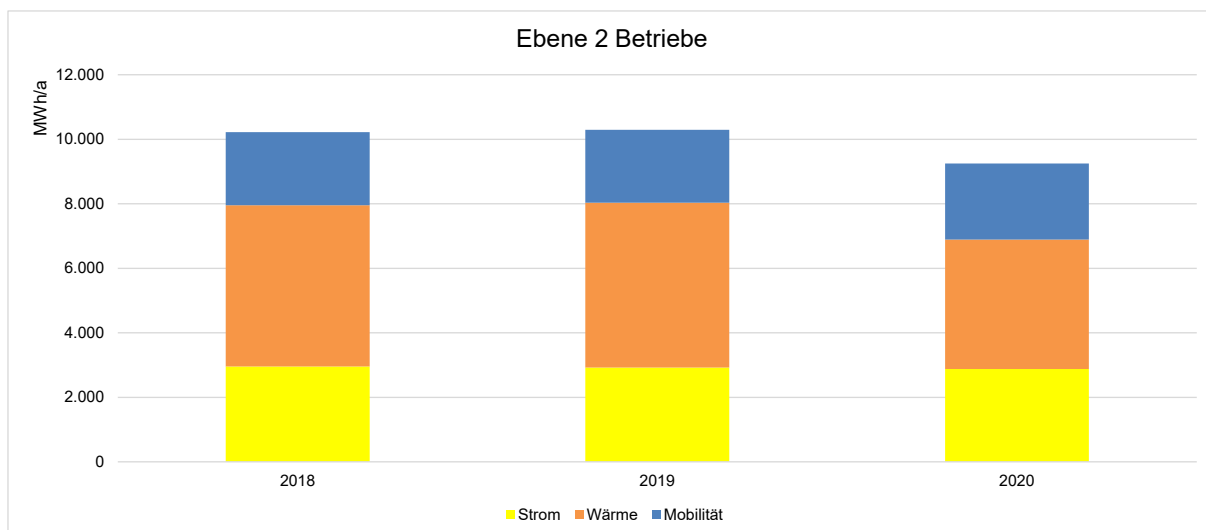


Abbildung 14 Entwicklung des Energieverbrauchs der Betriebe, bereinigt

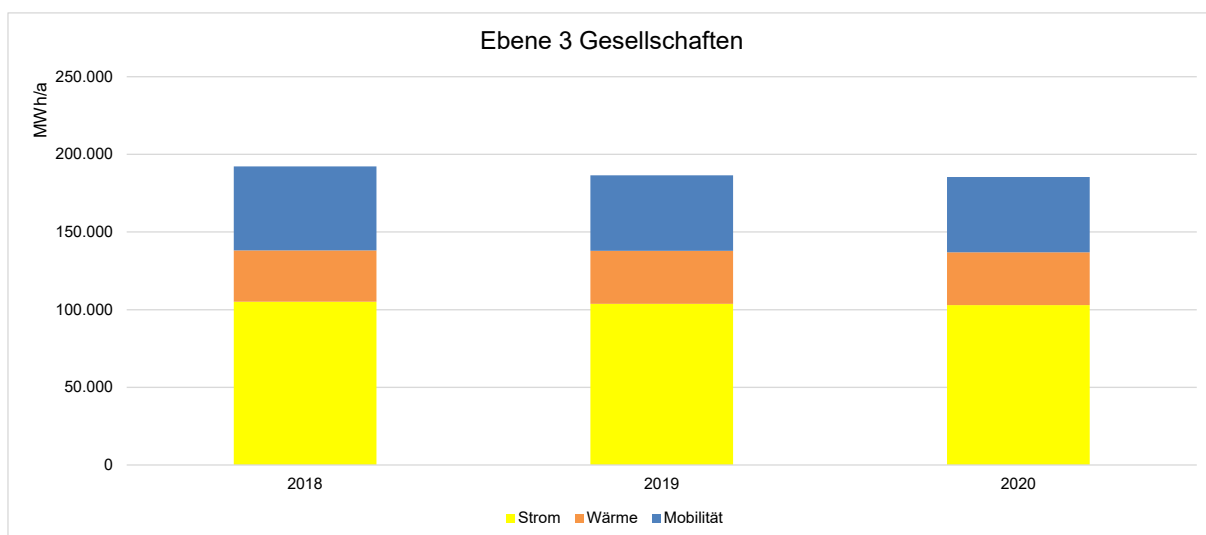


Abbildung 15 Entwicklung des Energieverbrauchs der Gesellschaften, bereinigt

THG-Emissionen

Nachfolgend werden die energiebedingten THG-Emissionen des Stadtkonzerns nach Anwendungszweck und „Verursacher“ (Verwaltung / Betriebe / Gesellschaften) dargestellt.

Dabei wurde für die Wärmebereitstellung (sofern kein Energieträger angegeben) Erdgas unterstellt.

Tabelle 4 Entwicklung der THG-Emissionen im Stadtkonzern in t CO_{2eq}/a

	Summe Verwaltung, Betriebe, Gesellschaften			
	Strom [t CO _{2eq}]	Wärme [t CO _{2eq}]	Mobilität [t CO _{2eq}]	Summe [t CO _{2eq}]
2018	68.100	24.000	18.600	110.700
2019	59.500	24.200	16.900	100.600
2020	53.200	22.900	16.900	93.000

Seit 2018 sind damit die energiebedingten THG-Emissionen des Stadtkonzerns jährlich im Durchschnitt um ca. 8 % gesunken.

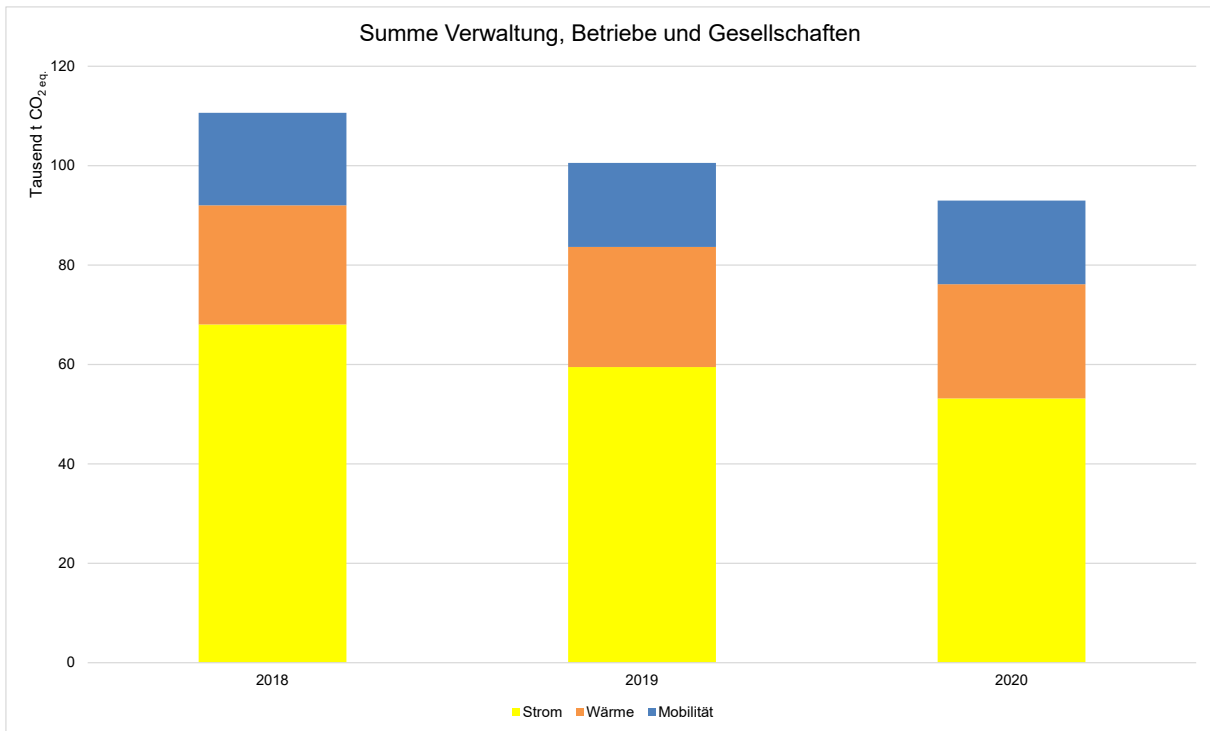


Abbildung 16 Entwicklung der THG-Emissionen im Stadtkonzern (Strom, Wärme, Mobilität), bereinigt

In den folgenden Abbildungen werden die Entwicklungen für die unterschiedlichen Verbrauchergruppen innerhalb des Stadtkonzerns dargestellt.

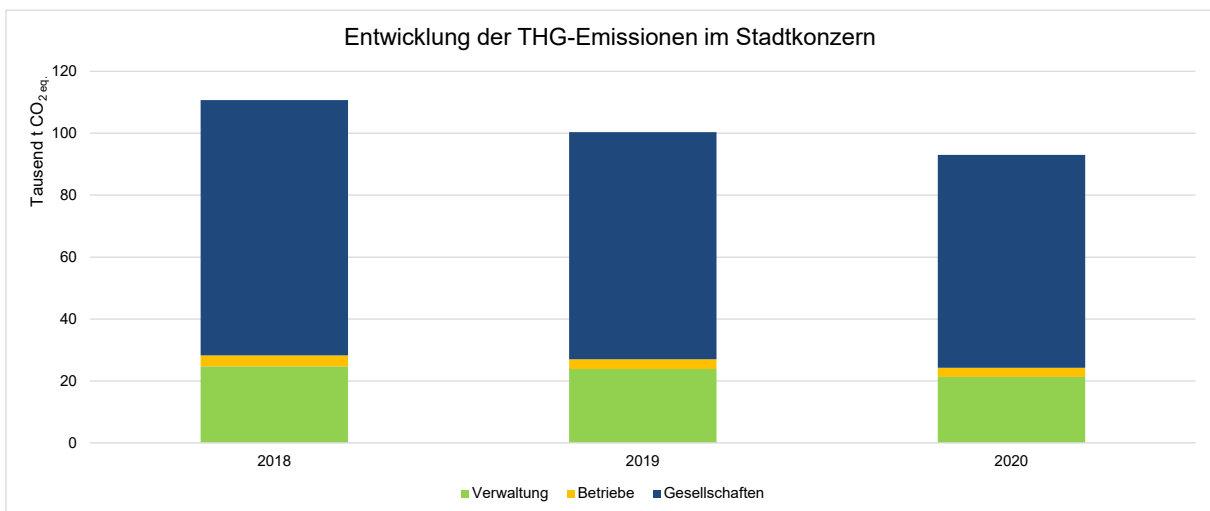


Abbildung 17 Entwicklung der THG-Emissionen im Stadtkonzern (Verwaltung, Betriebe, Gesellschaften), bereinigt

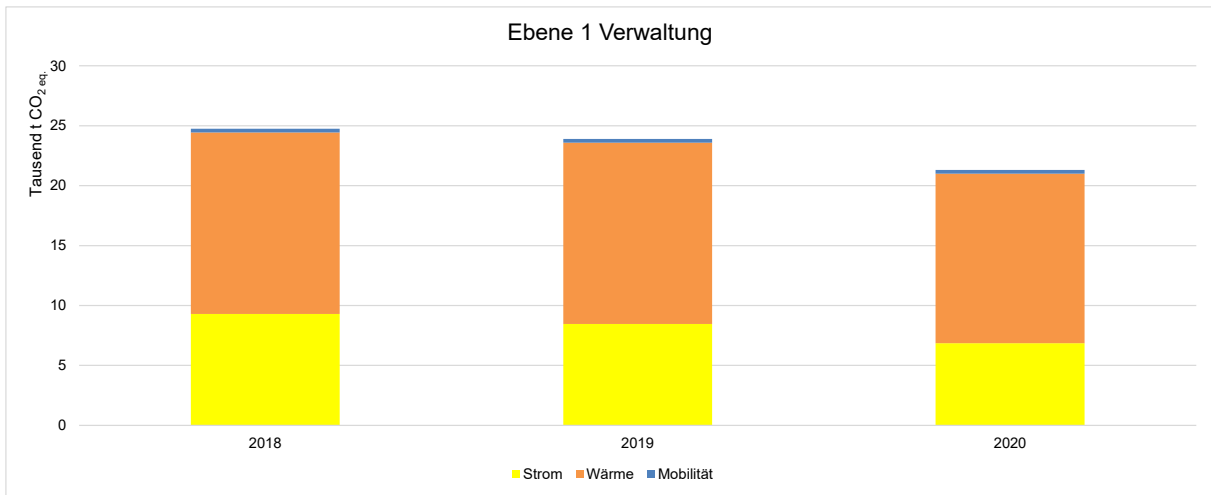


Abbildung 18 Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung

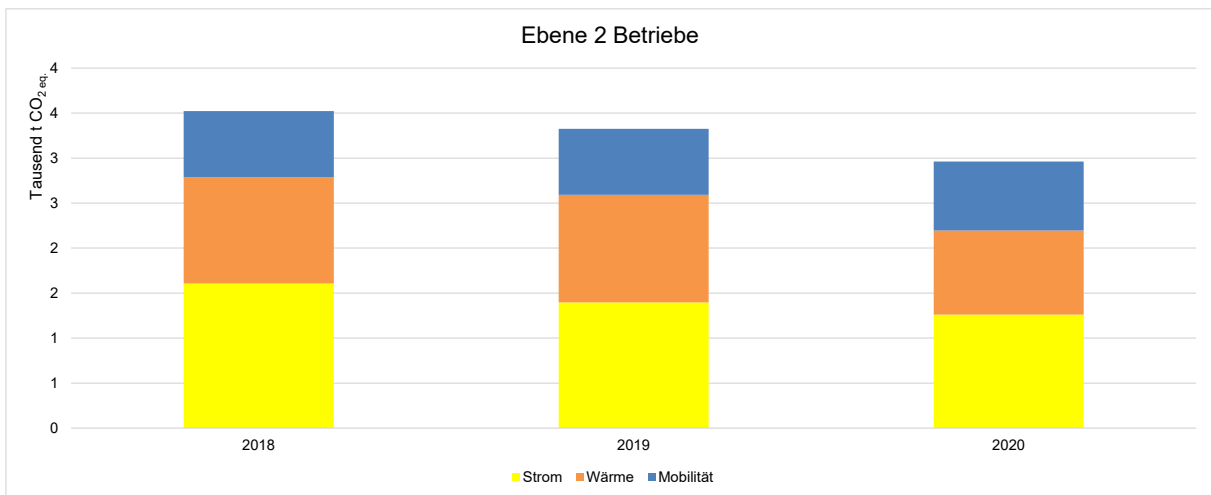


Abbildung 19 Entwicklung der THG-Emissionen der Betriebe, bereinigt

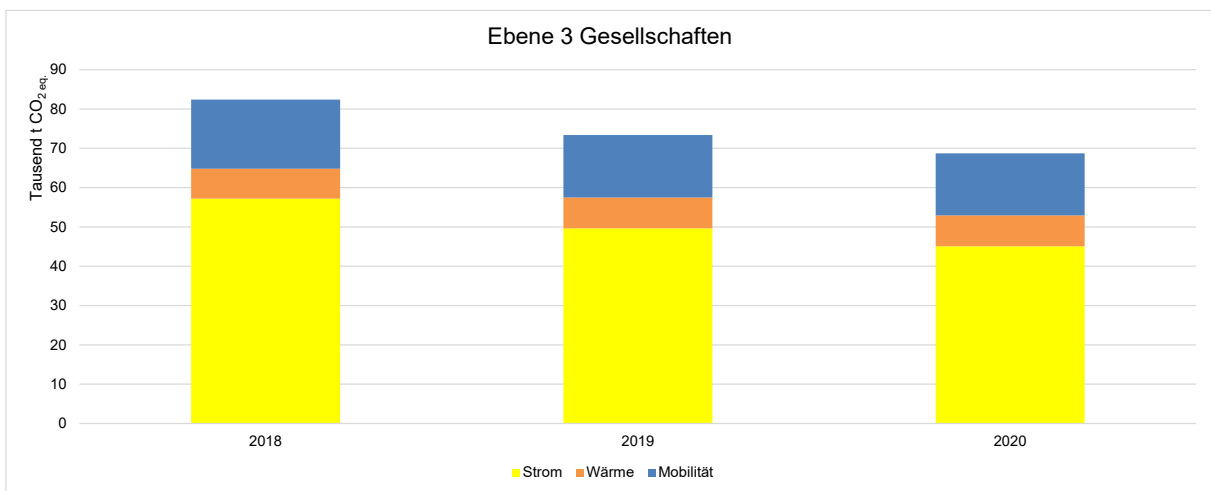


Abbildung 20 Entwicklung der THG-Emissionen der Gesellschaften, bereinigt

1.5. Bereitstellung aus erneuerbaren Energien und Kraft-Wärmekopplung

Die Nutzung erneuerbarer Energien und der effizienten Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) spielt nicht zuletzt aufgrund der Klimaschutz-Zielsetzungen eine besondere Rolle. In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, wie hoch die Strom- und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien (inkl. Klärgas, Klärschlamm und biogenem Anteil an Abfall), KWK aktuell ist.

Die Bereitstellung durch KWK-Anlagen der ETS-pflichtige Betriebe werden nachrichtlich aufgeführt, da die Datengrundlage auf Hochrechnungen basiert.

Der regenerative Anteil von ca. 52% der Fernwärmeerzeugung in der Müll- und Klärschlammverbrennungsanlage (MKVA) wird dabei als „Biomasse (biog. Anteil Abfall)“ ausgewiesen.

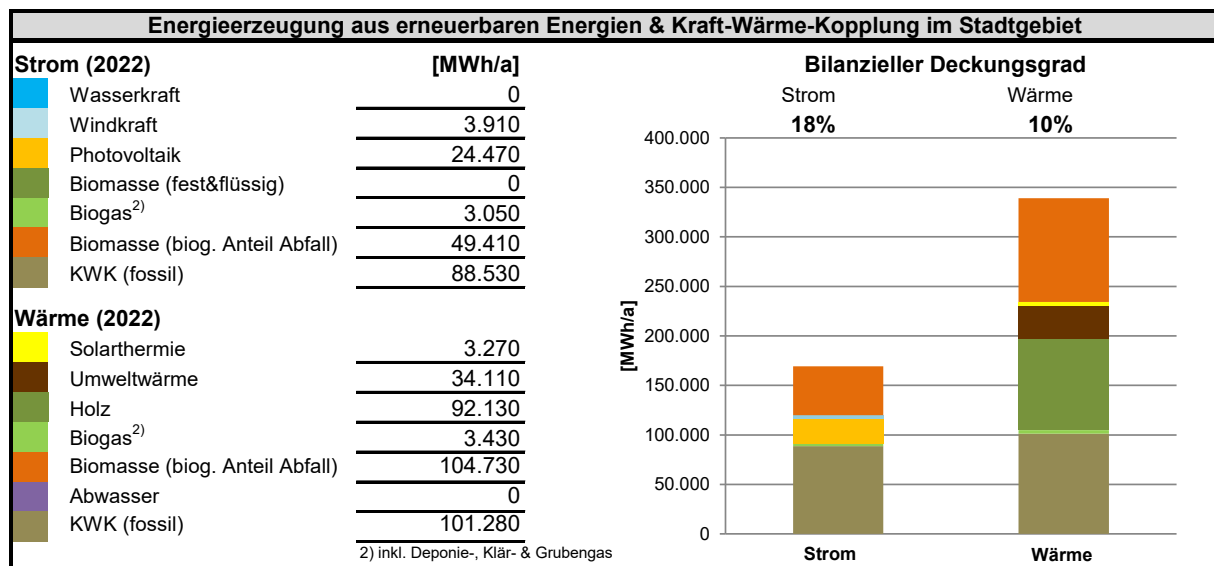


Abbildung 21 Strom- und Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK, Krefeld 2022 (Bilanzieller Deckungsgrad ohne ETS-pflichtige Betriebe)

In Summe liegt die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK (nach dem KWG-G)³ im Jahr 2022 bei rund 339,9 GWh. Mit jeweils rund einem Drittel tragen KWK-G-Anlagen und Holzfeuerungen und MKVA (biogener Anteil) mit Abstand den größten Anteil dazu bei. Die anderen erneuerbaren Energien spielen demgegenüber eine geringe Rolle. Im Vergleich zu KrefeldKlima 2030 konnten die Schornsteinfegerdaten ausgewertet werden, wodurch sich die große Differenz in der Wärmebereitstellung durch Holz begründen lässt.

Bezogen auf den gesamten Wärmeverbrauch in Krefeld machen die erneuerbaren Energien (incl. biogener Anteil des Abfalls) einen Anteil von rund 10 % aus. Damit liegt die Stadt Krefeld unter dem bundesweiten Durchschnitt (ca. 16,5 %, BMWi 2022). Das ist insbesondere dadurch erklärbar, dass von den ca. 16% im Bundesdurchschnitt ca. 12% feste Brennstoffe und Biogas sind, die in Krefeld eine geringere Bedeutung haben.

Die Stromerzeugung wird ähnlich wie die Wärmeversorgung zu großen Teilen von KWK (52 %) und MKVA (biogener Anteil) (29 %) getragen. Von den sonstigen erneuerbaren Energien trägt die Photovoltaik (14 %) am meisten zur Strommenge bei.

³ In der Tabelle ist unter „KWK (fossil gef. nach dem KWG-G)“ausschließlich die Erzeugung von Strom und Wärme in KWK-Anlagen, die nach dem KWG-Gesetz gefördert werden, dargestellt. Dabei wurden der eigengenutzte Strom und die erzeugte Wärme abgeschätzt.

Im Jahr 2022 wurden etwa 8 % des Stromverbrauches bilanziell über das Jahr durch die erneuerbaren Energien gedeckt (incl. biogener Anteil des Abfalls), wird KWK mit betrachtet sind es rund 18 %. Damit liegt die Stadt Krefeld deutlich unter dem Bundesdurchschnitt von ca. 41 % (BMW 2022). Im Bund betrug im Jahr 2021 allein die Windkraft einen Anteil von 20 % der Bruttostromerzeugung. Die Photovoltaik betrug bundesweit einen Anteil von 8,8 % (BMW 2022). Durch die eingeschränkten Möglichkeiten zur Erzeugung von Strom aus Windenergie sowie die städtischen Strukturen und den hohen Anteil an Mehrfamilienhäusern sind die Beiträge der Windenergie sowie der Photovoltaik in Krefeld deutlich geringer als im Bundesdurchschnitt. Hier gibt es deutlich höhere Anteile in ländlichen Gebieten mit hohem Freiflächenanteil und höheren Anteilen von Einfamilienhäusern und großen PV-Anlagen auf landwirtschaftlichen Flächen und/oder Gebäuden.

1.6. THG-Bilanz für die Stadt Krefeld

Entwicklung des THG-Emissionen nach Energieträgern

Die Entwicklung der THG-Emissionen⁴ für Krefeld ohne ETS-pflichtige Betriebe unterteilt nach Energieträgern ist in Abbildung 22 für die Jahre 2010 bis 2022 dargestellt⁵. Die gesamten Emissionen liegen im betrachteten Zeitraum zwischen ca. 1.500 und 2.400 tausend Tonnen CO_{2eq.} pro Jahr, der Verlauf über die Jahre ist ähnlich zum Verlauf des Endenergieverbrauchs.

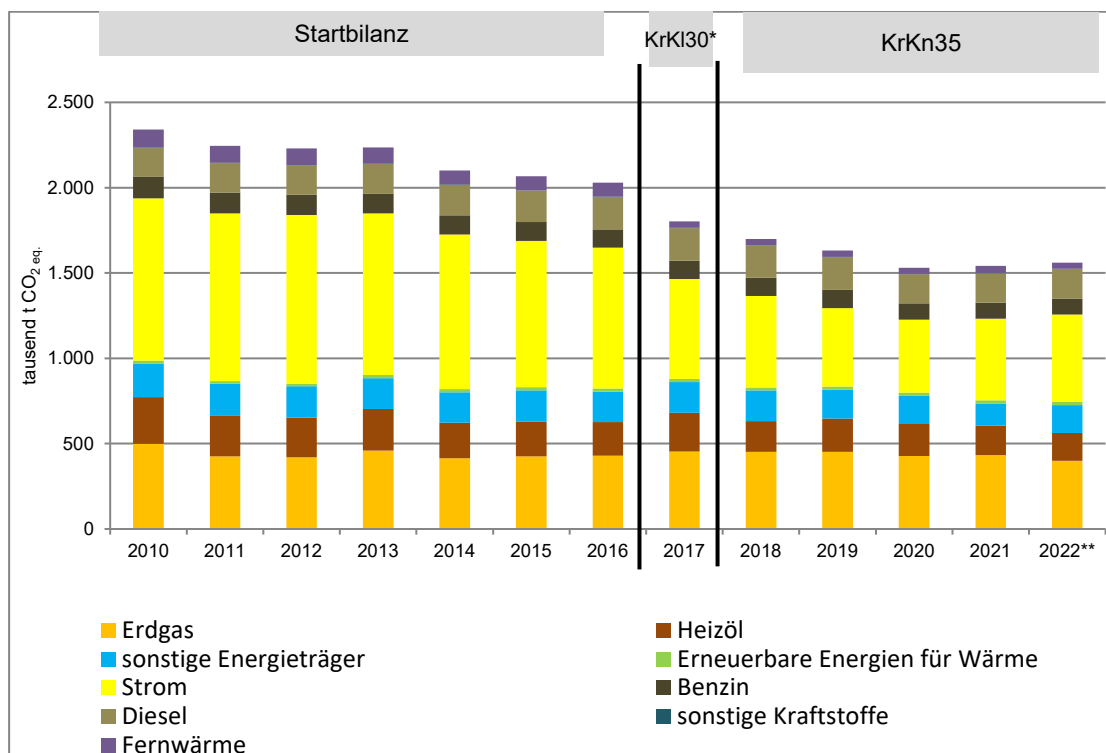


Abbildung 22 Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld für die Jahre 2010 bis 2022 nach Energieträgern, ohne ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten]

Auffällig ist aber, dass der Energieträger Strom – verglichen mit der Betrachtung der Endenergie in Abbildung 5 – bei den Emissionen einen deutlich größeren Anteil hat. Das liegt an den hohen Umwandlungs- bei der Stromerzeugung in Wärmekraftwerken und den Transport-Verlusten bei der Strombereitstellung. und den damit verbundenen hohen Emissionen je Kilowattstunde Endenergie.

⁴ inklusive der Vorketten

⁵ Ab 2017 wird abweichend vom BSKO-Standard der in DatWK ermittelte THG-Faktor für die Fernwärme in Krefeld genutzt.

In Bezug auf die Einsparpotenziale zeigt dies, dass sich Einsparungen beim Stromverbrauch und der Einsatz erneuerbarer Energien besonders positiv auf die resultierenden THG-Emissionen auswirken.

Beim Strom fällt weiterhin der starke Anstieg in den Jahre nach 2020 auf. Dieser Anstieg wird teilweise durch einen Mehrverbrauch an Strom verursacht. Eine weitere Ursache ist, dass der Anteil der Stromerzeugung aus Kohle am bundesweiten Strommix in den Jahren 2021 und 2022 gegenüber dem Jahr 2020 deutlich gestiegen ist und dass daher die spezifischen Emissionen des Stroms sich deutlich erhöht haben. Insofern ist der signifikante Anstieg des Strom-Anteils an den Emissionen im Jahr 2022 gegenüber dem Jahr 2020 überwiegend auf diesen Faktor zurückzuführen.

Die zur obigen Abbildung gehörigen Emissionszahlen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 5 Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld für die Jahre 2010 bis 2022 nach Energieträgern, ohne ETS-pflichtige Betriebe

Tausend t CO ₂ eq./a	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017*	2018	2019	2020	2021	2022 **
Strom	952	982	989	948	905	858	825	585	537	461	427	478	512
Heizöl	273	239	233	243	208	203	198	228	180	195	188	171	164
Erdgas	500	427	420	460	415	425	429	453	452	452	427	434	399
Fernwärme	106	98	96	93	81	83	83	38	35	37	36	40	34
EE für Wärme	17	16	15	19	19	20	19	19	18	18	17	20	19
Benzin	126	123	118	115	112	109	108	107	105	106	95	93	93
Diesel	169	172	172	176	179	184	188	191	190	191	171	174	173
Sonst. Kraftst.	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2
sonstige Energieträger	197	185	184	180	179	183	178	180	180	169	167	129	162
Summe	2.341	2.245	2.230	2.236	2.101	2.068	2.030	1.803	1.699	1.631	1.531	1.541	1.560

[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten]

Der Erdgasverbrauch trägt im Jahr 2022 ungefähr 26 % zu den Gesamtemissionen bei und liegt damit nach Strom (33 %) auf dem zweiten Platz. Benzin- und Dieselverbrauch verursachen 6 % bzw. 11 % der Gesamtemissionen. Heizöl trägt in Krefeld etwa zu 10 % der Emissionen bei. Alle restlichen verbleibenden Energieträger weisen zusammen einen Anteil von rund 14 % an den Emissionen auf.

In der folgenden Abbildung ist nachrichtlich die Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld (inkl. ETS-pflichtige Betriebe) nach Energieträgern für die Jahre 2017 bis 2022 dargestellt.

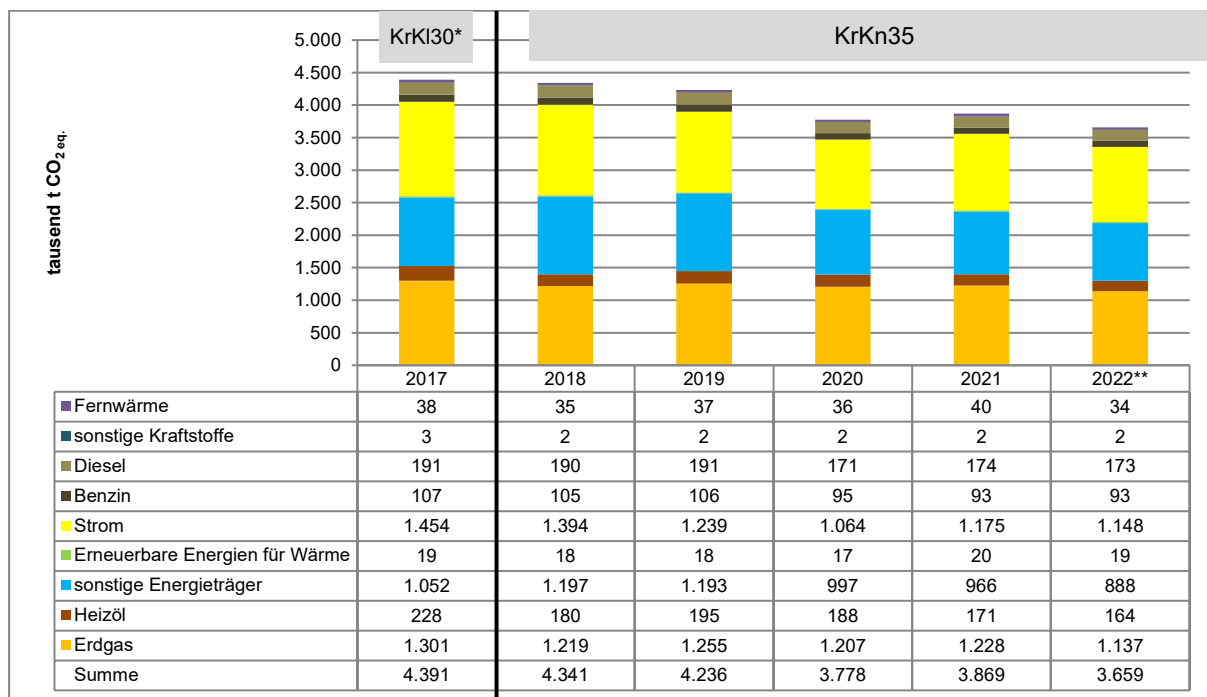


Abbildung 23 Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld für die Jahre 2017 bis 2022 nach Energieträgern, inkl. ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten]

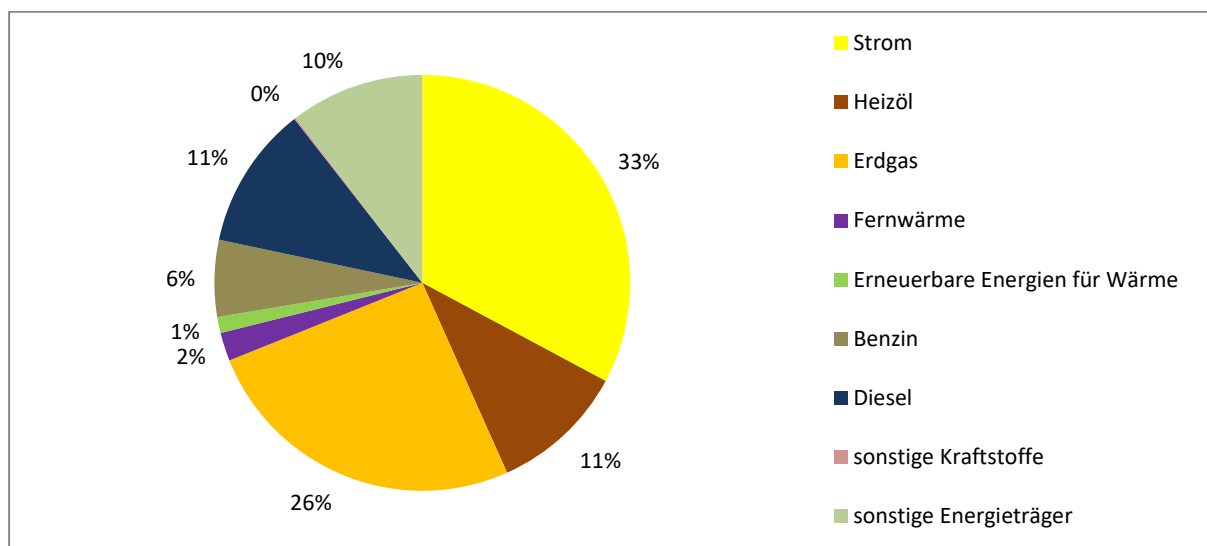


Abbildung 24 vorläufige THG-Emissionen in Krefeld im Jahr 2022 anteilig nach Energieträgern, ohne ETS-pflichtige Betriebe

Im Vergleich mit den Anteilen bei der Energiebereitstellung (Abbildung 6) wird weiterhin deutlich, dass die erneuerbaren Energien aufgrund ihrer günstigen Emissionsfaktoren einen vergleichsweise geringen Beitrag zu den THG-Emissionen leisten. Das gilt auch für die Fernwärme in Krefeld, da diese überwiegend aus (biogenem) Müll und nicht mit fossilen Energieträgern erzeugt wird. Die Berechnung der spezifischen THG-Emissionen für das Wärmeverbundsystem Krefeld, weist mit

ca. 156 g/kWh (DatWK 2022) einem deutlich günstigeren spezifischen Emissionsfaktor als z.B. Erdgas (ca. 247 g/kWh) auf. Dieser geringe Wert ergibt sich einerseits aufgrund der biogenen Anteile im Müll (z.B. Speisereste, Papier / Pappe) und andererseits aufgrund der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme.

Entwicklung des THG-Emissionen nach Anwendungszwecken

In der folgenden Abbildung 25 ist die Entwicklung der THG-Emissionen nach Anwendungszwecken dargestellt. Hier wird noch einmal deutlich, dass der Endenergieeinsatz für Wärmezwecke im Jahr 2022 mit Abstand den größten Anteil (50 %) hat. Nach dem hier angewendeten Bilanzierungsprinzip (Territorialbilanz) haben Mobilitätsanwendungen nur einen vergleichsweise geringen Anteil (17 %) an den THG-Emissionen. Stromanwendungen haben einen Anteil von rund 33 %.

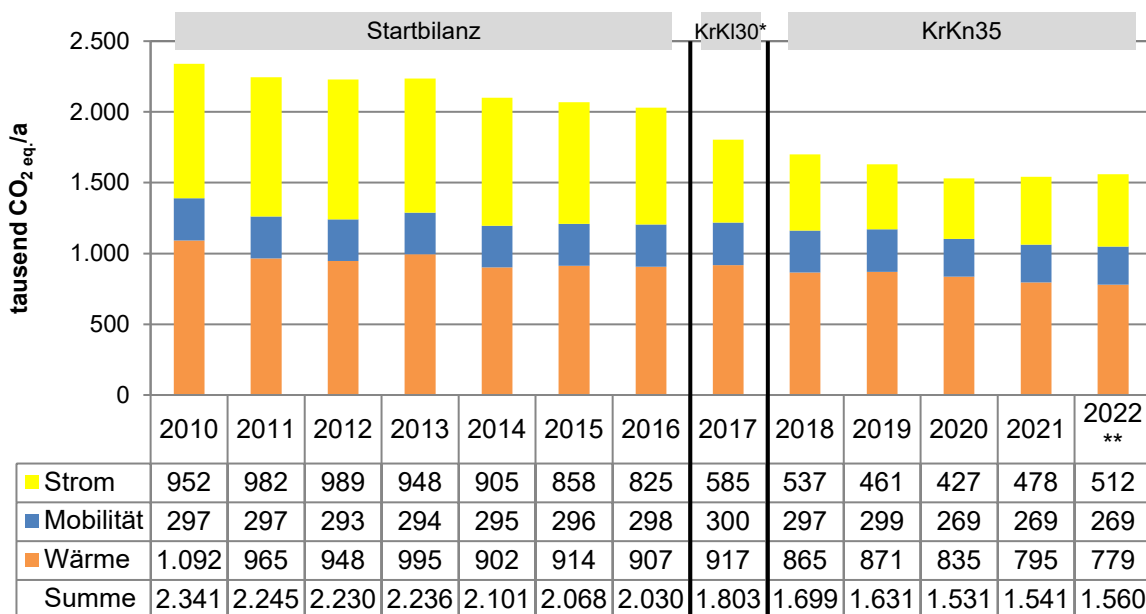


Abbildung 25 Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld 2010 bis 2022 nach Anwendungszwecken, ohne ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten]

Entwicklung des THG-Emissionen nach Verbrauchssektoren

Übernimmt man die Betrachtung nach den Verbrauchssektoren Haushalte, Verkehr, Wirtschaft und Kommune für die THG-Emissionen, so zeigt sich prinzipiell ein ähnliches Bild wie bei der Endenergie-Betrachtung.

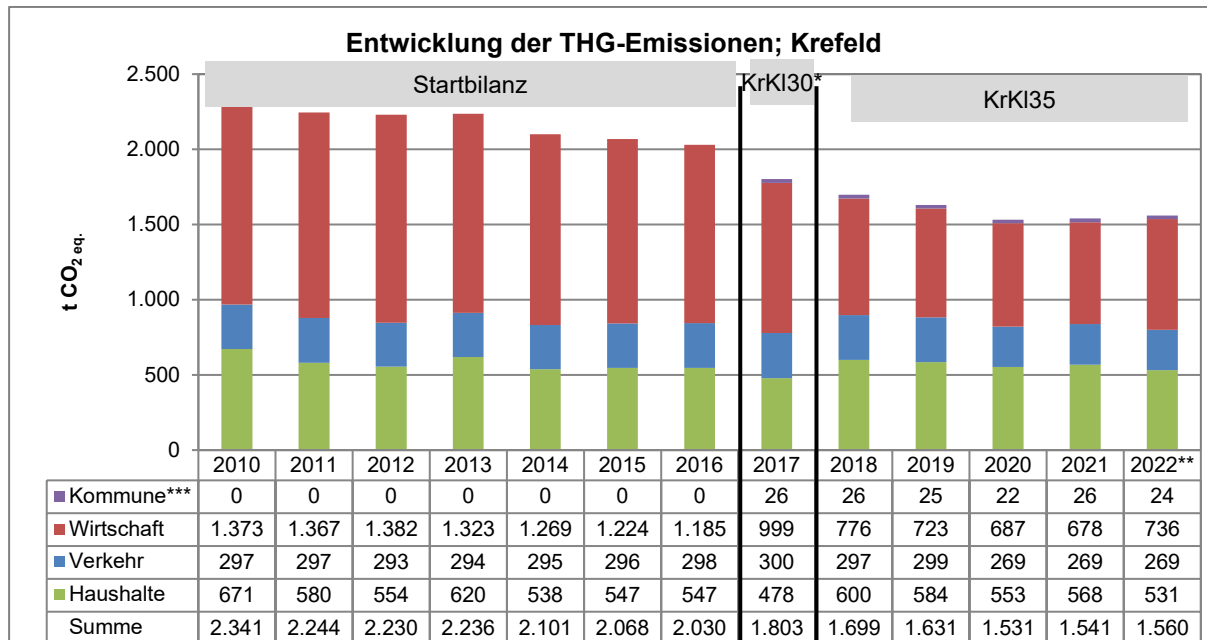


Abbildung 26 Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld von 2010 bis 2022 anteilig nach Verbrauchssektoren, ohne ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten; ***Kommune: (Liegenschaften Verwaltung / ZGM; KBK)

In der folgenden Abbildung ist nachrichtlich die Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld (inkl. ETS-pflichtige Betriebe) nach Verbrauchssektoren für die Jahre 2017 bis 2022 dargestellt.

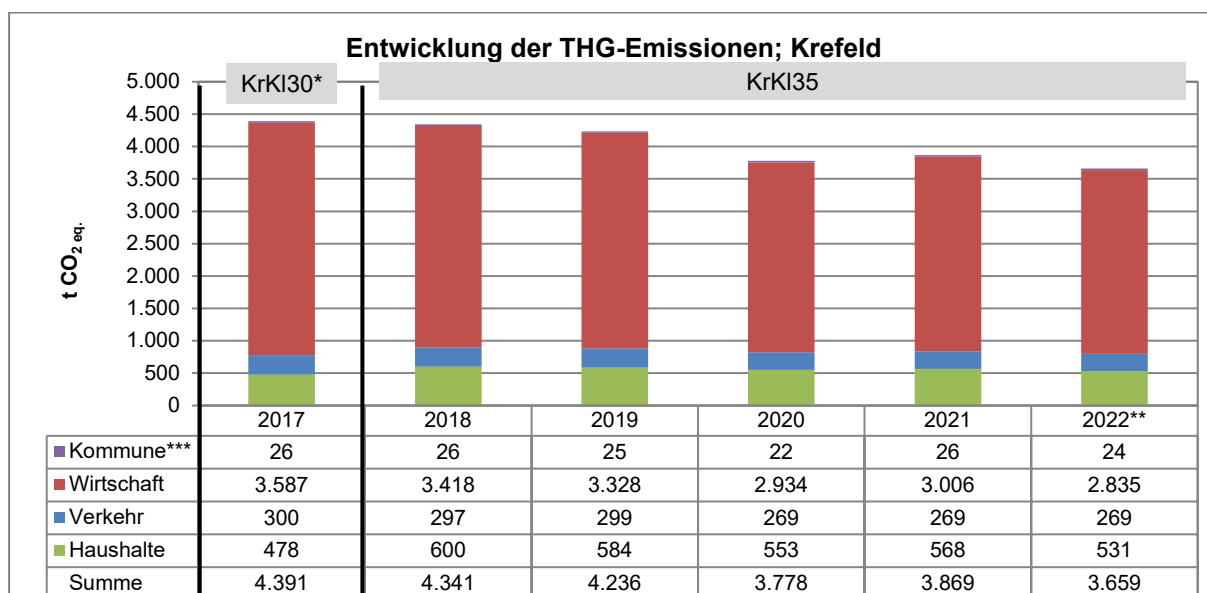


Abbildung 27 Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld von 2017 bis 2022 anteilig nach Verbrauchssektoren, inkl. ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten; ***Kommune: (Liegenschaften Verwaltung / ZGM; KBK)

Entwicklung der spezifischen THG-Emissionen je Einwohner:in

Die Entwicklung der spezifischen THG-Emissionen je Einwohner:in unterscheidet sich erwartungsgemäß wenig von der Entwicklung der Gesamtsummen, da sich die Zahl der Einwohner:innen im Betrachtungszeitraum kaum verändert hat.

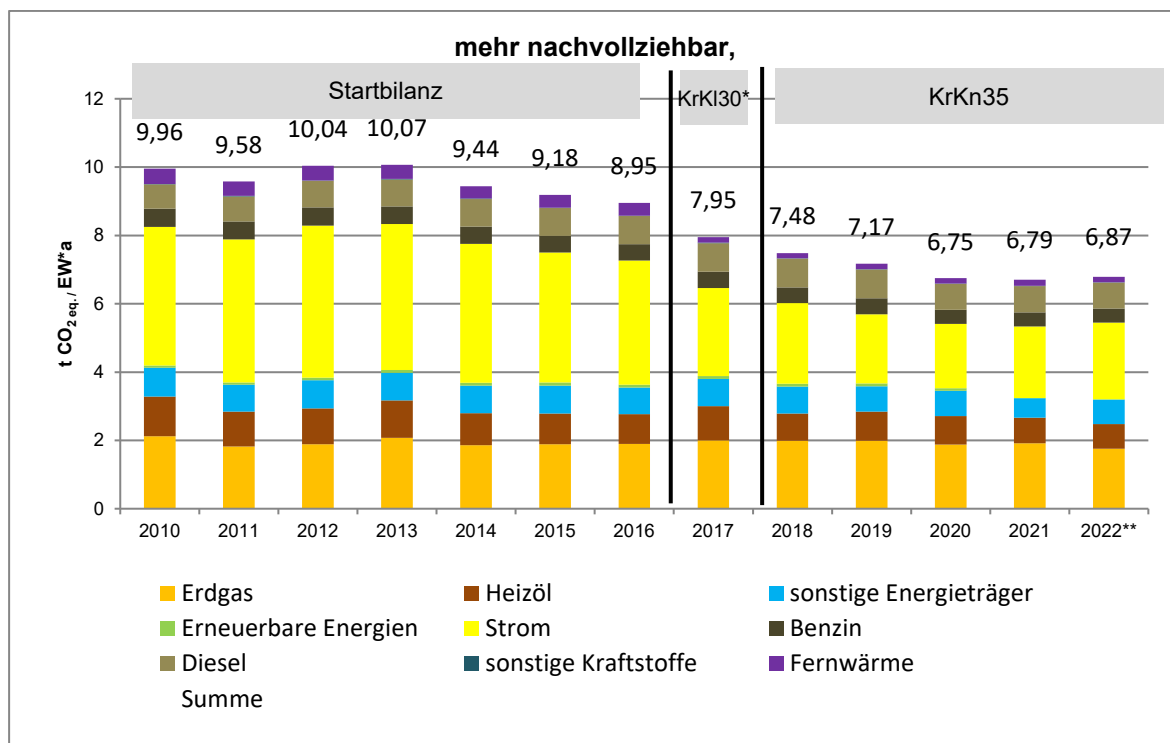


Abbildung 28 Entwicklung der einwohnerspezifischen THG-Emissionen in Krefeld aufgeteilt nach Energieträgern von 2010 bis 2022, ohne ETS-pflichtige Betriebe
[Erläuterung: *KrefeldKlima 2030, abweichende Datengrundlage; **vorläufige Daten]

Insgesamt lagen die spezifischen Emissionen im Jahr 2022 bei etwa 6,87 Tonnen je Einwohner:in. Das ist gegenüber 2017 eine Reduktion um ca. 1,08 t/a (ca. 14%) und liegt auch noch um ca. 0,3 t/a unter dem Wert für das Jahr 2019. Verglichen mit dem Jahr 2020, in dem bedingt durch die Corona-Pandemie besonders niedrige Emissionen zu verzeichnen waren, ist der Wert allerdings wieder um ca. 0,12 t/a angestiegen. Dieser Anstieg ist aber überwiegend auf den oben bereits erläuterten überproportionalen Zuwachs beim Strom infolge gestiegener Emissionsfaktoren im bundesweiten Strommix zurückzuführen.

1.7. Exkurs: Controlling der in KrefeldKlima 2030 definierten Ziele für die Jahre 2021 und 2022

Nachfolgend wird die Zielerreichung auf der Grundlage der durch den Rat am 23.06.2023 beschlossenen energiepolitischen Ziele von KrefeldKlima 2030 dargestellt.

Bei der Darstellung des Basisjahrs 2017 werden die Zahlen gem. aktueller Methodik (siehe dazu Kap. 1.2) verwendet und nicht die in KrefeldKlima2030 veröffentlichten Daten. Zu beachten ist weiterhin, dass die Daten zum Endenergieverbrauch witterungsbereinigt sind. Insofern weichen die Zahlen zum Endenergieverbrauch für Wärme von denen aus Abbildung 7 ab.

Tabelle 6 Gegenüberstellung der Zielerreichung, aktuelle angepasste Datenlage

Hauptziel	Stand 2017	Ziel 2050	2021				2022				
			Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist*			
spez. CO ₂ -Emissionen	[tE*a]	7,95	2,0	7,23	-9,1%	6,79	-14,6%	7,05	-11,3%	6,87	-13,6%
Zwischenziele für 2030											
		Stand 2017	Ziel 2030	Soll		Ist		Soll		Ist*	
Reduktion der CO ₂ -Emissionen um mindestens 35 % gegenüber 2017 durch		7,95	-35%	7,10	-11%	6,79	-15%	6,88	-13,5%	6,87	-13,6%
Senkung des Endenergieverbrauchs (jeweils witterungsbereinigt im Vergleich zum Jahr 2017) für											
- Wärme um 13 %	[GWh]	4.711	-13%	4.522	-4%	3.963	-16%	4.475	-5%	4.415	-6%
- Strom um 14 % (ohne Berücksichtigung des zusätzlichen Stromverbrauchs für E-Mobilität)	[GWh]	1.057	-14%	1.011	-4%	1.017	-4%	1.000	-5%	1.085	3%
- Mobilität um 23 % (inkl. des zusätzlichen Stromverbrauchs für E-Mobilität)	[GWh]	953	-23%	885	-7%	878	-8%	868	-9%	873	-8%
bilanzielle Deckung des Stromverbrauchs durch erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung im Jahr 2030: 33 %	[%]	15,2%	33%		21%		16%		22%		16%
Deckung des Wärmeverbrauchs durch erneuerbare Energien und Kraft-Wärme-Kopplung: 20 %	[%]	8,2%	20%		12%		12%		13%		10%
Reduktion des Heizölverbrauchs für Wärmeanwendungen bis zum Jahr 2030 um über 45 % gegenüber 2017 [MWh]	[GWh]	718	-45%	618	-14%	537	-25%	593	-17%	515	-28%

*vorläufige Daten

Werden die (bezogen auf die THG-Emissionsfaktoren und die Verkehrsmengen) vorläufigen Daten von 2022 zugrunde gelegt, werden zwar einige Ziele, die in KrefeldKlima 2030 definiert wurden, verfehlt. Beim zentralen Ziel „Reduktion der THG-Emissionen“ liegt das Jahr 2022 aber gerade noch auf dem Zielpfad. Das gilt auch für den Endenergieverbrauch zu Wärmezwecken. Das Ziel den Heizölverbrauch zu verringern, wurde in 2022 sogar deutlich übererfüllt. Defizite ergeben sich insbesondere beim Stromverbrauch und bei den Zielen, die die Deckung des Energieverbrauchs durch erneuerbare Energien betrifft. Auch der Mobilitätssektor stagniert. Demgegenüber wurden im Jahr 2021 die meisten in KrefeldKlima 2030 definierten Ziele erreicht.

Generell gilt es an dieser Stelle anzumerken, dass die in KrefeldKlima 2030 definierten Ziele auf die THG-Neutralität im Jahr 2050 abzielen. Sie sind also weitaus weniger ambitioniert, als dies für aktuellen Bestrebungen, die THG-Neutralität bereits 2035 erreichen zu wollen, erforderlich ist.

Generell müssen die bereits im Kapitel 1.3 benannten Sondereffekte bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden. Deren Einfluss lässt sich allerdings nicht exakt quantifizieren. Abzuwarten bleibt auch, wie lange die Effekte andauern bzw. wirken. Nicht unerheblich sind auch die Effekte, die durch die Umrechnung der Verbrauchsdaten für Wärme im Rahmen der Klimabereinigung auftreten können. Hierbei kann es von Jahr zu Jahr zu Über- oder Unterschätzungen der Verbräuche kommen.

Daher ist im Rahmen einer regelmäßigen Fortschreibung der Energie- und THG-Bilanz die Zielerreichung über einen längeren Zeitraum zu beobachten und es sind Ausreißer nach oben und unten zu identifizieren und Trends zu erfassen.

2. Wärmewende (Fokusbetrachtung)

2.1. Grundlagen

Etwa die Hälfte (52 %) des Endenergieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschlands entfiel im Jahr 2022 auf den Wärmesektor, in Krefeld (ohne ETS-pflichtige Betriebe) waren es rund 66 % (siehe Tabelle 2). Die Wärmewende stellt damit einen wichtigen Bestandteil der Energiewende zur Erreichung der Klimaschutzziele auf nationaler wie auf kommunaler Ebene dar. Mit der sehr ambitionierten Zielsetzung zur Erreichung einer Klimaneutralität bis spätestens 2035 geht die Stadt Krefeld über die Zielsetzung der Bundesrepublik bis 2045 sowie der EU bis 2050 hinaus. Um dieser Herausforderung gerecht zu werden, wurde im Vorgriff auf eine umfassende kommunale Wärmeplanung im Rahmen des Gutachten KrKN 35 eine „Fokusbetrachtung Wärmewende“ durchgeführt. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- Durch eine (zumindest grob) räumlich sowie sachlich differenzierte Analyse wird der Status Quo der aktuellen Verbrauchs- und Versorgungssituation aufgezeigt.
- Anhand von vier Szenarien wird aufgezeigt, welche Entwicklungen absehbar sind und welche weiter gehenden Transformationsschritte zur Erreichung der Treibhausgasneutralität in Krefeld im Jahr 2035 erforderlich werden. Dazu wurden die folgenden Szenarien betrachtet:
 - I. Trendszenario: Fortführung der aktuellen Marktentwicklungen und Klimaschutzmaßnahmen
 - II. Basisszenario: Ausrichtung der technischen Maßnahmen an der Zielsetzung des Bundes 2045
 - III. Zielszenario 1 („all-electric“): Ausrichtung der technischen Maßnahmen mit Fokus Elektrifizierung des Wärmesektors an der Zielsetzung, die Treibhausgasneutralität bereits in 2035 zu erreichen
 - IV. Zielszenario 2 („grüner H₂“): Ausrichtung der technischen Maßnahmen an der Zielsetzung Treibhausgasneutralität 2035 unter der Annahme, dass ausreichend grüner Wasserstoff bis 2035 zur Verfügung gestellt werden kann
- Eine groben Potenzialanalyse zur Nutzung erneuerbarer Wärmequellen im Krefelder Stadtgebiet zeigt die Handlungsoptionen zur Deckung des Bedarf durch Quellen innerhalb Krefelds auf.
- Es werden technische Maßnahmen aufgezeigt und im Lageplan grob verortet, die zur Zielerreichung der Klimaneutralität bis 2035 notwendig sind.

Emissionshandelspflichtige Betriebe:

Bereits im Vorfeld der Untersuchung ist klar, dass ein wesentlicher Energieaufwand zur Bereitstellung von Wärme (und Prozesswärme) in Krefeld auf den Industriesektor entfällt. Durch die in Krefeld ansässige Großindustrie werden ein Großteil der anfallenden Treibhausgasemissionen im Europäischen Emissionshandel erfasst und bilanziert. Diese unterliegen demnach einem festen Reduktionspfad nach dem sogenannten „Cap & Trade-Prinzip“, indem jährliche Obergrenzen zum Erwerb von CO₂-Zertifikaten festgelegt und damit der jährliche Ausstoß von Treibhausgasemissionen begrenzt werden. Die Energieverbräuche und Treibhausgasemissionen der ETS-pflichtigen Betriebe in Krefeld werden daher in der Gesamtenergie- und -Treibhausgasbilanz nicht berücksichtigt.

Datengrundlage und Datengüte:

Zur Analyse der aktuellen Versorgungssituation im Stadtgebiet Krefeld wurden die folgenden Datensätze bereitgestellt und dienen als Datengrundlage:

- Liegenschaftskataster des Katasteramts mit Angabe der Grundflächen, Geschossanzahlen und der wesentlichen Nutzungen

- Verbrauchsdaten Erdgas für das Jahr 2020 der Netzgesellschaft Niederrhein (NGN) mit Angabe der gelieferten Jahresmengen an Erdgas je Baublock und Anzahl an Anschlussnehmern
- Verbrauchsdaten Strom für das Jahr 2020 der Netzgesellschaft Niederrhein (NGN) mit Angabe der gelieferten Jahresmengen an Strom zur Wärmeerzeugung je Baublock
- Erhebung der Schornsteinfegerdaten der Stadt Krefeld für das Jahr 2019 mit Angabe der Anzahl und thermischer Leistung der Feuerungsanlagen, eingesetzte Brennstoffe sowie Baualtersklassen der Erzeugungsanlagen
- Objektliste der Wohnstätte mit Angabe der Objektadresse, Baujahr und Wohnfläche je Objekt
- Ergebnisse aus dem Gutachten „Datengrundlage für Wärmekonzepte (DatWK)“ mit Angabe der aktuellen und der prognostizierten CO₂-Emissionsfaktoren der Fernwärme für die Jahre 2025, 2030 und 2035 bei konstantem Erzeugungsmix sowie bei Verdopplung des Fernwärmeabsatzes

Die o.g. Datensätze beinhalten Verbrauchsdaten auf Blockebene. Die Größe der gewählten Baublöcke variiert stark. Eine gebäudescharfe bzw. nutzerscharfe Zuordnung von Verbräuchen ist damit nicht möglich. Die strategischen Maßnahmen und Notwendigkeiten zur Wärmewende werden daher auf der Ebene der statistischen Bezirke Krefelds aufgezeigt.



Abbildung 29 Statische Bezirk der Stadt Krefeld

2.2. Ausgangslage und Energieverbrauch

Hinweis:

Für die Fokusbetrachtung Wärmewende wurden seitens der Netzbetreiber ein anderer Datensatz (Daten je Baublock) zur Verfügung gestellt als für die gesamtstädtischen Energie- und THG-Bilanz (siehe Kap. 1). Diese Datensätze wurden abgeglichen und homogenisiert. Trotzdem kann es zwischen diesen beiden Datensätzen zu kleineren Abweichungen in der Gesamtsumme und bei der Aufteilung auf die Energieträger kommen.

Energiebilanz

Die genannten Verbrauchsdatensätze wurden baublockscharf analysiert und georeferenziert in einen Lageplan überführt. Hierbei sind alle leitungsgebundenen Endenergieverbräuche durch Fernwärme, Erdgas oder Heizstrom erfasst. Dezentrale Verbraucher:innen von Heizöl, Biomasse, Solarkollektoren, Kohle und Ähnlichem sind in der Bilanz erfasst, können jedoch nicht georeferenziert werden.

Nachfolgende Abbildung zeigt den Energieträgermix des Wärmesektors im Krefelder Stadtgebiet einschließlich der ETS-pflichtigen Betriebe:

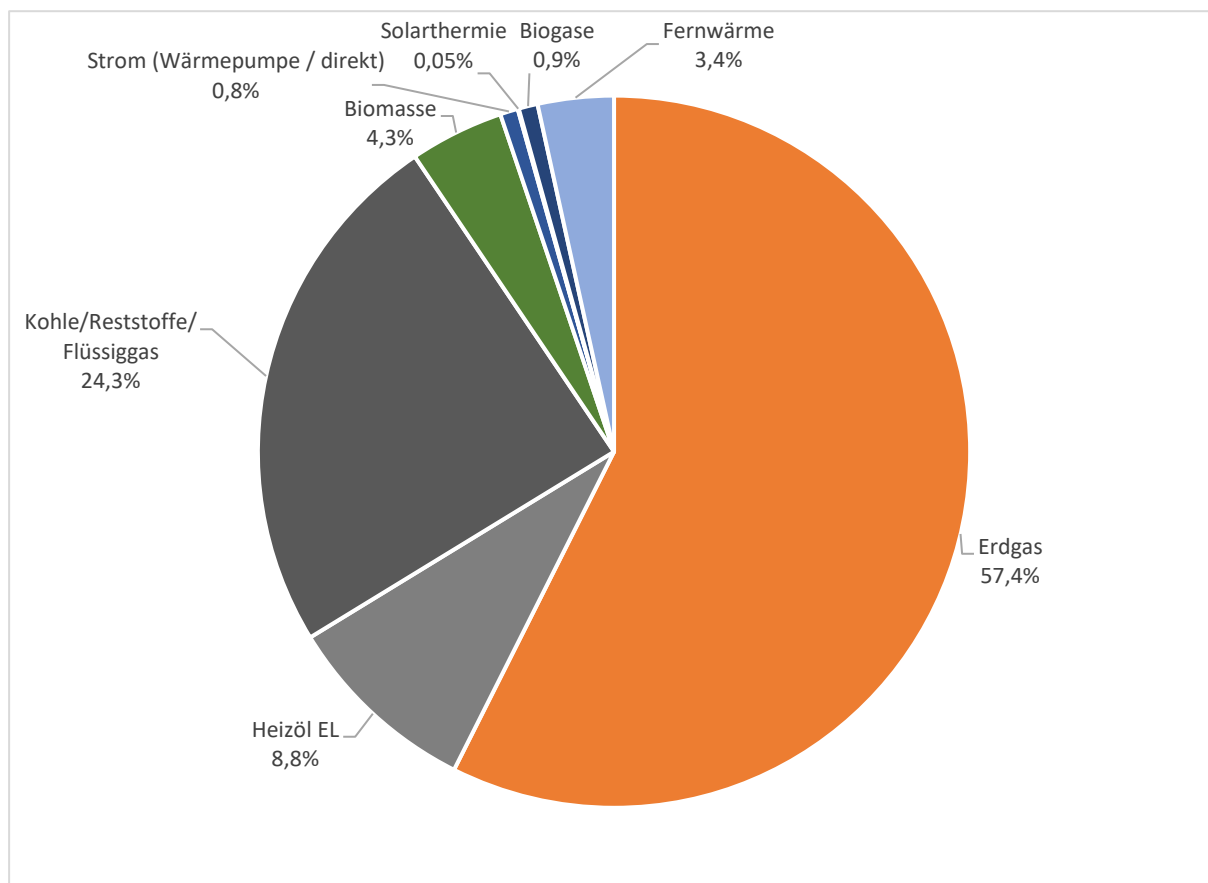


Abbildung 30 Energiemix Wärme im Status-Quo 2020 (inkl. ETS-pflichtiger Betriebe)

Die Wärmeverbraucher im Krefelder Stadtgebiet, bestehend aus Haushalten, Gewerbe/Handel/ Dienstleistung (GHD), kommunale Verwaltung sowie Industrie, werden überwiegend zu rund 58 % mit Erdgas (und in geringem Umfang auch mit Flüssiggas) versorgt. Ein weiterer großer Anteil entfällt auf Steinkohle hauptsächlich zur Versorgung des Chemparks mit Prozesswärme. Ein Anteil von circa 3,4 % ist fernwärmeversorgt. Weitere Energieträger sind der Abbildung oben zu entnehmen. Damit erfolgt die Wärmeversorgung im Krefelder Stadtgebiet mit weit über 90 % fossil.

In der folgenden Abbildung ist der Energiemix für Wärme im Status Quo ohne Berücksichtigung der ETS-pflichtige Betriebe dargestellt. Es wird deutlich, dass zwar der Anteil fossiler Energieträger hier deutlich kleiner ist, aber immer noch über 80 % beträgt. Innerhalb der fossilen Energieträger nimmt der Heizölanteil zu, während insbesondere der Kohle-Anteil abnimmt. Erdgas (und in geringem Umfang auch Flüssiggas) ist mit über 52 % auch hier der dominierende Energieträger. Der Fernwärmeanteil beträgt ca. 7 %.

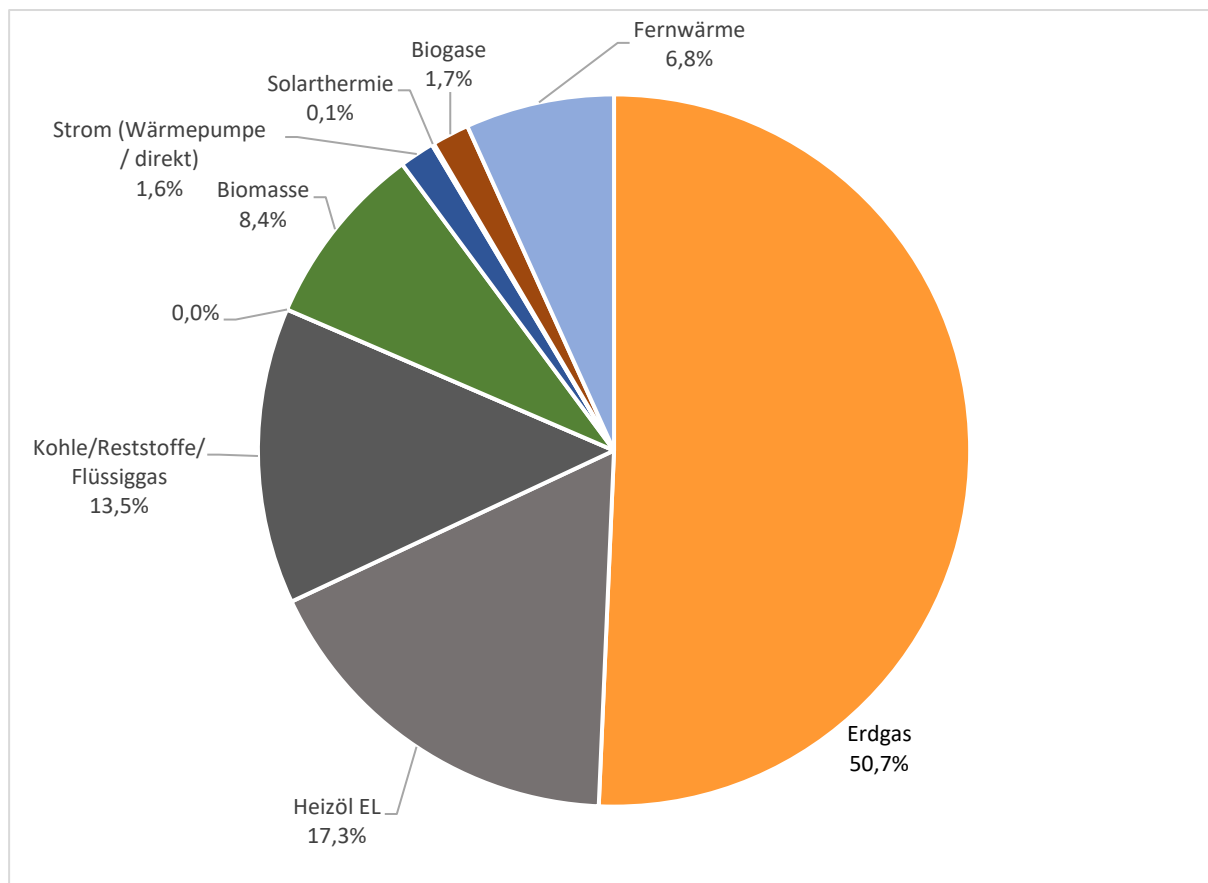


Abbildung 31 Energiemix Wärme im Status-Quo 2020 (ohne ETS-pflichtige Betriebe)

Tabelle 7 Energiemix Wärme im Status-Quo 2020 (ohne ETS-pflichtige Betriebe)

Energieträger	[GWh]
Erdgas	1.729
Heizöl EL	592
Kohle/Reststoffe/Flüssiggas	459
Biomasse	286
Strom (Wärmepumpe / direkt)	54
Solarthermie	3
Biogase	58
Fernwärme	231
Gesamt	3.412

Die nächste Abbildung zeigt die erfassten Wärmeverbräuche nach Verbrauchsgruppen (Haushalte, Kommunale Verwaltung, GHD sowie nichtemissionshandels- und ETS-pflichtigen Betrieben). Darüber hinaus wird hinsichtlich des erforderlichen Temperaturniveaus in Heizwärme (ca. 60 °C bis 90 °C), Warmwasser (>60 °C) sowie Prozesswärme (>>100 °C; ggf. auch Prozessdampf) unterschieden:

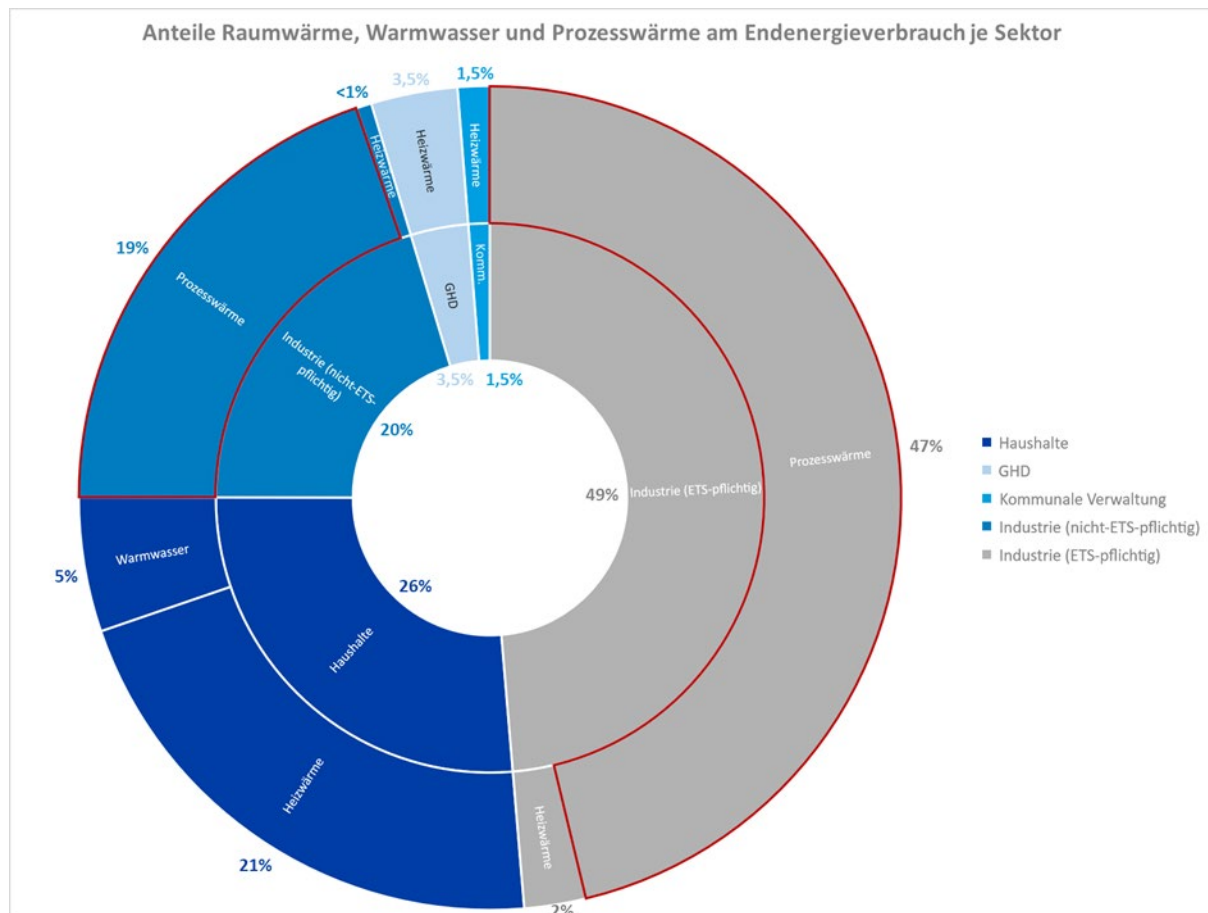


Abbildung 32 Anteile Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme am Endenergieverbrauch je Sektor, 2020

Fast die Hälfte des Endenergieverbrauchs im Stadtgebiet Krefeld entfällt dabei auf die ETS-pflichtigen Betriebe und besteht mit schätzungsweise 4.500 GWh/a aus Prozesswärmebedarf. Weitere 20 Prozent werden den nicht ETS-pflichtigen Betrieben zugeordnet, ebenfalls größtenteils bestehend aus Prozesswärmebedarf, sowie 26 Prozent den Haushalten.

Sanierungsbedarf

Zur Abschätzung des aktuellen Effizienzniveaus sowie des daraus resultierenden Sanierungsbedarfs im Gebäudesektor werden die erfassten Endenergiebedarfe der leitungsgebundenen Wärmeversorgung (Fernwärme, Erdgas, Heizstrom) auf die wärmerlevanten Nutzflächen nach Angaben des Liegenschaftskatasters bezogen und als spezifischer Wärmebedarf auf Baublockebene projiziert.

Dabei wurden typische Nutzungsgrade/Anlagenwirkungsgrade überschlägig berücksichtigt. Verbrauchsdaten dezentraler Erzeugungsanlagen auf Basis nicht leitungsgebundener Energien (insbesondere Öl, Festbrennstoffe) liegen nicht blockweise vor und konnten daher nicht berücksichtigt werden. Unschärfen gibt es darüber hinaus dadurch, dass die Verbrauchsdaten nur baublockweise zur Verfügung gestellt wurden und dass bei dieser Granularität keine Unterscheidung hinsichtlich der Einsatzzwecke (Heizung/Warmwasser oder Prozesswärme vorgenommen werden kann. Daher kann-

ten nur blockweise Mittelwerte für alle Gebäude und Einsatzzwecke ermittelt werden, die im Einzelfall deutlich von den tatsächlichen spezifischen Verbrauchswerten für Heizung und Warmwasser abweichen können. Hier wird eine vertiefte Betrachtung im Rahmen einer kommunalen Wärmeplanung empfohlen.

In der folgenden Abbildung ist die räumliche Verteilung des spezifischen Wärmeverbrauchs (bezogen auf die Nutzfläche) im Überblick dargestellt. Aufgrund o.g. Unschärfen wird bewusst auf eine Legende verzichtet.

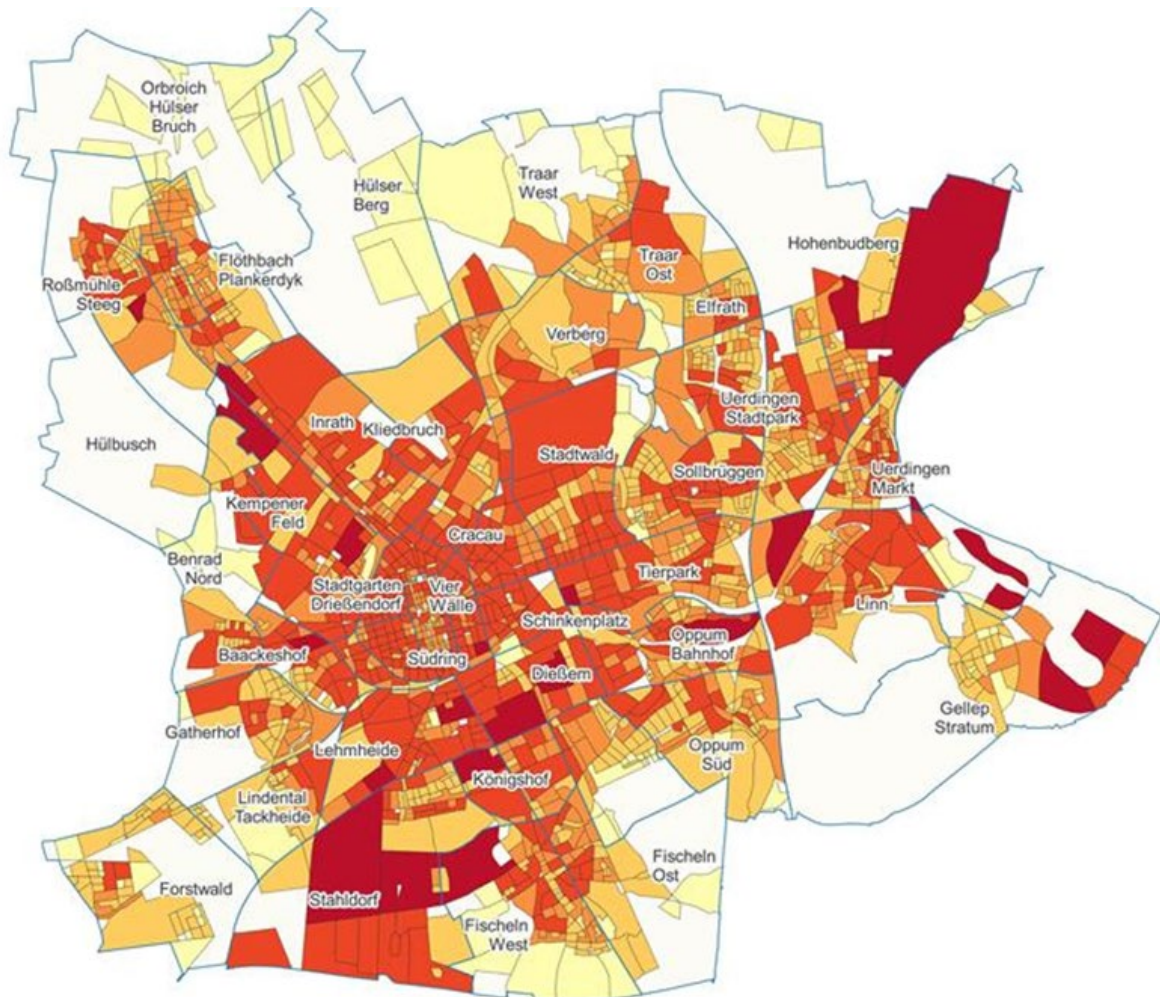


Abbildung 33 Wärmeverbrauch je m² Nutzfläche der Bestandsgebäude im Stadtgebiet Krefeld

Entsprechend der Farbgebung (rot = hoher spezifischer Wärmeverbrauch, gelb = niedriger spezifischer Wärmeverbrauch) weist ein Großteil der Bestandsgebäude im Krefelder Stadtgebiet einen hohen bis sehr hohen spezifischen Wärmeverbrauch auf.

Herbei stehen insbesondere die Industriestandorte Chempark im Nord-Osten, Evonik im Stadtteil Dießem sowie Outokumpu in Stahldorf hervor mit extrem hohen spezifischen Wärme- bzw. hauptsächlich Prozesswärmeverbräuchen.

In der folgenden Tabelle sind die Durchschnittswerte des spezifischen Wärmeverbrauch über alle Bestandsgebäude in Krefeld nach Nutzergruppen dargestellt.

Tabelle 8 Durchschnittlicher spezifischer Wärmeverbrauch des Gebäudebestand in Krefeld nach Nutzergruppen

	Haushalte	GHD	Kommunale Verwaltung
Geschätzte Nutzfläche	11.200.000 m ²	1.400.000 m ²	700.000 m ²
Spez. Heizwärmeverbrauch*	158 kWh/m ² a	163 kWh/m ² a	121 kWh/m ² a

*zzgl. Wärmeverbräuche nicht leitungsgebundener Energien

Verglichen mit dem Bundesdurchschnitt für Haushalte von rund 130 bis 140 kWh/m²a zeigt der Krefelder Gebäudebestand tendenziell höhere Wärmebedarfe für Heizwärme auf. Dies zeigt, dass über das gesamte Krefelder Stadtgebiet ein hoher Sanierungsbedarf des Gebäudebestands besteht. Damit einher gehen hohe erforderliche Vorlauftemperaturen der Gebäudeheizsysteme (>70°C), die für eine effiziente Einbindung erneuerbarer Wärmequellen nicht oder nur bedingt geeignet sind.

Zur Einordnung der Notwendigkeit von Sanierungsaktivitäten wird entsprechend der Zielsetzung des Bundes zum Erreichen des sogenannten „klimaneutralen Gebäudebestands“ bis zum Jahr 2045 ein Effizienzstandard angestrebt, der dem aktuellen KfW-55-Standard mit rund 30 bis 40 kWh/m²a (zzgl. Warmwasserbedarf) entspricht.

Treibhausgasbilanz

Unter Anwendung der gültigen Treibhausgasemissionsfaktoren (vgl. Tabelle 1) werden die erfassten Endenergiebedarfe je Energieträger in eine Treibhausgasbilanz überführt.

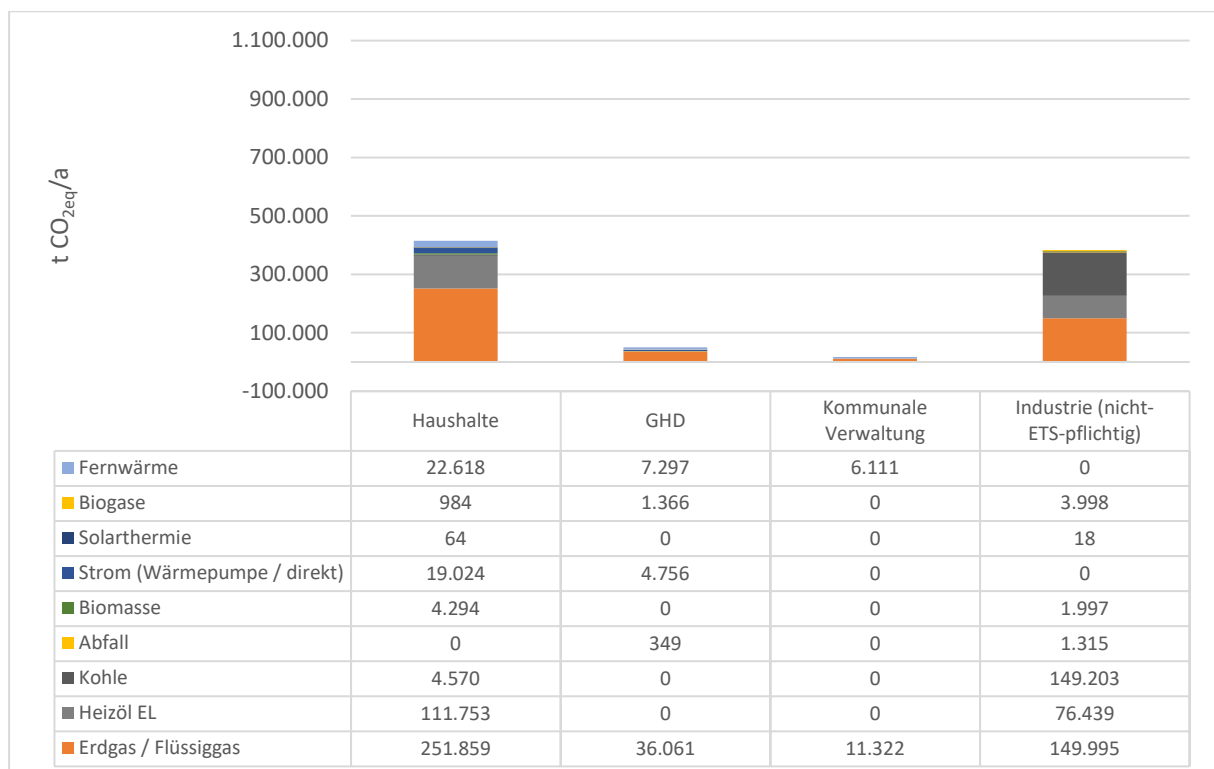


Abbildung 34 THG-Emissionen für die Wärmeerzeugung in der Stadt Krefeld je Sektor nach Energieträger, 2020 (ohne ETS-pflichtige Betriebe)

Mit ca. 415.000 t CO_{2eq}/a bzw. 48 % anteilig stellen die Haushalte den größten Emittenten im Gebäudesektor dar, dicht gefolgt vom nicht ETS-pflichtigen Industriesektor mit ca. 383.000 t CO_{2eq}/a bzw. 44 % anteilig. Die THG-Emissionen entstehen dabei im Wesentlichen aus der Verbrennung von Erdgas, Heizöl sowie Steinkohle im Industriesektor. Die Fernwärme kommt lediglich im Gebäudesektor (Haushalte, GHD, Kommunale Verwaltung) zum Einsatz und verursacht rund 36.000 t CO_{2eq}/a.

2.3. Potenziale

Zur Vorbereitung strategischer technischer Maßnahmen zur Wärmewende werden unterschiedliche Potenziale zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung sowie zum Energieträgerwechsel durch Nutzung erneuerbarer Wärmequellen im Krefelder Stadtgebiet grob geprüft. Dabei wird sich auf folgende Potenziale konzentriert und die Wichtigsten im nachfolgenden erläutert:

1. Energetische Sanierung im Gebäudesektor
2. Effizienzmaßnahmen im Industriesektor
3. Nutzung erneuerbarer Energien in dezentralen / gebäudebezogenen Anlagen
 - oberflächennahe Geothermie, Grundwassernutzung, Umweltwärme (Luft)
 - Solarenergie
 - feste Biomasse
4. Zentral nutzbare sowie block- oder quartiersbezogene Potenziale
 - Abwärme aus industriellen oder gewerblichen Prozessen
 - Wärmenetze und zentrale Versorgungslösungen auf Block-, Quartiers- und Stadtteil-ebene
 - Ausbau und Dekarbonisierung der Fernwärme (incl. tiefe Geothermie)
 - Nutzung von grünem Wasserstoff (H₂)

Energetische Gebäudesanierung im Gebäudesektor

Zur Erreichung der Klimaschutzziele ist die energetische Gebäudesanierung ein elementarer Baustein. Durch eine energetische Sanierung kann insbesondere der Wärmeverbrauch eines Gebäudes deutlich gesenkt werden. Je nach Sanierungstiefe lassen sich große Einsparungen erzielen. Die energetische Gebäudesanierung schafft demnach auch die Grundlage zur effizienten Einbindung erneuerbarer Wärmequellen, indem Vorlauftemperaturen abgesenkt werden können. Daher wird folgende Vorgehensweise zur Sanierung und Modernisierung auf Gebäudeebene empfohlen:

- I. Energie einsparen
- II. Energieeffizienz steigern und
- III. Erneuerbare Energien nutzen

Exemplarisch anhand eines typischen erdgasversorgten Mehrfamilienhauses der Baualtersklasse 1938 bis 1961 kann im Zuge einer vollumfänglichen Sanierung auf den Effizienzstand KfW-100 folgende Endenergie- sowie CO₂-Einsparung erzielt werden:



BASISINFORMATIONEN:

Gebäudeart:	Mehrfamilienhaus
Nutzung:	Wohnen
Baualter:	1938 bis 1961
Versorgungsart:	Erdgaskessel

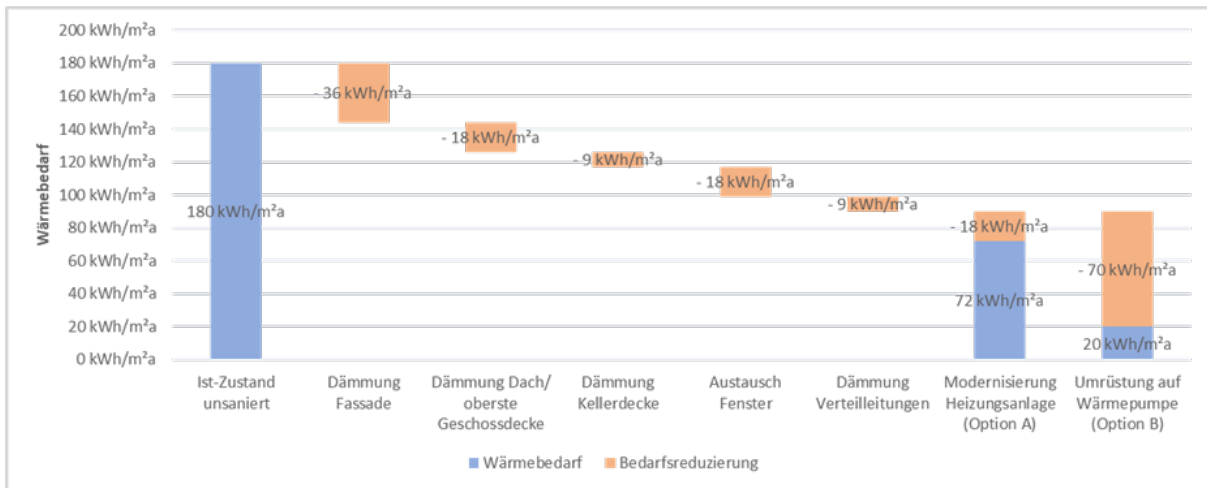


Abbildung 35 Spezifischer Wärmebedarf bei einer Stufenweisen Sanierung eines beispielhaften MFH (1938-1961)

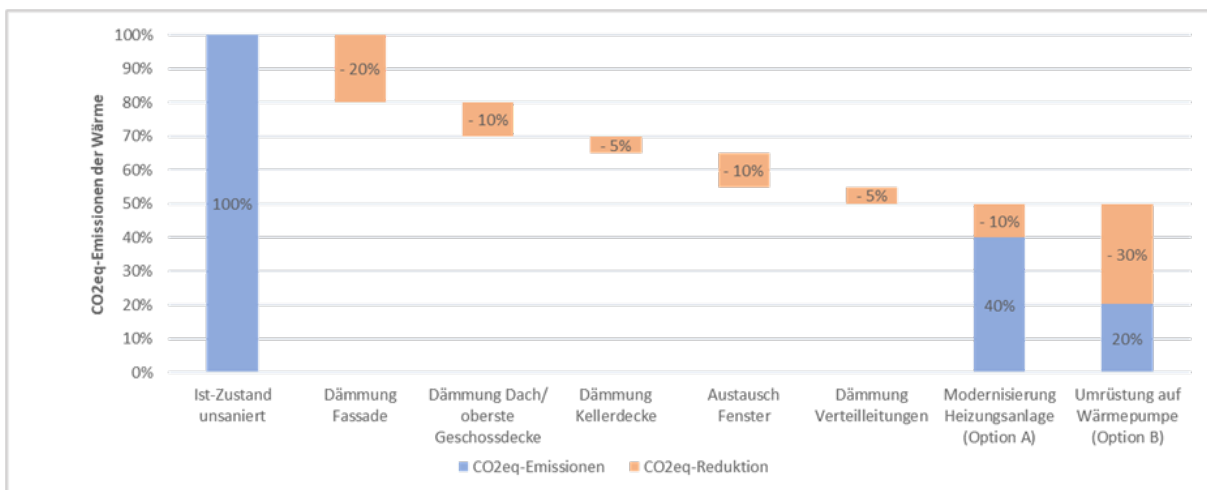


Abbildung 36 THG-Emissionen der Wärmeversorgung bei einer Stufenweisen Sanierung eines beispielhaften MFH (1938-1961)

Durch vollumfängliche Sanierung und Modernisierung/Energieträgerwechsel durch Nutzung von Wärmepumpentechnik kann im o.g. Beispiel der CO₂-Ausstoß um bis zu 80% reduziert werden.

In den nachfolgenden Szenarien zur Wärmewende werden die Notwendigkeiten aufgezeigt, den durchschnittlichen Effizienzstandard des gesamten Gebäudebestands darüberhinausgehend zu erhöhen. Die durchschnittlichen Heizwärmeverbräuche in Kapitel 5.3 zeigen, dass eine hohe Notwendigkeit für stadtweite umfangreiche Sanierungsmaßnahmen besteht, die über die herkömmlichen Sanierungsaktivitäten weit hinausgehen,

- a. um Energie zur Bereitstellung von Wärme einzusparen und
- b. um die Grundlage zur effizienten Einbindung erneuerbarer Wärmequellen auf niedrigem Temperaturniveau durch Absenkung der Vorlauftemperaturen zu schaffen.

Zum Erreichen des sogenannten klimaneutralen Gebäudebestandes bis 2045 wird seitens des Bundes ein mittlerer Effizienzstandard angestrebt, der dem aktuellen KfW-55-Standard mit rund 30 bis 40 kWh/m²a (zzgl. Warmwasserbedarf) entspricht. Aufgrund der Zielsetzung der Stadt Krefeld zum Erreichen der Klimaneutralität bereits im Jahr 2035 müssen die Sanierungsaktivitäten massiv gesteigert werden. Die aktuelle Sanierungsrate beträgt etwa 1 % pro Jahr. Um circa ¾ des Krefelder Gebäude-

bestandes bis 2035 energetisch zu ertüchtigen, wird eine Sanierungsrate von >3% pro Jahr erforderlich. Dies entspricht ungefähr einer Nutzfläche von rund 400.000 m² jährlich, die umfangreich energetisch zu sanieren ist.

Effizienzmaßnahmen im Industriesektor

Neben dem Gebäudesektor (der auch die Nicht-Wohngebäude abdeckt) trägt in Krefeld insbesondere der Industriesektor (hier die Prozesswärme) zu den THG-Emissionen bei. Ähnlich wie im Gebäudesektor sind folgende Schritte notwendig:

- I. Energie einsparen
- II. Energieeffizienz steigern und
- III. Erneuerbare Energien nutzen

Die ersten beiden Schritte werden hier als Energieproduktivität/Effizienzmaßnahmen zusammengefasst. Die letzten Jahre schwankte dieser Wert bei circa 1,5% pro Jahr. Das Energiekonzept der Bundesregierung sieht eine jährliche Steigerung von 2,1 % für die Energieproduktivität vor.

Aufgrund der Zielsetzung der Stadt Krefeld, bereits im Jahr 2035 die Klimaneutralität zu erreichen, muss dieser Wert massiv gesteigert werden (>3 %/a).

Den Einsparungen und Effizienzgewinnen steht im Industriesektor das Wirtschaftswachstum entgegen. Diese wurde mit 1,1 % pro Jahr angesetzt.

Als dritten Schritt werden die fossilen Energieträger (Kohlen, Erdgas, Heizöl) durch THG-ärmere Energieträger ersetzt (Grüner Wasserstoff, Strom und Fernwärme).

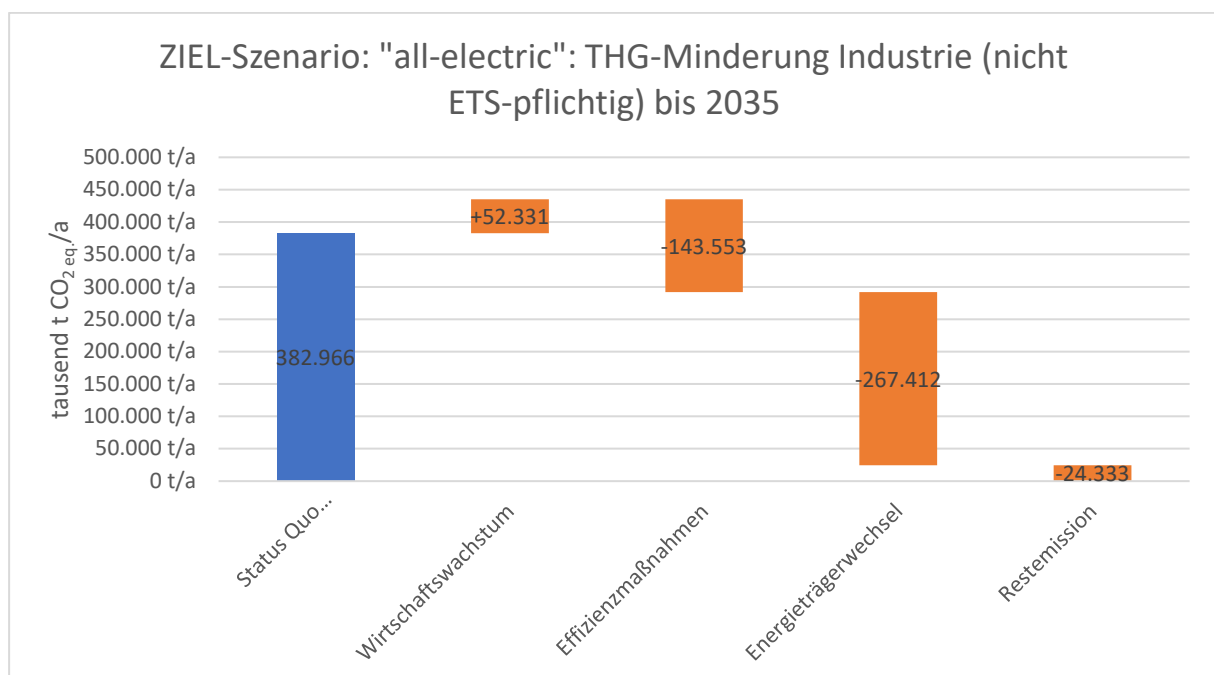


Abbildung 37 ZIEL-Szenario „all-electric“: THG-Minderung Industrie (nicht-ETS-pflichtige Betriebe) bis 2035

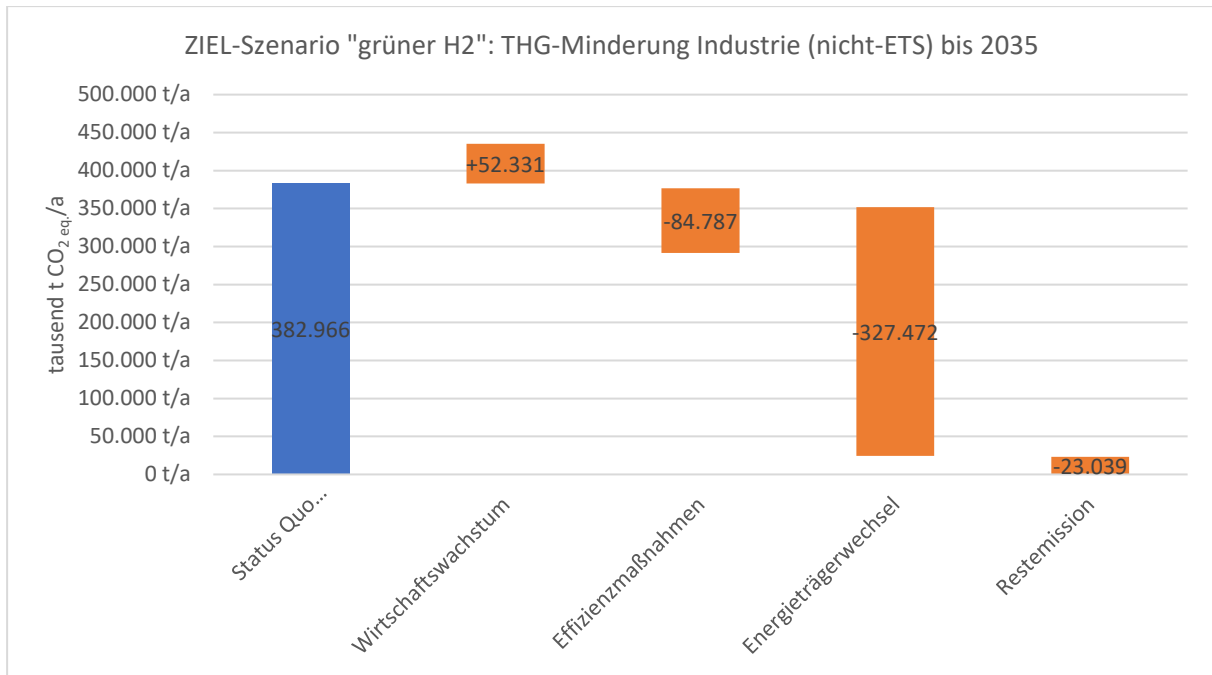


Abbildung 38 ZIEL-Szenario „grüner H2“: THG-Minderung Industrie (nicht-ETS-pflichtige Betriebe) bis 2035

In Abbildung 37 und Abbildung 38 wird auch dargestellt, welche Emissionen nach den Einsparungen und dem Energieträgerwechsel noch verbleiben, die zur Erreichung der THG-Neutralität kompensiert werden müssten.

Nutzung erneuerbarer Energien in dezentralen / gebäudebezogenen Anlagen

Geothermie, Grundwassernutzung, Umweltwärme (Luft)

Niedrigtemperierte Wärme aus den erneuerbaren Quellen der oberflächennahen Geothermie, Grundwasser und Umweltwärme (Luft) werden allesamt durch Anwendung von Wärmepumpentechnik (Sole/Wasser, Wasser/Wasser, Luft/Wasser) zur Wärmeerzeugung nutzbar gemacht. Die Gebäude können dabei dezentral mittels gebäudeeigener Wärmepumpen oder über zentrale Versorgungslösungen (Niedertemperaturwärmenetze, LowEx-Netze, Solenetze), die durch erneuerbare Wärmequellen in Verbindung mit Wärmepumpen gespeist werden, mit Wärme versorgt werden. Für eine effiziente Fahrweise von Wärmepumpen sind niedrige Vorlauftemperaturen erforderlich. Alternativ werden dezentrale Hochtemperatur-Wärmepumpen zur Temperaturanhebung erforderlich.

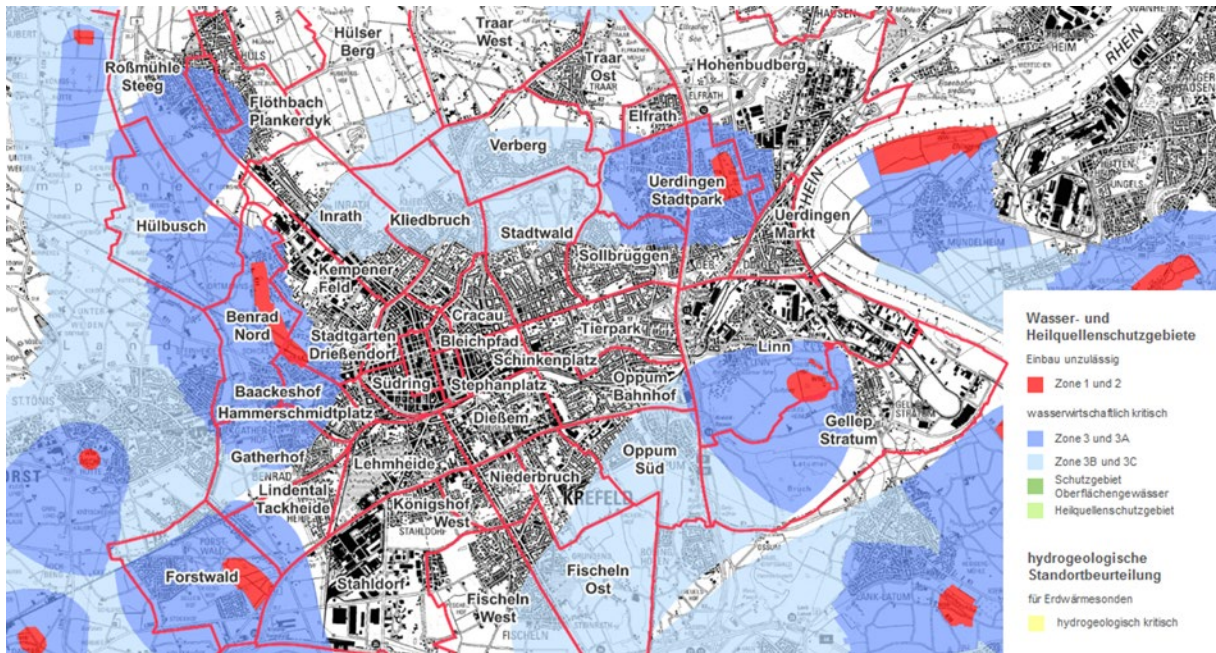


Abbildung 39 Wasser- und Heilquellenschutzgebiete in der Stadt Krefeld

Die Nutzung der Wärmequelle Geothermie und Grundwasser ist außerhalb von Wasser- und Heilquellenschutzgebieten grundsätzlich möglich (siehe Abbildung 39). Sie ist jedoch mit den zuständigen Genehmigungsbehörden (Untere Wasserbehörde, ggf. Landesbergbauamt NRW u.Ä.) abzustimmen. Probebohrungen und geologische Gutachten sind zur lokalen Abschätzung der Potenziale erforderlich.

Solarthermie

Analog zu den PV-Potenzialen liefert das Solarkataster NRW auch Daten zum Dachflächenpotenzial für Solarthermienutzung (LANUV 2018a). Dabei wird ausschließlich eine Nutzung für die Trinkwassererwärmung unterstellt. Insgesamt beziffert das LANUV für die Stadt Krefeld ein technisches Potenzial von 2.800.000 MWh pro Jahr. Für die Trinkwassererwärmung ist davon laut LANUV eine Wärmemenge von ca. 50.000 MWh pro Jahr nutzbar.

Geht man weitergehend von einer Heizungsunterstützung durch die solarthermischen Anlagen aus, würde das die nutzbare Wärmemenge um weitere 115.000 MWh pro Jahr erhöhen.

Im Rahmen des Gutachtens wurde darüber hinaus auch das Potenzial für solare Prozesswärme abgeschätzt. Industrie und Gewerbe benötigen in erheblichem Umfang Prozesswärme. Davon liegt je nach Produktion wiederum ein mehr oder weniger großer Anteil im Niedertemperaturbereich (<100°C). Durch Solarthermie kann ein Teil dieses Bedarfs gedeckt werden. Abschätzungen gehen davon aus, dass in Deutschland das Potenzial für den Einsatz von Solarenergie im Durchschnitt bei 3 bis 4 % des industriellen Wärmebedarfs (BINE 2017) liegt. Bezogen auf Krefeld bedeutet das ein Potenzial von ca. 80.000 MWh pro Jahr für die Erzeugung solarer Prozesswärme.

Feste Biomasse

Grundlage für die Potenzialabschätzung ist die Biomassepotenzialstudie des LANUV (LANUV 2014a). Als technisches Dargebots-Potenzial⁶ wird für den Bereich Forstwirtschaft das „Maximal-

⁶ Das Dargebots-Potenzial umfasst ausschließlich das innerhalb der Grenzen der Stadt Krefeld vorhandene Potenzial.

potenzial“ und für den Bereich Landwirtschaft das Potenzial für das Szenario „ambitionierter Naturschutz“ der Potenzialstudie Biomasse des LANUV ermittelt (LANUV 2014a). Daraus ergibt sich für die Stadt Krefeld ein Wärme-Erzeugungspotenzial von ca. 4.580 MWh.

Die Analysen zur Energie- und THG-Bilanz haben gezeigt, dass schon heute (bilanziell) das vorhandene Dargebots-Potenzial für feste Biomasse in der Stadt Krefeld zur Wärmebereitstellung nahezu vollständig genutzt wird.

Allerdings ist man bei der Nutzung von fester Biomasse (insbesondere Scheitholz oder Holzpellets) nicht auf die vor Ort verfügbaren Potenziale beschränkt, da sich diese gut transportieren lässt und es dafür einen funktionierenden Markt gibt. Dieses Potenzial wird als sogenanntes „Nutzungspotenzial“ im vorliegenden Gutachten ebenfalls berücksichtigt.

Es wird angenommen, dass vor allem Ölheizungen durch Holz(pellet)heizungen ersetzt werden können, da hier die technischen und räumlichen Voraussetzungen (z.B. Brennstofflagerung) sehr ähnlich sind. Als zusätzliches Potenzial aus Nutzungssicht wurde angenommen, dass maximal 50 % Ölheizungen durch Holz(pellet)heizungen ersetzt werden könnten. Basierend auf den Schornsteinfegerdaten wird von einem „Nutzungspotenzial“ von rund 235.000 MWh/a ausgegangen.

Zentral nutzbare sowie block- oder quartiersbezogene Potenziale

Abwärme aus industriellen oder gewerblichen Prozessen

Auf Grundlage der Abwärmepotenzialstudie des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW (LANUV) aus dem Jahr 2018 werden die nutzbaren Abwärmepotenziale grob eingeschätzt. Dabei bietet insbesondere der hohe Prozesswärmebedarf der Industriebetriebe i.H.v. von rund 4.500 GWh/a ein hohes Potenzial der Abwärmenutzung im Gebäudesektor.

Das LANUV führt in der genannten Studie mehr als zehn abwärmeproduzierende Betriebe auf und charakterisiert diese grob bezogen auf die Parameter verfügbare Abwärmemenge, thermische Leistung, Temperaturniveaus sowie Laufzeit.

Die nutzbare Abwärmemenge zur Wärmebereitstellung, z.B. durch Direktverbrauch vor Ort, Wärme- oder Fernwärmenetzeinspeisung, kann auf ca. 110 GWh/a geschätzt werden, zzgl. Der potenziellen Abwärmemengen nicht erfasster Betriebe. Dies entspricht in etwa 3% des jährlichen Endenergieverbrauchs der Stadt Krefeld (ohne Berücksichtigung der ETS-pflichtigen Betriebe).

Als „unvermeidbare Abwärme“ mit einem CO₂-Emissionsfaktor von (nahezu) 0 kg/MWh kann die Abwärmenutzung in block- bzw. quartiersbezogenen Lösungen und/oder bei der Dekarbonisierung der Fernwärme ein wichtiger Baustein bei der Wärmewende der Stadt Krefeld sein.

Die 12 erfassten Betriebe werden wie folgt im Krefelder Stadtgebiet verortet:

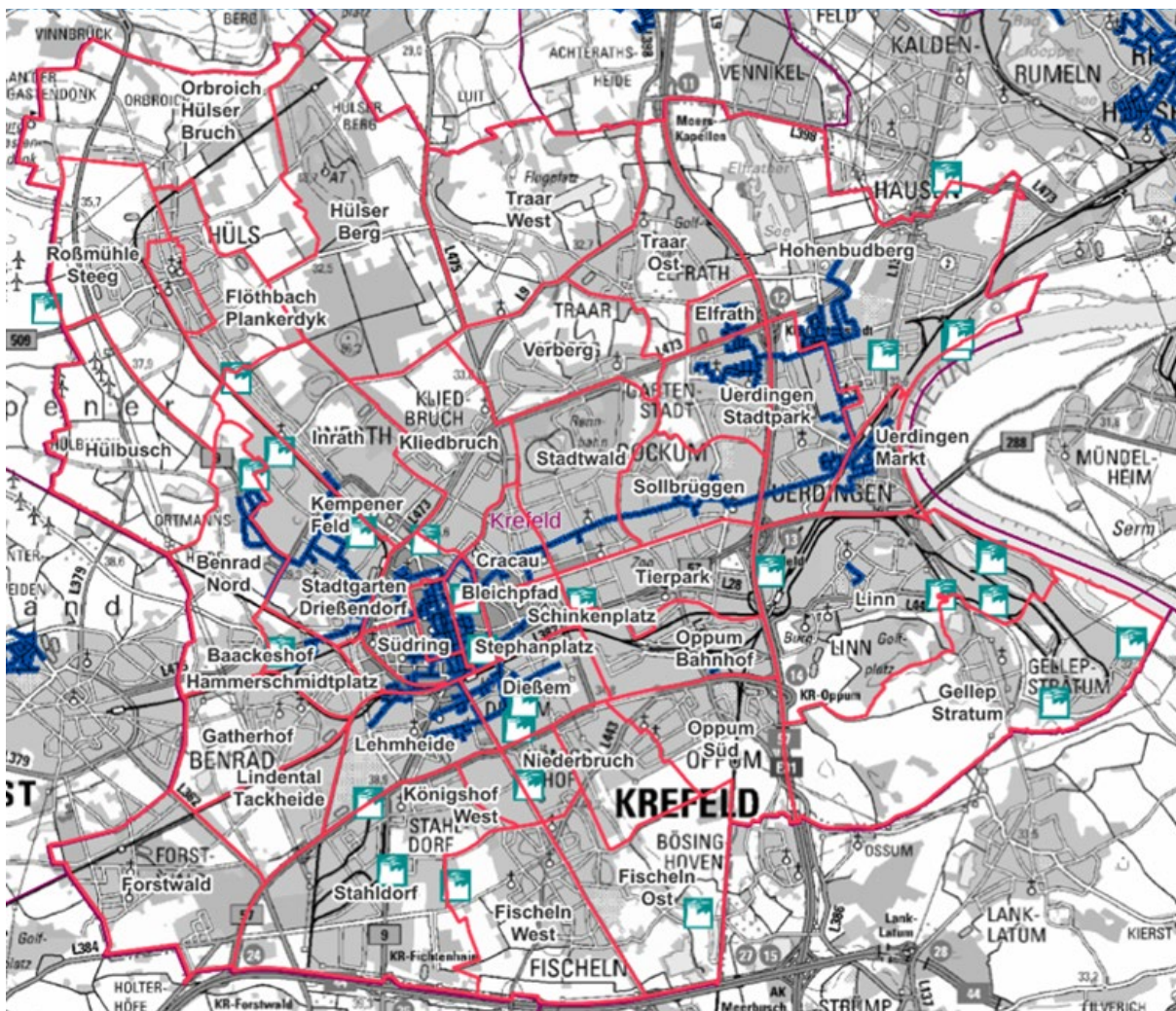


Abbildung 40 Auszug aus dem Abwärmekataster LANUV NRW [LANUV 2019]

In Anbetracht des hohen Prozesswärmebedarfs der Krefelder Industriebetriebe ist die Erstellung einer Abwärmepotenzialstudie im Auftrag der Stadt Krefeld zu empfehlen, in der alle relevanten Betriebe sowie deren mögliche Abwärmemengen, Leistungen, Temperaturniveaus etc. georeferenziert erfasst werden, um als mögliche Wärmequellen zur Einspeisung in Fernwärme- oder neue Niedertemperaturwärmenetze zu dienen.

Wärmenetze und zentrale Versorgungslösungen auf Block-, Quartiers- und Stadtteilebene

Der Leitfaden „Kommunalen Wärmeplanung“ der Landesenergieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW) sowie des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg klassifiziert die Wärmebedarfsdichten, um Nahwärmeinseln zu identifizieren und die potenzielle Eignung von Gebieten zur Errichtung von Wärmenetzen festzustellen. Auf Basis von Erfahrungswerten und Angaben aus Praxisbeispielen dienen die folgenden Wärmedichten zur Einschätzung der Eignung:

Tabelle 9 Einschätzung der Eignung zur Errichtung von Wärmenetzen anhand von Wärmedichten

WÄRMEDICHTE [MWh/ha*a]	EINSCHÄTZUNG DER EIGNUNG ZUR ERRICHTUNG VON WÄRMENETZEN
0 – 70	Kein technisches Potenzial
70 – 175	Empfehlung von Wärmenetzen in Neubaugebieten
175 – 415	Empfohlen für Niedertemperaturnetze im Bestand
415 – 1.050	Richtwert für konventionelle Wärmenetze im Bestand
> 1.050	Sehr hohe Wärmenetzeignung

Auf Grundlage der erfassten Wärmeverbräuche der leitungsgebundenen Wärmeversorgung können die Wärmedichten der einzelnen Baublöcke dargestellt werden. Wärmeverbräuche dezentraler Erzeugungseinheiten können aus zuvor genannten Gründen nicht dargestellt werden und sind in späteren Untersuchungen zur Eignung von Wärmenetzvorhaben georeferenziert zu erfassen. Die folgenden Baublöcke und Bereiche weisen hohe Wärmedichten auf:

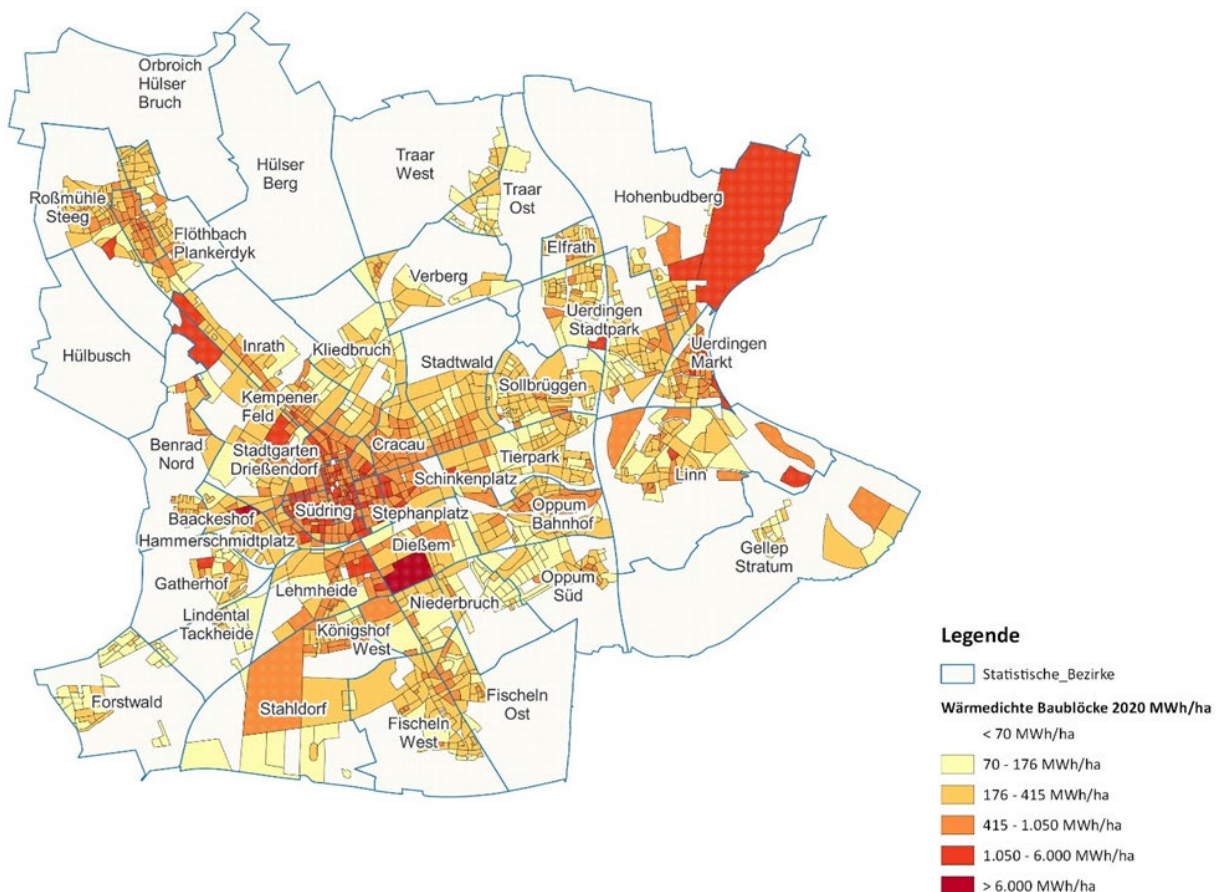


Abbildung 41 Wärmedichten je Baublock in Krefeld

Insbesondere der Innenstadtbereich sowie umliegende statistische Bezirke weisen Wärmedichten auf, die sich nach Einschätzung der Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg (KEA-BW) für Niedertemperaturnetze im Bestand oder in Neubaugebieten eignen. Dabei sind eine Vielzahl der Gebiete bereits mit Fernwärme oder Erdgas erschlossen, sodass die Erschließung mit neuen Wärmenetzleitungen ggf. mit vorhandener Infrastruktur (Erdgasnetz, Fernwärmenetz) oder Ausbauplänen der Fernwärme konkurriert. Die Eignung in den Außenbezirken oder ländlichen Gebieten im Stadtgebiet Krefeld (z.B. Forstwald, Traar Ost) ist zu prüfen.

Dabei wird für die Szenarien davon ausgegangen, dass mögliche neue Wärmenetzlösungen mit überwiegend umweltschonenden, erneuerbaren Wärmequellen bzw. mit Abwärme gespeist werden. Welche Wärmequellen dabei konkret zum Einsatz kommen können, ist jeweils in Machbarkeitsuntersuchungen zu klären. Die technische, wirtschaftliche und genehmigungsrechtliche Umsetzung sind in Detailkonzepten zu prüfen. Die Umsetzung solcher Wärmenetzlösungen ist durch die Kommune zu unterstützen (z.B. über Festsetzungen, Satzungsgebiete etc.).

Ausbau und Dekarbonisierung der Fernwärme

Der aktuelle Erzeugungsmix der Fernwärme der SWK AG besteht zu großen Teilen aus der Wärmeauskopplung der Müllverbrennungsanlage der Entsorgungsgesellschaft Krefeld (EGK) sowie zu geringeren Anteilen aus Wärme aus Heizkraftwerken (HKW) und Erdgaskesselanlagen. Mit spezifischen Emissionen von aktuell ca. 156 g CO_{2eq}/kWh (gerechnet BSKO-konform) ist die Fernwärme in Krefeld zwar deutlich emissionsärmer als rein fossile Energieträger (Heizöl 318 g CO_{2eq}/kWh, Erdgas 247 g CO_{2eq}/kWh). Zur Erreichung der Treibhausgasneutralität ist aber neben einem Ausbau der Fernwärme eine Absenkung der spezifischen THG-Emissionen erforderlich.

Im Rahmen des Gutachtens zur Ermittlung der prognostizierten CO₂-Emissionsfaktoren der Fernwärme „Datengrundlage für Wärmekonzepte (DatWK)“ wurden zwei denkbare Szenarien dargestellt (siehe nachfolgende Abbildung):

- Szenario A unterstellt eine Verdopplung der Erzeugungskapazitäten und damit des Fernwärmeabsatzes bis 2035. Als zusätzliche Erzeugungskapazitäten werden die Einbindung von Großwärmepumpen (z.B. eine Flusswasser-Wärmepumpe) sowie Biomassekessel zur Mittel- und Spitzenlastabdeckung angenommen.
- Szenario B geht von einer Fortführung der aktuellen Versorgungssituation und gleichbleibendem Fernwärmeabsatz aus.

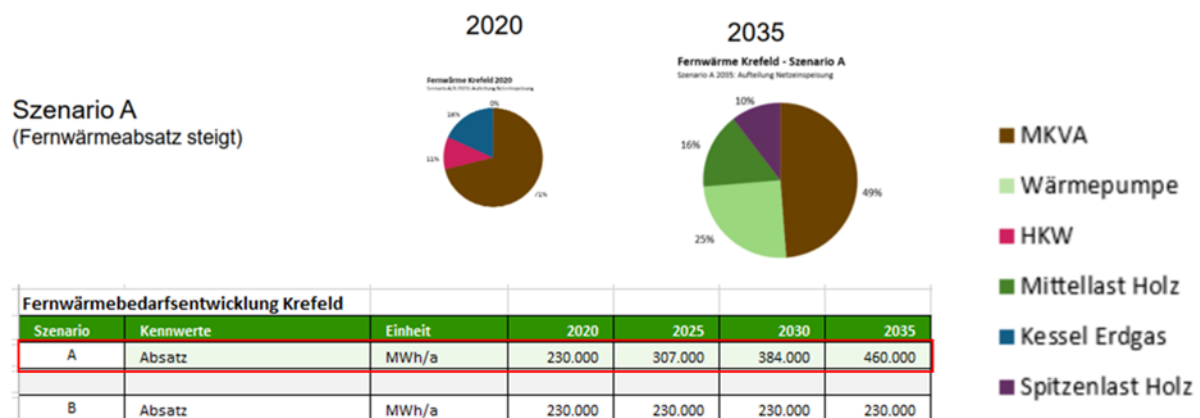


Abbildung 42 Szenario A zur Entwicklung der Fernwärme gemäß Gutachten DatWK
Erläuterung: MKVA = Müll- und Klärschlamm-Verbrennungsanlage; HKW = Heizkraftwerk

Die Betrachtungen zur Dekarbonisierung der Fernwärme erfolgten im Gutachten DatWK nur exemplarisch, ohne den Anspruch (und den Auftrag) zu haben, ein Konzept für die Transformation/Dekarbonisierung der Fernwärme zu erstellen. Dies ist nachfolgenden Schritten im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung bzw. im Zuge der sich aus dem Klimaschutzgesetz des Bundes ergebenden Verpflichtungen der Energieversorger vorbehalten. In diesem Zusammenhang wird auch die Frage zu klären sein, ob und in welchem Umfang andere THG-arme Energieträger, wie z.B. „tiefe“ Geothermie, Solarthermie und industrielle Abwärme eine Rolle im zukünftigen Erzeugungsmix der Fernwärme spielen.

Unter Anwendung der „Bilanzierungssystematik Kommunal“ (BISKO) sind gemäß Gutachten DatWK für die beiden Szenarien folgende THG-Emissionsfaktoren zu erwarten:

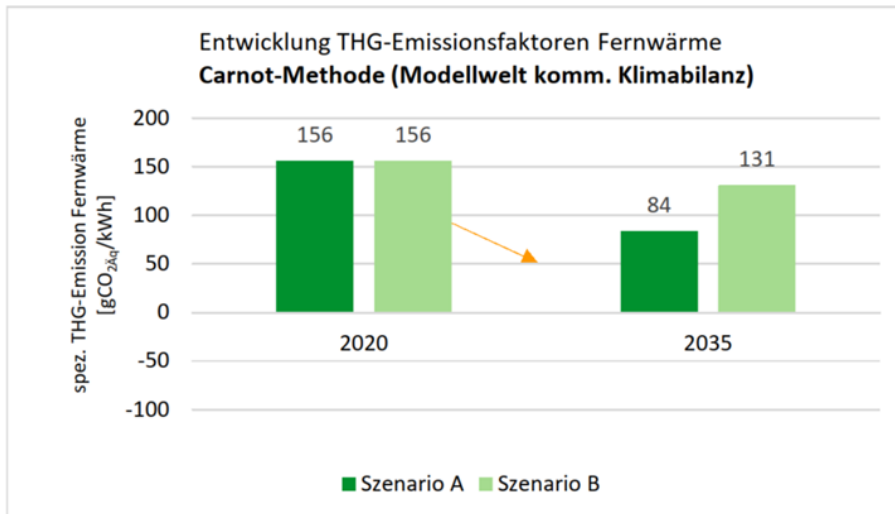


Abbildung 43 Entwicklung THG-Emissionsfaktoren Fernwärme nach Carnot-Methode (BISKO konform) gemäß Gutachten DatWK

Trotz Optimierung des Erzeugungsmixes in Szenario A wird keine Klimaneutralität der Fernwärme erreicht. Zur Erreichung eines klimaneutralen Wärmesektors in Krefeld sind daher weiterführende Maßnahmen zur vollständigen Dekarbonisierung der Fernwärme bis spätestens 2035 erforderlich.

Bereits jetzt spielt die Fernwärme mit ca. 7 % des aktuellen Endenergieverbrauchs für Wärme von Haushalten, GHD und Kommunalen Liegenschaften eine wichtigere Rolle bei der Wärmeversorgung im Krefelder Stadtgebiet, insbesondere in den hochverdichteten Bereichen. Der Ausbau der Fernwärme durch Erschließung neuer Netzgebiete sowie Nachverdichtungsmaßnahmen ist für die angestrebte Wärmewende für Krefeld ein wichtiger Baustein, sofern eine klimaneutrale Fernwärme durch entsprechende Transformations- und/oder Kompensationsmaßnahmen bis spätestens 2035 erfolgt.

Nachfolgende Abbildung zeigt die statistischen Bezirke, in denen aufgrund der vorliegenden Wärmedichte sowie Nähe zur bereits bestehenden Fernwärmeinfrastruktur ein Ausbau durch Erschließung neuer Versorgungsgebiete sowie die Nachverdichtung in bereits versorgten Gebieten sinnvoll erscheint (blaue Flächen und blaues Raster).

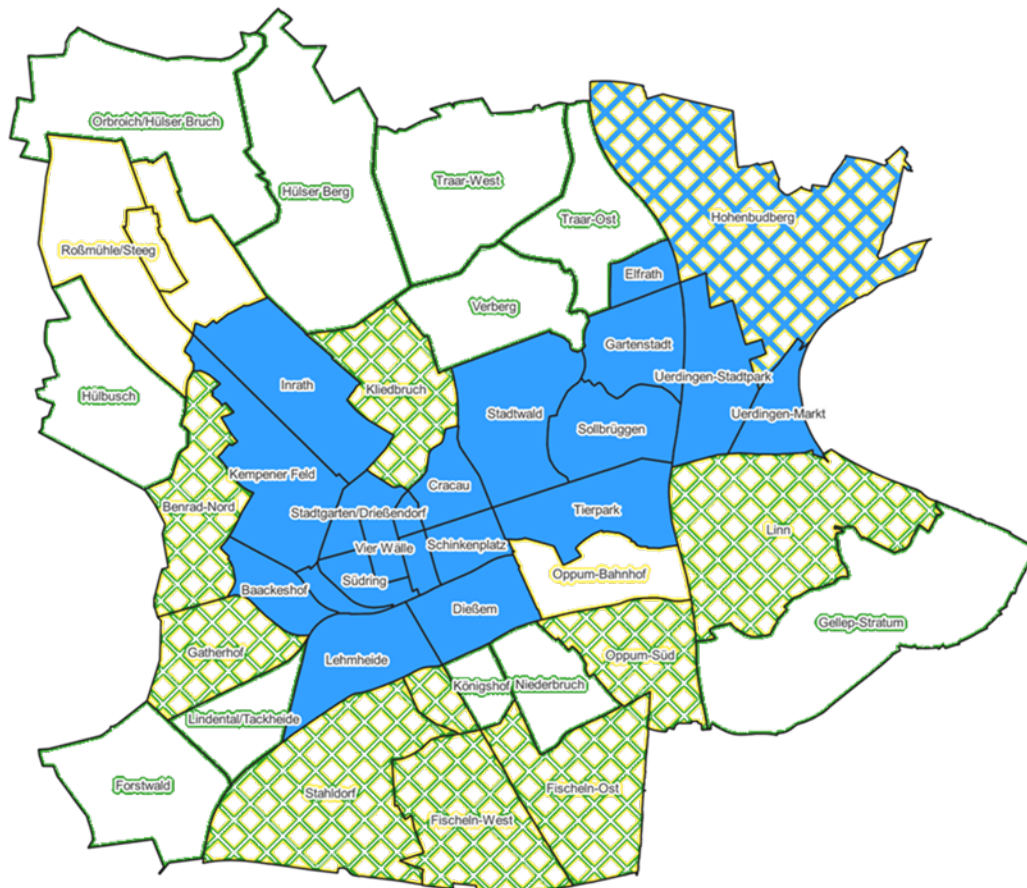


Abbildung 44 Gebiete mit besonderer Eignung für den Einsatz von Fernwärme in der Stadt Krefeld
blaue Flächen: Ausbau und Verdichtung; blaues Raster: Mischgebiet (Fernwärme und andere Versorgungslösungen)

Zur Detaillierung dieser Potenzialabschätzung ist die Erstellung eines konkreten Transformationsplans durch die SWK zur vollständigen Dekarbonisierung der Fernwärme bis 2035 erforderlich. Neben der technischen Umsetzung durch die SWK/NGN und der durch die Stadt Krefeld wahrzunehmende kommunale Wärmeplanung kommt der Stadt Krefeld eine weitere wichtige organisatorische Rolle zu, um den Ausbau und die Nachverdichtungsmaßnahmen regulatorisch zu gewährleisten, beispielsweise durch Festsetzungen in Bebauungsplänen und städtebaulichen Verträgen oder durch das Ausweiten von Fernwärmesetzungsgebieten.

Nutzung von grünem Wasserstoff (H₂)

Die Bundesregierung hat im Juni 2020 die Nationalen Wasserstoffstrategie erstellt und diese im Juli 2023 fortgeschrieben. Die dort formulierten Maßnahmen sollen dazu beitragen, die Produktion von grünem Wasserstoff im industriellen Maßstab kurz- und mittelfristig zu etablieren. Hierin sollen unter anderem die Weichen gestellt werden, um die Nachfrage im Industrie- und Verkehrssektor sowie den Aufbau notwendiger Infrastruktur zu fördern. „Grüner Wasserstoff“ ist gemäß der Nationalen Wasserstoffstrategie wie folgt definiert:

„Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt, wobei für die Elektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt. Unabhängig von der gewählten Elektrolisetechnologie erfolgt die Produktion von Wasserstoff CO₂-frei, da der eingesetzte Strom zu 100 Prozent aus erneuerbaren Quellen stammt und damit CO₂-frei ist.“

Die sogenannte Wasserstoff-Roadmap NRW ist dabei die landespolitische Antwort auf die Nationale Wasserstoffstrategie und will die Produktion von grünem Wasserstoff auf Landesebene vorbereiten und etablieren. Es wird davon ausgegangen, dass der Wasserstoffbedarf deutschlandweit erheblich ansteigen wird, insbesondere in der Industrie und im Verkehrsbereich. Als Industrieland soll in NRW daher grüner Wasserstoff vorzugsweise für wärmeintensive Industriebranchen zur Verfügung gestellt werden.

Für die dezentrale Gebäude- und Wärmeversorgung soll der Einsatz von Wasserstoff im Gebäudesektor „nach derzeitigem Erkenntnisstand“ eine untergeordnete Rolle spielen. Entsprechend der Zielsetzungen des Bundes sowie der regulatorischen Entwicklung wird davon ausgegangen, dass Wärmepumpen den Großteil der Wärmebereitstellung im Gebäudesektor übernehmen werden.

H₂ercules – Schnellweg für Wasserstoff von OGE und RWE

Mit dem Vorhaben zum Aufbau einer Wasserstoffinfrastruktur durch den vorgelagerten Netzbetreiber OGE (Open Grid Europe) soll eine schnelle Verbindung von Wasserstoff-Erzeugungs- und Verbrauchsschwerpunkten geschaffen werden (siehe nachfolgende Abbildung). Durch den Ausbau von entsprechenden Verbindungsleitungen in sechs Abschnitten ab 2026 mit Fertigstellung im Jahr 2030 sollen ausreichend große Mengen an grünem Wasserstoff für die Stadt Krefeld bereitgestellt werden können. Die Netzgesellschaft Niederrhein (NGN) als örtlicher Gasnetzbetreiber beteiligt sich nach eigenen Angaben aktiv an der Initiative „H₂vorOrt“ und bereitet sich darauf vor, das bestehende Erdgasnetz sukzessive auf Wasserstoff umzustellen.



Quelle: OGE | ¹ GWK = Gaskraftwerk (hier Bestandskraftwerk)

Abbildung 45 Ausbauplan von Verbindungsleitungen für H₂ercules

In diesem Zuge geht die NGN davon aus, dass bis zum Jahr 2035 ausreichend große Mengen an grünem Wasserstoff zu Verfügung stehen, um den Wasserstoffbedarf des gesamten Gebäude- wie auch Industriesektors in Krefeld abdecken zu können.

2.4. Szenarien der Wärmewende

Mit Hilfe von Szenarien werden in diesem Kapitel unterschiedliche Entwicklungspfade für die Entwicklungen des Energieverbrauchs, des Energieträgermixes und der Treibhausgasemissionen für Wärmeezwecke in Krefeld aufgezeigt.

- Im TREND-BASIS-Szenario werden zunächst die Entwicklungen aufgezeigt, die sich bei einer Trend-Fortschreibung (incl. bereits angestoßener Maßnahmen) bis 2045 ergeben würden.
- Im BASIS-Szenario wird die Entwicklung aufgezeigt, die sich in Krefeld auf dem Zielpfad der Bundesregierung zur THG-Neutralität im Jahr 2045 ergeben würde.

Diese Szenarien dienen „Vergleichsszenarien“. Sie zeigen auf, auf welche „Unterstützung“ die Wärmewende in Krefeld aufbauen kann und welche weitergehenden Anstrengungen zur Erreichung der THG-Neutralität im Jahr 2035 notwendig wären.

Basis für die Szenarien ist die Versorgungssituation sowie der erstellten Energie- und Treibhausgasbilanz für das Bezugsjahr 2020.

In „Ziel-Szenarien“ wird für zwei alternative Entwicklungswege aufgezeigt, wie die Wärmewende in Krefeld mit dem Ziel bereits 2035 die THG-Neutralität zu erreichen, aussehen könnte.

Diese Zielszenarien wählen bewusst zwei sehr unterschiedlichen Strategien und bilden so die Bandbreite der möglichen Entwicklung ab. Sie lassen sich wie folgt beschreiben:

- Zielszenario 1 („all-electric“):
Ausrichtung der technischen Maßnahmen mit Fokus auf eine weitgehende Elektrifizierung des Wärmesektors sowie einen Ausbau und eine Dekarbonisierung der Fernwärme bis 2035.

In diesem Szenario werden große Anstrengungen zur Verbrauchsminderung/Energieeffizienz unterstellt, um insbesondere im Gebäudesektor die Voraussetzungen für den effizienten Einsatz von Wärmepumpen zu schaffen und so den Endenergieverbrauch auf ein Minimum zu begrenzen.

In diesem Szenario wird unterstellt, dass im Jahr 2035 Erdgas bzw. treibhausgasneutrale „Nachfolgeprodukte“ wie grüner Wasserstoff keine Rolle für die Wärmeversorgung von Haushalten, GHD, kommunalen Liegenschaften und der nicht ETS-pflichtigen Industrie spielen.
- Zielszenario 2 („grüner H₂“):
Ausrichtung der technischen Maßnahmen unter der Annahme, dass ausreichend grüner Wasserstoff bis 2035 für die Wärmeversorgung von Haushalten, GHD, kommunalen Liegenschaften und der nicht ETS-pflichtigen Industrie zur Verfügung gestellt werden kann.

Dieses Szenario legt den Fokus darauf, die vorhandenen Gas-Netze optimal und langfristig zu nutzen und sowohl bezogen auf die Leitungsnetze als auch auf gebäudeseitige Maßnahmen an Gebäudehülle und Versorgungstechnik den Investitionsaufwand zu minimieren.

Entsprechend wird hier unterstellt, dass die Anstrengungen zur Verbrauchsminderung/Energieeffizienz entsprechend dem BASIS-Szenario bis 2035 verlaufen.

Entsprechend der o.g. Szenarien gelten folgende Randbedingungen und Zielsetzungen je Szenario und Sektor:

Tabelle 10 Annahmen zu den Szenarien im Wärmebereich

		Haushalte	GHD	Kommunale Verwaltung	Industrie (nicht-ETS)
Trend-Szenario	Sanierungsrate ^[1] :	1,0 % p.a.	1,0 % p.a.	1,0 % p.a.	-
	Sanierungstiefe:	100 kWh/m ² a	100 kWh/m ² a	100 kWh/m ² a	-
	Effizienzsteigerung:	-	-	-	1,0 % p.a.
Basis-Szenario	Sanierungsrate ^[2] :	2,5 % p.a.	2,5 % p.a.	2,5 % p.a.	-
	Sanierungstiefe:	80 kWh/m ² a	70 kWh/m ² a	70 kWh/m ² a	-
	Effizienzsteigerung:	-	-	-	2,1 % p.a.
Ziel-Szenario (All Electric)	Sanierungsrate:	5,0 % p.a.	2,5 % p.a.	2,5 % p.a.	-
	Sanierungstiefe:	55 kWh/m ² a	45 kWh/m ² a	45 kWh/m ² a	-
	Effizienzsteigerung:	-	-	-	3,0 % p.a.
Ziel-Szenario (grüner H₂)	Sanierungsrate:	2,5 % p.a.	2,5 % p.a.	2,5 % p.a.	-
	Sanierungstiefe:	80 kWh/m ² a	70 kWh/m ² a	70 kWh/m ² a	-
	Effizienzsteigerung:	-	-	-	2,1 % p.a.
Weitere Randbedingungen:					
Jährliche Bevölkerungsentwicklung:	+0,25 % p.a. ^[3]	-	-	-	-
Jährliches Wirtschaftswachstum:	-	-	-	-	+0,9 % p.a. ^[4]

^[1] Quelle: Ariadne-Report „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“, Oktober 2021, BMBF

^[2] Quelle: Ariadne-Report „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“, Oktober 2021, BMBF

^[3] Quelle: Statista, Durchschnitt der letzten 10 Jahre

^[4] Durchschnitt der letzten Jahre; grobe Schätzung

Trendszenario:

Unter Fortführung der aktuellen Sanierungsaktivitäten im Gebäudesektor sowie der jährlichen Effizienzsteigerung im Industriesektor werden die technischen Maßnahmen zum Energieträgerwechsel daran ausgerichtet. Der jährliche Anstieg des Wärmebedarfs infolge der Bevölkerungszunahme sowie des Wirtschaftswachstums im Industriesektor sind berücksichtigt und unten dargestellt. Es gelten folgende Randbedingungen zum Energieträgerwechsel im Trend-Szenario:

- Vollständiger Kohleausstieg bis spätestens 2030 und Ersatz durch Erdgas
- Kein Fernwärmeausbau (Fortführung des Status Quo der Fernwärme)
- Umstellung von Heizöl auf Erdgas im Industriesektor
- 90 Prozent des sanierten Bestands mit Wärmepumpen ausgestattet, der restliche sanierte Bestand mit Biomassefeuerungen (z.B. Pelletanlagen)

Für das TREND-Szenario ergibt sich daraus die in der folgenden Abbildung dargestellte Entwicklung des Energieträgermixes (Endenergie) für Wärmeanwendungen in allen Sektoren:

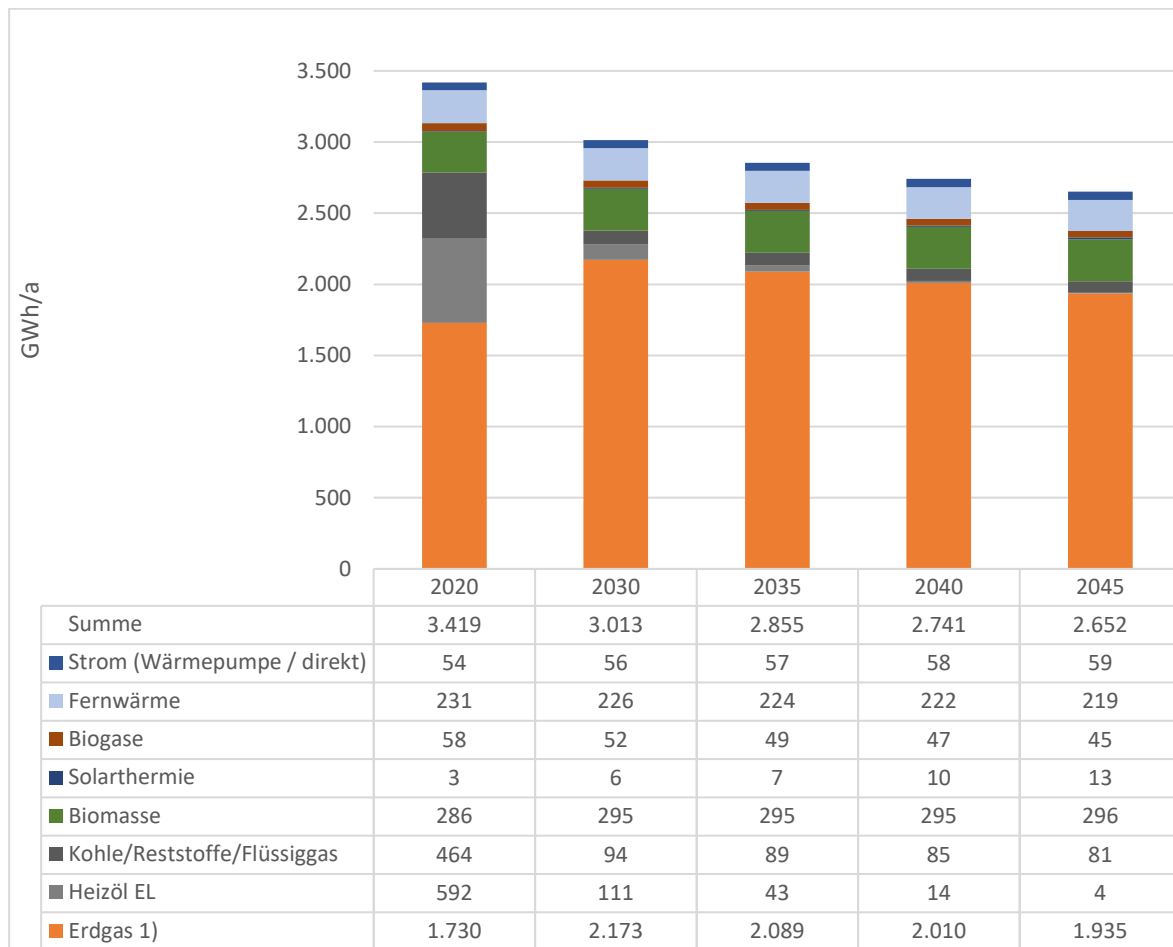


Abbildung 46 Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Energieträgermixes für Wärme – TREND-Szenario

1) bis 2045 durch THG-neutrale Alternativen (grüner Wasserstoff, Bio-Methan o.ä.) zu ersetzen

Durch Anwendung der teils dynamischen Treibhausgasemissionsfaktoren ergibt sich folgender Reduktionspfad bis 2035 am Beispiel Haushalte sowie Industrie:

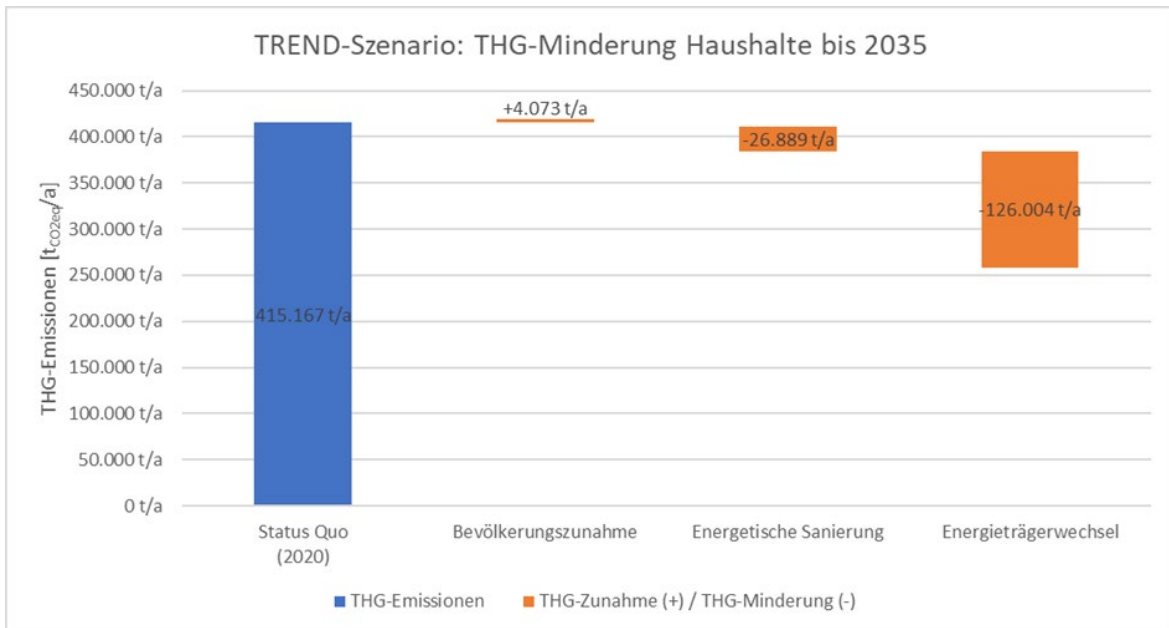


Abbildung 47 Wärmewende-TREND-Szenario: THG-Minderung Haushalte bis 2035

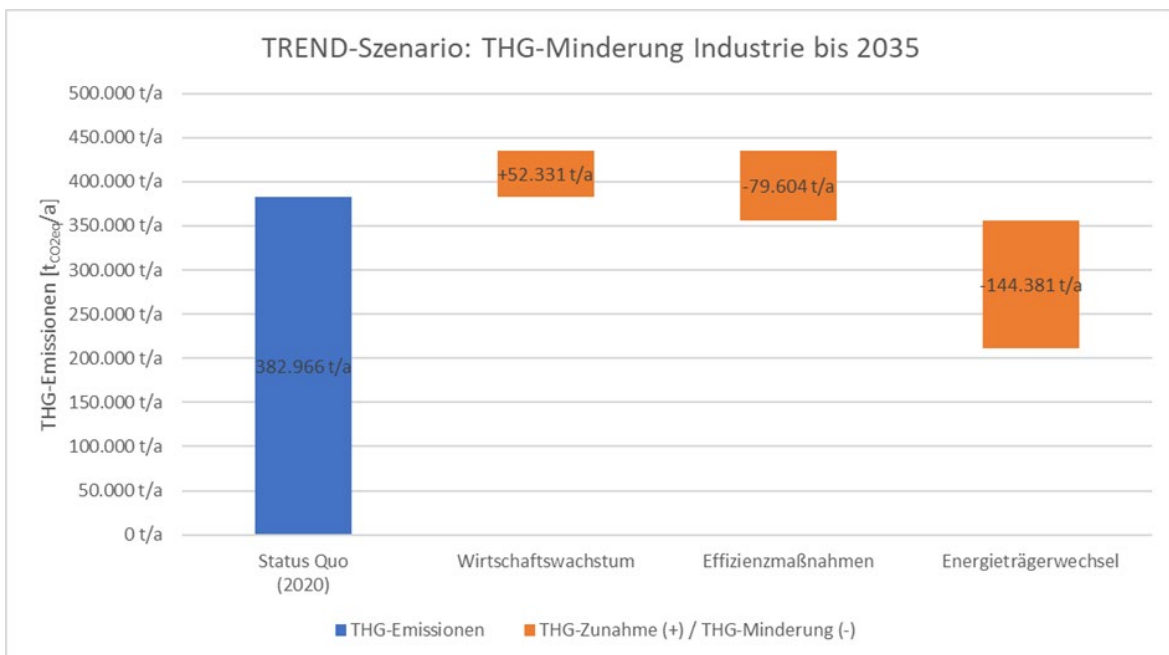


Abbildung 48 Wärmewende-TREND-Szenario: THG-Minderung Industrie bis 2035

Nachfolgend sind die THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld dargestellt:

Tabelle 11 THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld im Wärmewende-TREND-Szenario

TREND-Szenario:	THG-Emissionen	THG-Entwicklung bez. auf das Jahr 2020								
Sektor	2020	Maßnahme	2030		2035		2040		2045	
Haushalte	415.167 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-5.557 t/a	-1,339%	-4.073 t/a	-1,0%	-3.463 t/a	-0,8%	-2.663 t/a	-0,6%
		Energetische Sanierung	-20.686 t/a	-5,0%	-26.889 t/a	-6,5%	-33.983 t/a	-8,2%	-40.952 t/a	-9,9%
		Energieträgerwechsel	-99.423 t/a	-23,9%	-126.004 t/a	-30,4%	-141.429 t/a	-34,1%	-150.741 t/a	-36,3%
		Summe	-125.666 t/a	-30,3%	-156.967 t/a	-37,8%	-178.876 t/a	-43,1%	-194.355 t/a	-46,8%
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	49.829 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-	-	-	-	-	-	-	-
		Energetische Sanierung	-6.234 t/a	-12,5%	-8.205 t/a	-16,5%	-10.322 t/a	-20,7%	-12.312 t/a	-24,7%
		Energieträgerwechsel	-6.159 t/a	-12,4%	-8.111 t/a	-16,3%	-10.229 t/a	-20,5%	-12.235 t/a	-24,6%
		Summe	-12.393 t/a	-24,9%	-16.315 t/a	-32,7%	-20.551 t/a	-41,2%	-24.547 t/a	-49,3%
Kommunale Verwaltung	17.433 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-	-	-	-	-	-	-	-
		Energetische Sanierung	-901 t/a	-5,2%	-1.406 t/a	-8,1%	-1.977 t/a	-11,3%	-2.492 t/a	-14,3%
		Energieträgerwechsel	-863 t/a	-5,0%	-1.360 t/a	-7,8%	-1.931 t/a	-11,1%	-2.453 t/a	-14,1%
		Summe	-1.764 t/a	-10,1%	-2.766 t/a	-15,9%	-3.908 t/a	-22,4%	-4.945 t/a	-28,4%
Industrie (nicht ETS- pflichtig)	382.966 t/a	Wirtschaftswachstum	34.140 t/a	8,9%	52.331 t/a	13,7%	71.315 t/a	18,6%	91.124 t/a	23,8%
		Effizienzmaßnahmen	-55.100 t/a	-14,4%	-79.604 t/a	-20,8%	-102.277 t/a	-26,7%	-102.277 t/a	-26,7%
		Energieträgerwechsel	-124.964 t/a	-32,6%	-144.381 t/a	-37,7%	-162.342 t/a	-42,4%	-178.956 t/a	-46,7%
		Summe	-145.924 t/a	-38,1%	-171.653 t/a	-44,8%	-193.304 t/a	-50,5%	-190.109 t/a	-49,6%
Wärmesektor gesamt	865.395 t/a	Gesamtsumme	-285.747 t/a	-33,0%	-347.701 t/a	-40,2%	-396.639 t/a	-45,8%	-413.956 t/a	-47,8%

Basis-Szenario:

Die Sanierungsrate und -tiefe im Gebäudesektor entspricht den Zielsetzungen zum Erreichen des klimaneutralen Gebäudebestandes bis spätestens 2045. Die jährliche Effizienzsteigerung im Industriesektor entspricht den Zielsetzungen der europäischen Effizienzrichtlinien. Der jährliche Anstieg des Wärmebedarfs infolge der Bevölkerungszunahme sowie des Wirtschaftswachstums im Industriesektor sind berücksichtigt und unten dargestellt. Die Maßnahmen zum Energieträgerwechsel werden anhand der Zielsetzung zum Erreichen der Klimaneutralität auf Bundesebene im Gebäude- und Industriesektor ausgerichtet.

Für das BASIS-Szenario ergibt sich daraus die in der folgenden Abbildung dargestellte Entwicklung des Energieträgermixes (Endenergie) für Wärmeanwendungen in allen Sektoren:

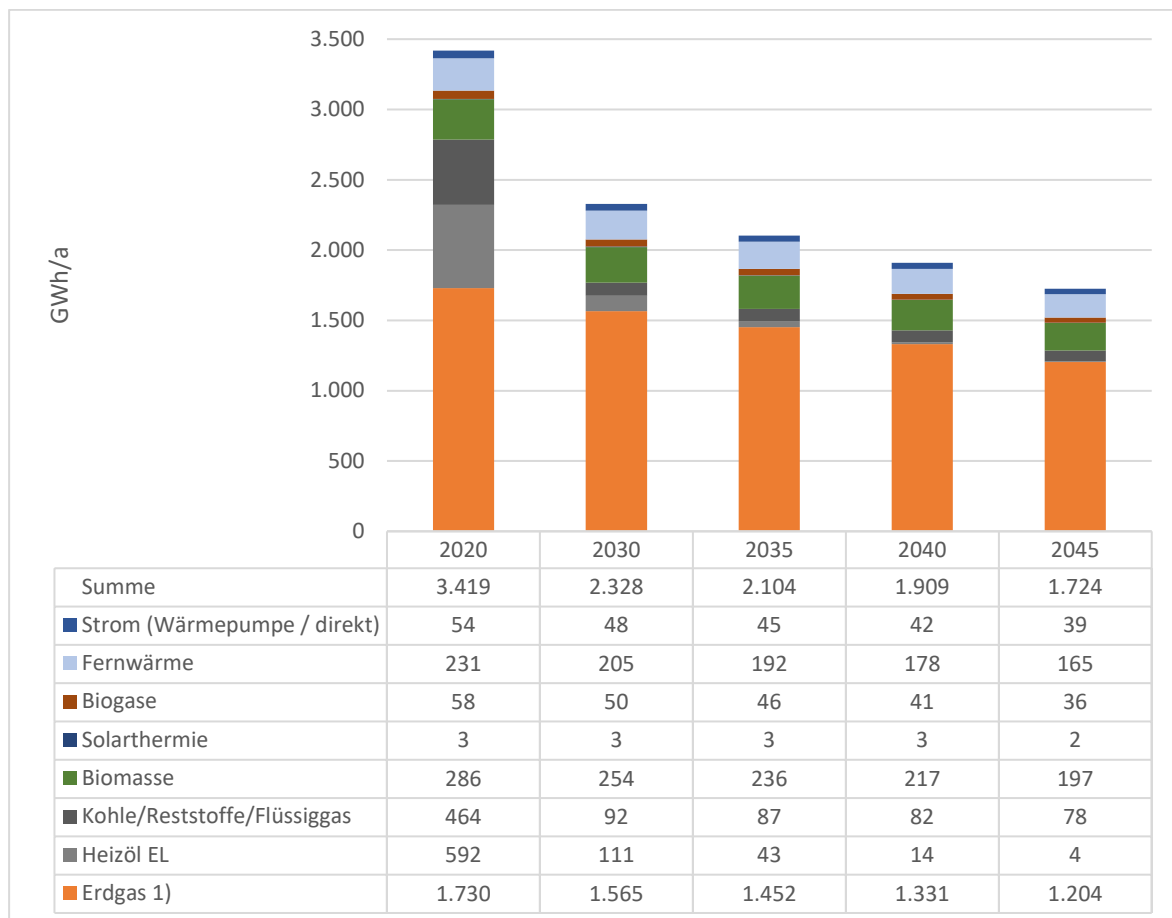


Abbildung 49 Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Energieträgermixes für Wärme – BASIS-Szenario

1) bis 2045 durch THG-neutrale Alternativen (grüner Wasserstoff, Bio-Methan o.ä.) zu ersetzen

Durch Anwendung der Treibhausgasemissionsfaktoren ergibt sich folgender Reduktionspfad bis 2035 am Beispiel Haushalte sowie Industrie als Differenz aus dem unterschiedlichen Zieljahren:

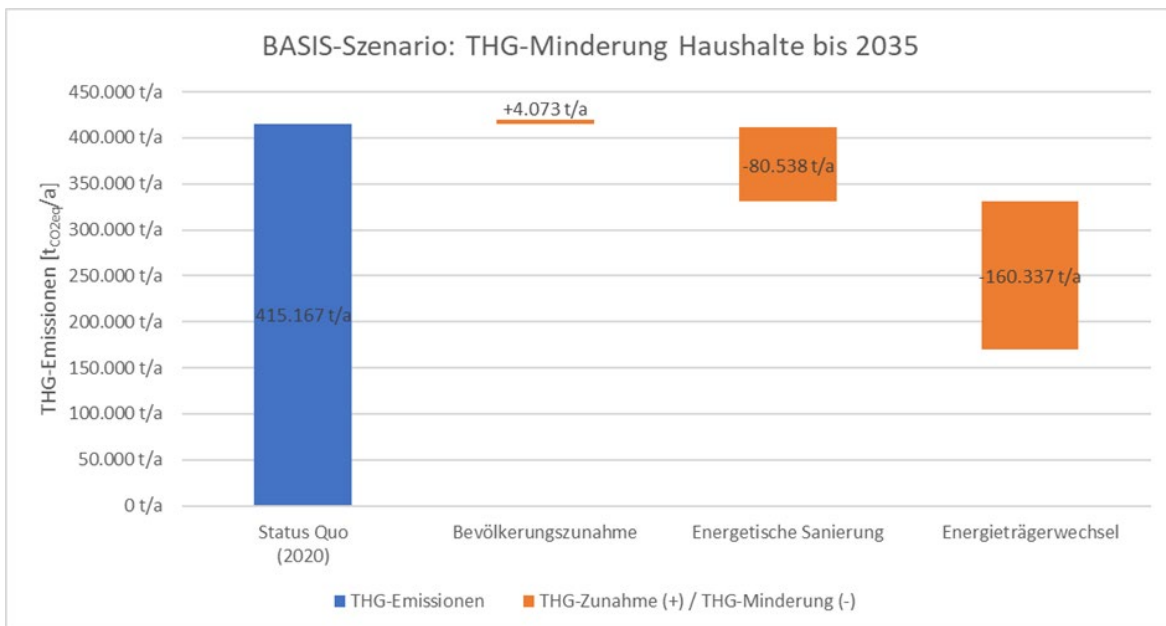


Abbildung 50 Wärmewende-BASIS-Szenario: THG-Minderung Haushalte bis 2035

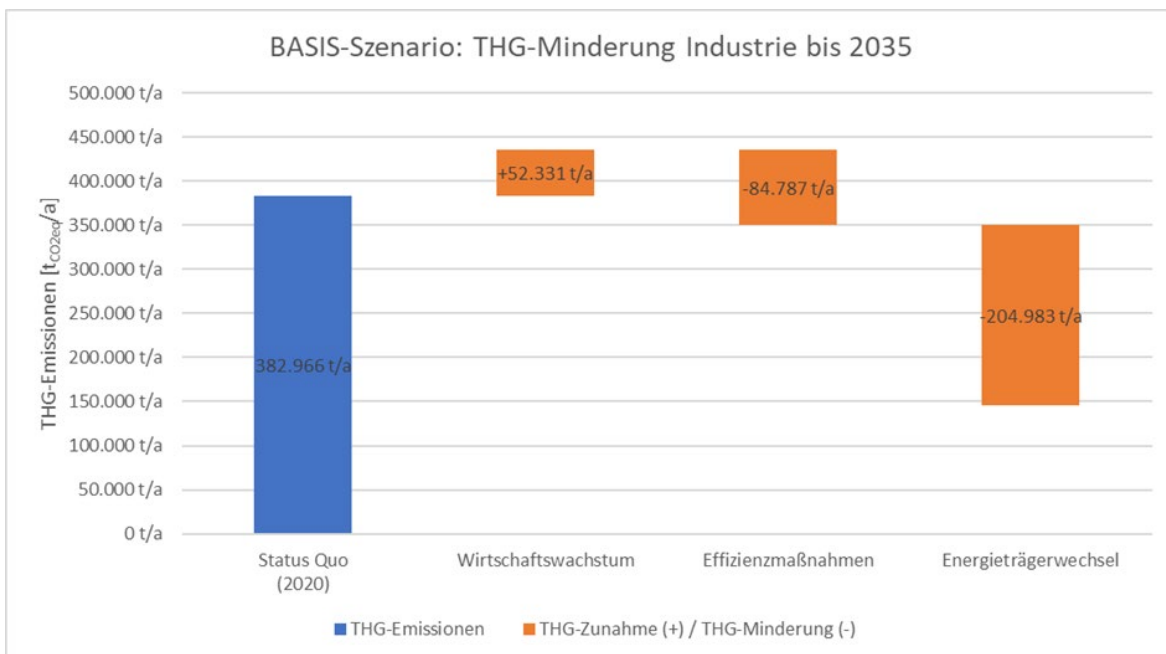


Abbildung 51 Wärmewende-BASIS-Szenario: THG-Minderung Industrie bis 2035

Nachfolgend sind die THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld dargestellt:

Tabelle 12 THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld im Wärmewende-BASIS-Szenario

BASIS-Szenario:	THG-Emissionen	Maßnahme	THG-Entwicklung bez. auf das Jahr 2020							
			2020	2030		2035		2040		2045
Haushalte	415.167 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-5.557 t/a	-1,339%	-4.073 t/a	-1,0%	-3.463 t/a	-0,8%	-2.663 t/a	-0,6%
		Energetische Sanierung	-56.295 t/a	-13,6%	-80.538 t/a	-19,4%	-105.673 t/a	-25,5%	-130.803 t/a	-31,5%
		Energieträgerwechsel	-120.821 t/a	-29,1%	-160.337 t/a	-38,6%	-218.845 t/a	-52,7%	-281.700 t/a	-67,9%
		Summe	-182.673 t/a	-44,0%	-244.948 t/a	-59,0%	-327.982 t/a	-79,0%	-415.167 t/a	-100,0%
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	49.829 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-	-	-	-	-	-	-	-
		Energetische Sanierung	-10.956 t/a	-22,0%	-15.107 t/a	-30,3%	-19.241 t/a	-38,6%	-23.126 t/a	-46,4%
		Energieträgerwechsel	-10.969 t/a	-22,0%	-14.292 t/a	-28,7%	-20.124 t/a	-40,4%	-26.703 t/a	-53,6%
		Summe	-21.925 t/a	-44,0%	-29.399 t/a	-59,0%	-39.365 t/a	-79,0%	-49.829 t/a	-100,0%
Kommunale Verwaltung	17.433 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-	-	-	-	-	-	-	-
		Energetische Sanierung	-2.384 t/a	-13,7%	-3.582 t/a	-20,5%	-4.800 t/a	-27,5%	-5.934 t/a	-34,0%
		Energieträgerwechsel	-5.287 t/a	-30,3%	-6.703 t/a	-38,5%	-8.972 t/a	-51,5%	-11.499 t/a	-66,0%
		Summe	-7.671 t/a	-44,0%	-10.286 t/a	-59,0%	-13.772 t/a	-79,0%	-17.433 t/a	-100,0%
Industrie (nicht ETS- pflichtig)	382.966 t/a	Wirtschaftswachstum	34.140 t/a	8,9%	52.331 t/a	13,7%	71.315 t/a	18,6%	91.124 t/a	23,8%
		Effizienzmaßnahmen	-53.453 t/a	-14,0%	-84.787 t/a	-22,1%	-119.483 t/a	-31,2%	-157.774 t/a	-41,2%
		Energieträgerwechsel	-99.407 t/a	-26,0%	-204.983 t/a	-53,5%	-258.204 t/a	-67,4%	-316.316 t/a	-82,6%
		Summe	-118.720 t/a	-31,0%	-237.439 t/a	-62,0%	-306.373 t/a	-80,0%	-382.966 t/a	-100,0%
Wärmesektor gesamt	865.395 t/a	Gesamtsumme	-330.988 t/a	-38,2%	-522.072 t/a	-60,3%	-687.492 t/a	-79,4%	-865.395 t/a	-100,0%

Ziel-Szenario „all-electric“:

Das Ziel-Szenario geht deutlich über die Klimaschutzbemühungen des Bundes sowie der europäischen Effizienzrichtlinie hinaus. Zur umfangreichen Sanierung von ca. ¾ des aktuellen Krefelder Gebäudebestands wird nach grober Schätzung eine Sanierungsrate von rund 5 Prozent pro Jahr benötigt. Bezüglich der Maßnahmen zum Energieträgerwechsel wird auf die seitens der Bundesregierung forcierten Elektrifizierung des Wärmesektors aufgesetzt. Mit Veröffentlichung des Konzeptpapiers „65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024“ im Juli 2022 beschreibt das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) das Konzept zur Umsetzung der Wärmewende im Gebäudesektor. Als gesetzliche Erfüllungsoptionen bei Neueinbau sowie Modernisierung bestehender Heizungsanlagen fokussiert das BMWK und das BMWSB

- den Anschluss an ein Wärmenetz, das aus mindestens 65 Prozent erneuerbaren Wärmequellen gespeist wird oder für das ein Transformationsplan vorliegt sowie
- den Einbau einer Wärmepumpe mit der Wärmequelle Luft, Erdreich oder Wasser.

Der Einbau von Heizungen (fest, flüssig) mit nachweislich nachhaltig produzierter Biomasse (fest, flüssig) wird aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit nur da empfohlen, wo durch begrenzte Sanierungsmöglichkeiten weiterhin hohe Vorlauftemperaturen benötigt werden. Die Nutzung grüner Gase (Biomethan, grüner H₂) soll nur unter Anwendung eines Herkunftsnachweissystems erfolgen dürfen, um einen Mindestanteil von 65 Prozent erneuerbaren Energien an der Wärmeerzeugung zu erreichen.

Der jährliche Anstieg des Wärmebedarfs infolge der Bevölkerungszunahme sowie des Wirtschaftswachstums im Industriesektor sind berücksichtigt und unten dargestellt.

Es gelten folgende Randbedingungen zum Energieträgerwechsel im Ziel-Szenario „all electric“:

- vollständiger Kohleausstieg bis spätestens 2030
- Verdopplung des Absatzes einer vollständig zu dekarbonisierenden Fernwärme (Erweiterung des Versorgungsgebietes sowie Nachverdichtungsmaßnahmen)
- Einbindung von ca. 110 MWh/a Abwärme aus industriellen oder gewerblichen Prozessen durch Einspeisung in Nah-/Fernwärmenetze oder direkte Nutzung
- Ersatz restlicher fossiler Energieträger durch Wärmepumpen in Versorgungsnetzen (Nahwärme) oder dezentraler Wärmepumpen mit den Wärmequellen Luft, Geothermie oder Wasser im sanierten Gebäudesektor
- Einsatz von Biomasse im unsanierten bzw. nur begrenzt zu sanierenden Bestand
- Vollständige Elektrifizierung des Industriesektors

Für das ZIEL-Szenario „all-electric“-Szenario ergibt sich daraus die in der folgenden Abbildung dargestellte Entwicklung des Energieträgermixes (Endenergie) für Wärmeanwendungen in allen Sektoren:

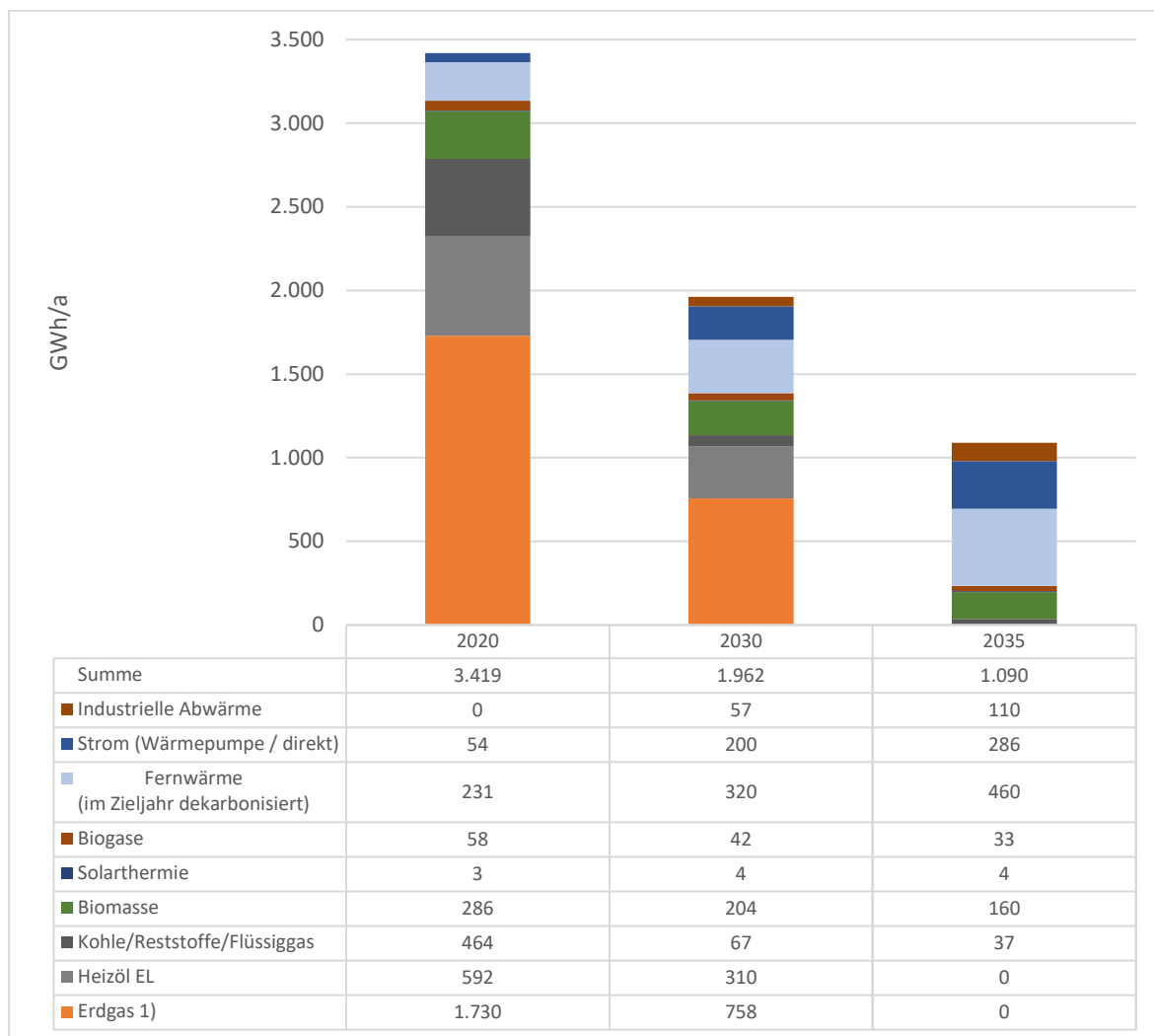


Abbildung 52 Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Energieträgermixes für Wärme – ZIEL-Szenario „all-electric“

1) bis 2045 durch THG-neutrale Alternativen (grüner Wasserstoff, Bio-Methan o.ä.) zu ersetzen

Für den Sektor Haushalte ergibt sich aus den oben beschriebenen Maßnahmen im Jahr 2035 folgender Energieträgermix (Endenergie):

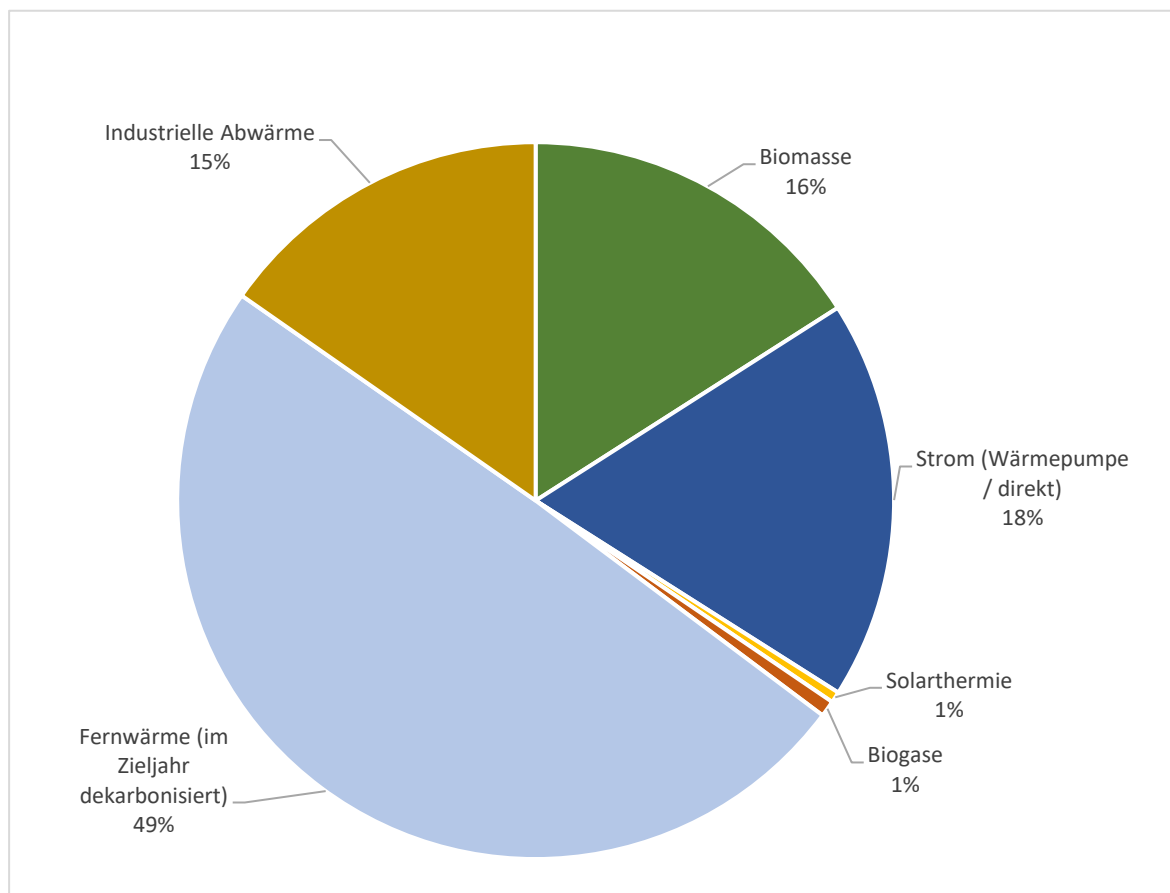


Abbildung 53 Energieträgermix 2035 für Haushalte im Wärmewende-ZIEL-Szenario „all-electric“

Durch Anwendung der Treibhausgasemissionsfaktoren ergibt sich folgender Reduktionspfad bis 2035 am Beispiel Haushalte:

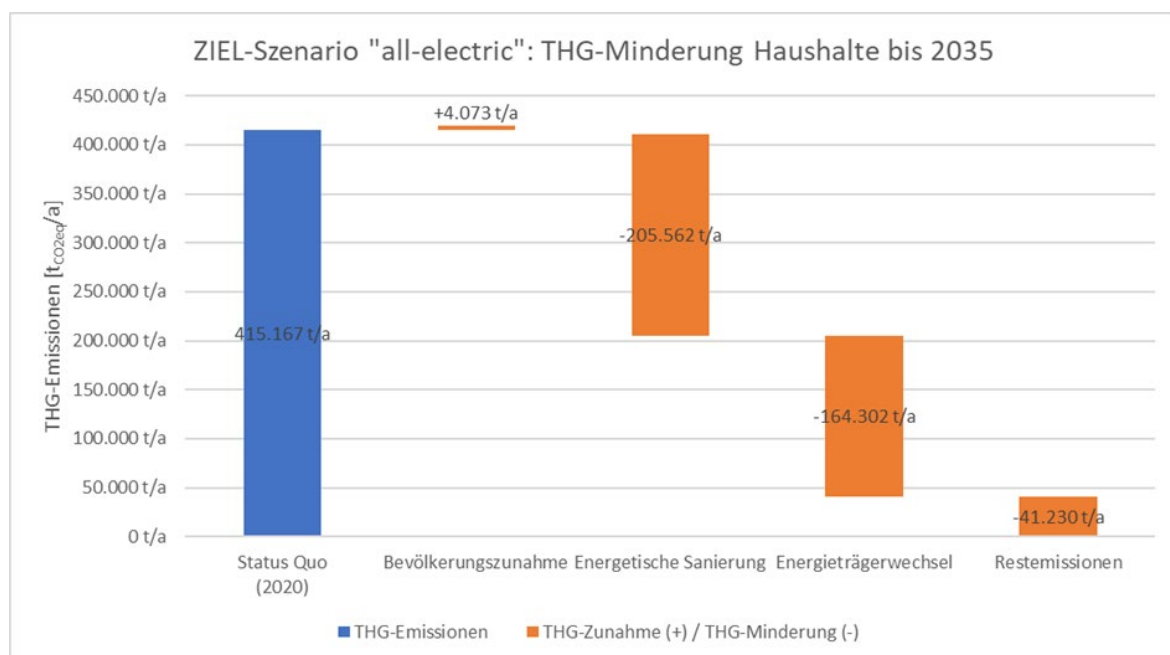


Abbildung 54 Wärmewende-ZIEL-Szenario „all-electric“: THG-Minderung Haushalte bis 2035

Für den Industriesektor (nicht-ETS-pflichtig) ergibt sich aus den oben beschriebenen Maßnahmen im Jahr 2035 folgender Energieträgermix (Endenergie):

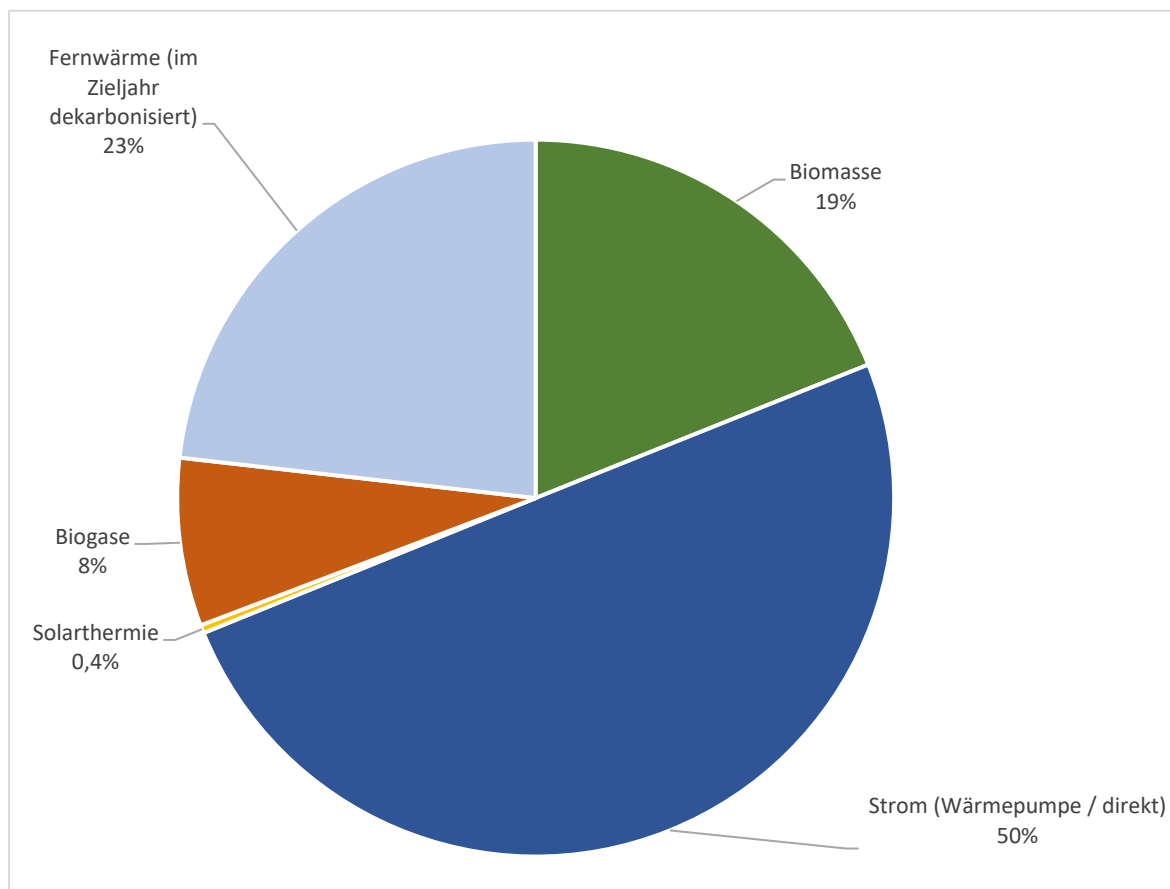


Abbildung 55 Energiemix 2035 für Industrie (nicht ETS-pflichtig) im Wärmewende-ZIEL-Szenario „all-electric“

Durch Anwendung der Treibhausgasemissionsfaktoren ergibt sich folgender Reduktionspfad bis 2035 am Beispiel Industrie:

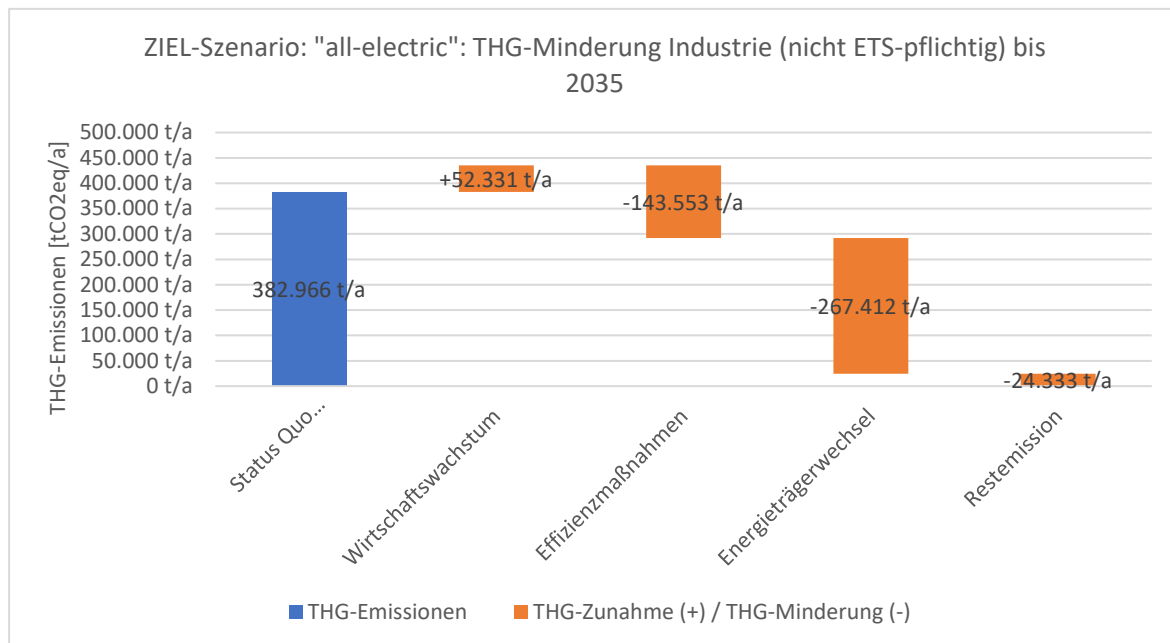


Abbildung 56 Wärmewende-ZIEL-Szenario „all-electric“: THG-Minderung Industrie (nicht ETS-pflichtig) bis 2035

Nachfolgend sind die THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld dargestellt:

Tabelle 13 THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld im Wärmewende-ZIEL-Szenario „all electric“

ZIEL-Szenario:	THG-Emissionen	THG-Entwicklung bez. auf das Jahr 2020				
Sektor	2020	Maßnahme	2030		2035	
Haushalte	415.167 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-5.557 t/a	-1,339%	-4.073 t/a	-1,0%
		Energetische Sanierung	-139.323 t/a	-33,6%	-205.562 t/a	-49,5%
		Energieträgerwechsel	-97.607 t/a	-23,5%	-164.302 t/a	-39,6%
		Restemissionen	-	-	-41.230 t/a	-9,9%
		Summe	-242.487 t/a	-58,4%	-415.167 t/a	-100,0%
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	49.829 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-	-	-	-
		Energetische Sanierung	-20.908 t/a	-42,0%	-29.653 t/a	-59,5%
		Energieträgerwechsel	-5.881 t/a	-11,8%	-15.504 t/a	-31,1%
		Restemissionen	-	-	-4.673 t/a	-9,4%
		Summe	-26.788 t/a	-53,8%	-49.829 t/a	-100,0%
Kommunale Verwaltung	17.433 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-	-	-	-
		Energetische Sanierung	-5.897 t/a	-33,8%	-8.736 t/a	-50,1%
		Energieträgerwechsel	-1.822 t/a	-10,4%	-5.234 t/a	-30,0%
		Restemissionen	-	-	-3.463 t/a	-19,9%
		Summe	-7.719 t/a	-44,3%	-17.433 t/a	-100,0%
Industrie (nicht ETS- pflichtig)	382.966 t/a	Wirtschaftswachstum	34.140 t/a	8,9%	52.331 t/a	13,7%
		Effizienzmaßnahmen	-90.992 t/a	-23,8%	-143.553 t/a	-37,5%
		Energieträgerwechsel	-155.001 t/a	-40,5%	-267.412 t/a	-69,8%
		Restemissionen	-	-	-24.333 t/a	-6,4%
		Summe	-211.853 t/a	-55,3%	-382.966 t/a	-100,0%
Wärmesektor gesamt	865.395 t/a	Gesamtsumme	-488.848 t/a	-56,5%	-865.395 t/a	-100,0%

Ziel-Szenario „grüner H₂“:

Alternativ zum vorher ausgeführten und von der Bundesregierung forcierten Strategie zur Wärmewende im Gebäudesektor wird in diesem Szenario davon ausgegangen, dass bis spätestens 2035 ausreichend grüner Wasserstoff im bestehenden Erdgasnetz der NGN bereitgestellt werden kann. Aufgrund der aktuellen gesetzlichen Bestimmungen wird von keinen Neuanschlüssen an das Erdgasnetz ausgegangen.

Die Randbedingungen zur Gebäudesanierung sowie zur Effizienzsteigerung im Industriesektor entsprechen denen des Basis-Szenarios.

In nicht mit Erdgas erschlossenen Gebieten wird von einer Elektrifizierung mittels Wärmepumpe (zentral, dezentral) oder von Insel-/Quartierslösungen zur leitungsgebundenen Wärmeversorgung (dekarbonisiert) ausgegangen. Ein Ausbau der zentralen Fernwärme-Erzeugungskapazitäten wird nicht unterstellt.

Der jährliche Anstieg des Wärmebedarfs infolge der Bevölkerungszunahme sowie des Wirtschaftswachstums im Industriesektor sind berücksichtigt und unten dargestellt.

Es gelten folgende Randbedingungen zum Energieträgerwechsel im Ziel-Szenario „grüner H₂“:

- vollständiger Kohleausstieg bis spätestens 2030
- Nutzung des vorhandenen Gasnetzes und vollständige Dekarbonisierung der Gasversorgung durch Einsatz von grünem Wasserstoff
- Bereitstellung von dekarbonisierter Fernwärme durch SWK/NGN (kein Ausbau, keine Nachverdichtung)

- Einbindung von ca. 110 MWh/a Abwärme aus industriellen oder gewerblichen Prozessen durch Einspeisung in Nah-/Fernwärmenetze oder direkte Nutzung
- Ersatz restlicher fossiler Energieträger durch Wärmepumpen in Versorgungsnetzen (Nahwärme) oder dezentraler Wärmepumpen mit den Wärmequellen Luft, Geothermie oder Wasser im sanierten Gebäudesektor
- Einsatz von Biomasse im unsanierten bzw. nur begrenzt zu sanierenden Bestand
- Ersatz restlicher fossiler Energieträger im Industriesektor durch Wärmepumpen oder sonstige elektrische Wärmeerzeuger

Für das ZIEL-Szenario „grüner H₂“-Szenario ergibt sich daraus die in der folgenden Abbildung dargestellte Entwicklung des Energieträgermixes (Endenergie) für Wärmeanwendungen in allen Sektoren:

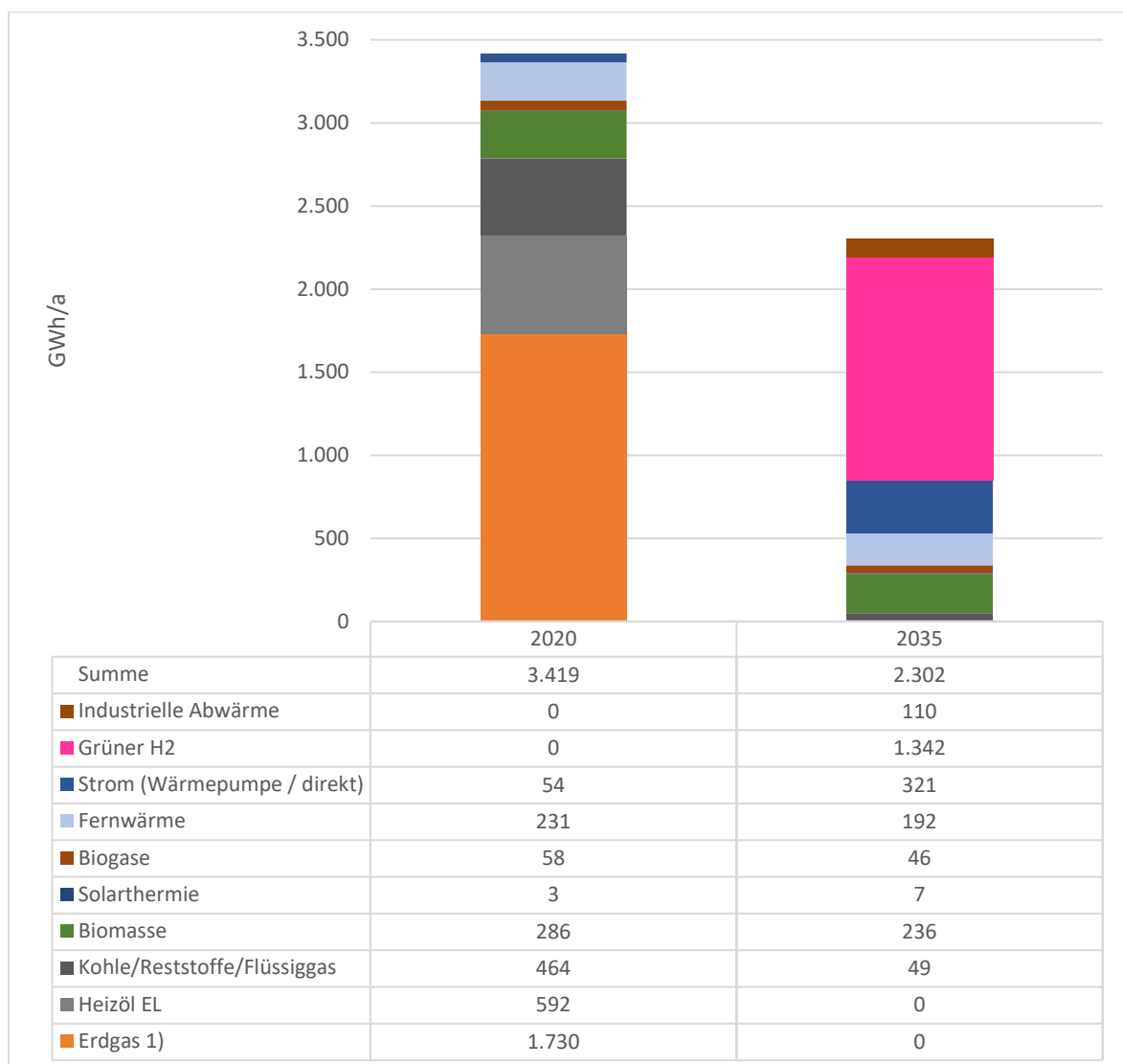


Abbildung 57 Entwicklung des Endenergieverbrauchs und des Energieträgermixes für Wärme – ZIEL-Szenario „grüner Wasserstoff“

1) bis 2045 durch THG-neutrale Alternativen (grüner Wasserstoff, Bio-Methan o.ä.) zu ersetzen

Aus den oben beschriebenen Maßnahmen resultiert folgender Energieträgermix für Haushalte im Jahr 2035:

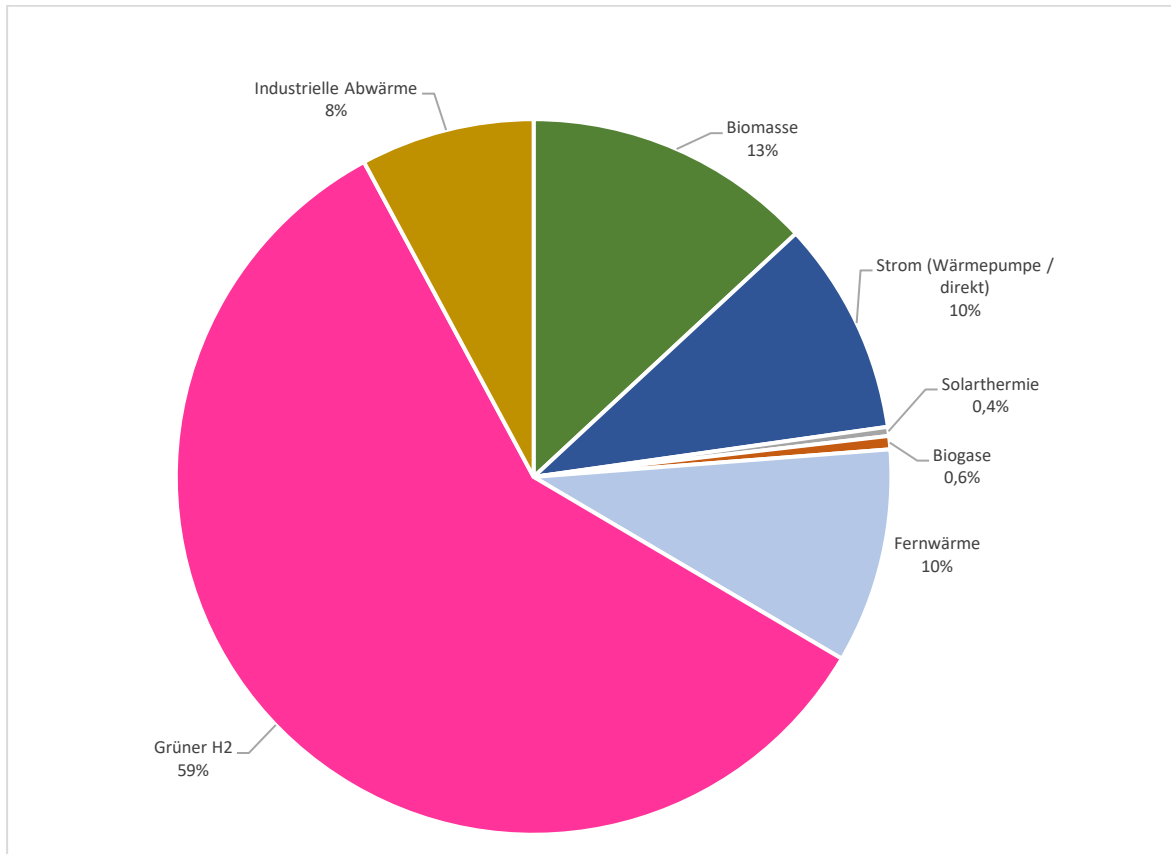


Abbildung 58 Energiemix 2035 für Haushalte im Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H₂“

Durch Anwendung der Treibhausgasemissionsfaktoren ergibt sich folgender Reduktionspfad bis 2035 am Beispiel Haushalte:

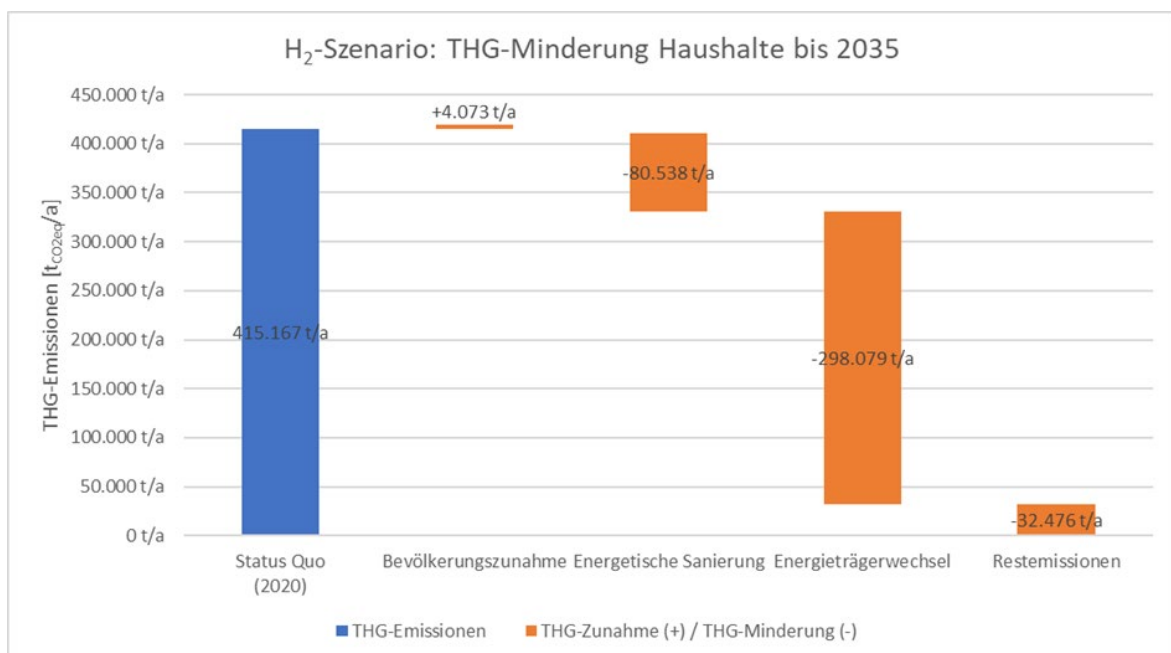


Abbildung 59 Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H₂“: THG-Minderung Haushalte bis 2035

Aus den oben beschriebenen Maßnahmen resultiert folgender Energieträgermix im Industriesektor (nicht-ETS-pflichtig) im Jahr 2035:

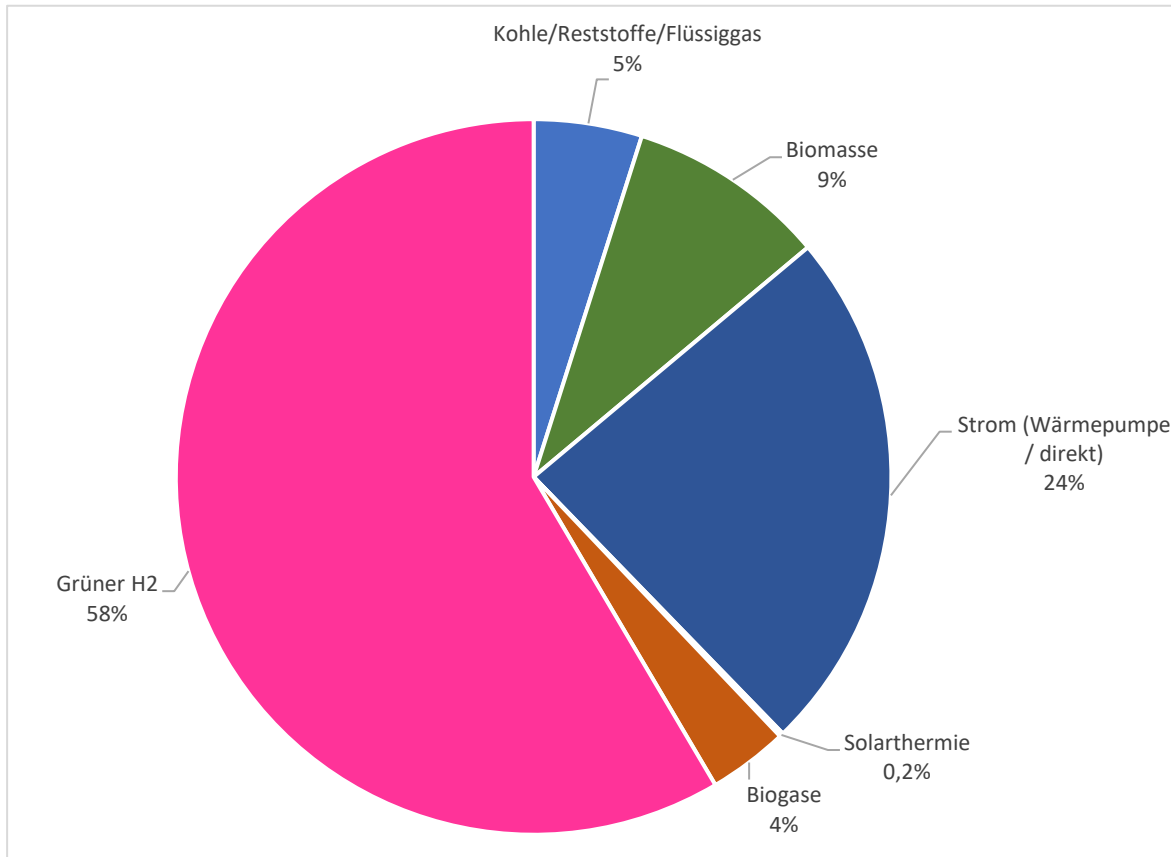


Abbildung 60 Energiemix 2035 für Industrie (nicht ETS-pflichtig) im Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H₂“

Durch Anwendung der Treibhausgasemissionsfaktoren ergibt sich folgender Reduktionspfad bis 2035 am Beispiel Industrie:

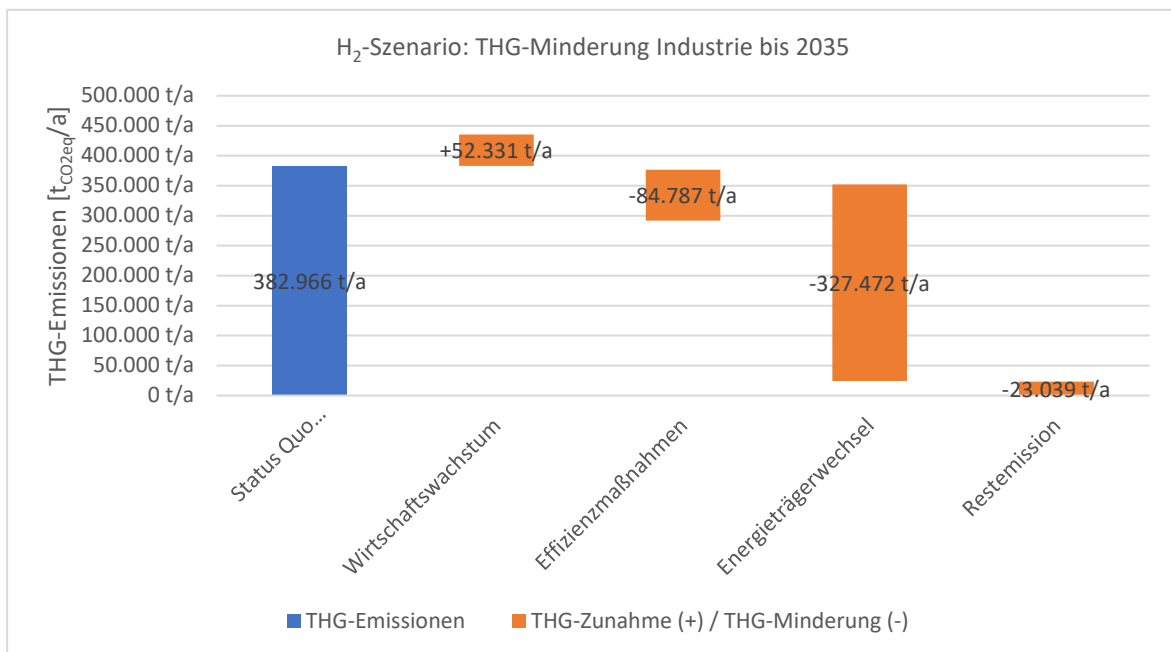


Abbildung 61 Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H₂“: THG-Minderung Industrie (nicht ETS-pflichtig) bis 2035

Nachfolgend sind die THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld dargestellt:

Tabelle 14 THG-Einsparungen je Sektor und Maßnahmenfeld im Wärmewende-ZIEL-Szenario „grüner H₂“

H2-Szenario:	THG-Emissionen	THG-Entwicklung bez. auf das Jahr 2020		
Sektor	2020	Maßnahme	2035	
Haushalte	415.167 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-4.073 t/a	-1,0%
		Energetische Sanierung	-80.538 t/a	-19,4%
		Energieträgerwechsel	-298.079 t/a	-71,8%
		Kompensation	-32.476 t/a	-7,8%
		Summe	-415.167 t/a	-100,0%
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	49.829 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-	-
		Energetische Sanierung	-15.107 t/a	-30,3%
		Energieträgerwechsel	-32.840 t/a	-65,9%
		Kompensation	-1.882 t/a	-3,8%
		Summe	-49.829 t/a	-100,0%
Kommunale Verwaltung	17.433 t/a	Bevölkerungsentwicklung	-	-
		Energetische Sanierung	-3.582 t/a	-20,5%
		Energieträgerwechsel	-9.526 t/a	-54,6%
		Restemissionen	-4.325 t/a	-24,8%
		Summe	-17.433 t/a	-100,0%
Industrie (nicht ETS- pflichtig)	382.966 t/a	Wirtschaftswachstum	52.331 t/a	13,7%
		Effizienzmaßnahmen	-84.787 t/a	-22,1%
		Energieträgerwechsel	-327.472 t/a	-85,5%
		Restemissionen	-23.039 t/a	-6,0%
		Summe	-382.966 t/a	-100,0%
Wärmesektor gesamt	865.395 t/a	Gesamtsumme	-865.395 t/a	-100,0%

Fazit der Szenarienbetrachtung:

Die zuvor beschriebenen Szenarien zeigen die notwendigen Maßnahmen zur Wärmewende in Krefeld bzw. zur Erreichung der Klimaneutralität bis 2035 auf. Dabei werden die aktuellen Trends zur Sanierung und Modernisierung bzw. zum Energieträgerwechsel fortgeführt sowie gegenüber den bundesweiten Zielsetzungen mit Erreichen der Klimaneutralität bis spätestens 2045 verdeutlicht. Das Ziel-Szenario „all-electric“ gemäß der Wärmewendestrategie des Bundes für den Gebäudesektor sowie das alternative Ziel-Szenario „grüner H₂“ sind mit extrem hohem Aufwand – technisch, wirtschaftlich und organisatorisch – sowie großen Herausforderungen verbunden, die es im Rahmen einer gesamtstädtischen Strategie zur Wärmewende durch die Stadt Krefeld mit allen relevanten Akteuren (SWK/NGN, Eigentümer:innen, Wohnungs- und Immobiliengesellschaften, GHD-Betriebe, städtische Liegenschaften, Industrie etc.) zu koordinieren und zu steuern gilt. Die nötigen Mehraufwände zur THG-Reduktion in nachfolgender Grafik dargestellt:

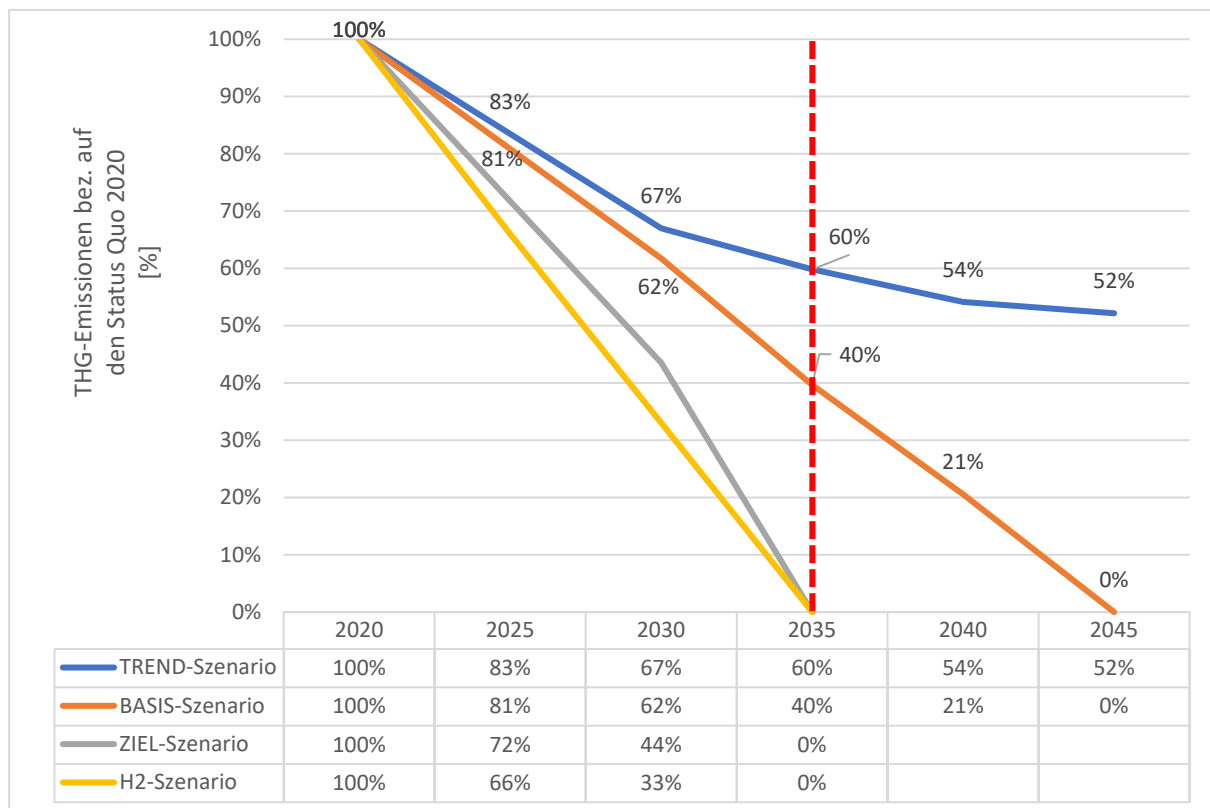


Abbildung 62 Reduktionspfade der Wärmewende je Szenario

Unter Fortführung der aktuellen Trends können die gesamtstädtischen Treibhausgasemissionen im Wärmesektor – bezogen auf den Status Quo (ETS-pflichtige Betriebe unberücksichtigt) – um maximal 40 % reduziert werden. Folglich wird das Ziel der Klimaneutralität bis 2035 in diesem Szenario um 60 % verfehlt. Mit Erreichen der Klimaneutralität bis 2045 auf Bundesebene entsteht bis 2035 eine erhebliche Differenz zum Erreichen der „Netto-Null“ bis 2035. Rund 40 % der Treibhausgasemissionen des Status Quo sind demnach bis 2035 zu mindern. Die oben gezeigte Darstellung zeigt für die Ziel-Szenarien die nötigen Reduktionspfade auf. Aufgrund der nicht klimaneutralen Stromversorgung bis 2035 entstehen Restemissionen, sodass die „Netto-Null“ trotz maximaler Klimaschutzbemühungen auf gesamtstädtischer Ebene nicht erreicht wird. Im Ziel-Szenario „all-electric“ beträgt der Anteil der Restemissionen bezogen auf den Status Quo rund 9 %, im Ziel-Szenario „grüner H₂“ rund 7 %, die es zum Erreichen einer vollständigen Klimaneutralität im Wärmesektor zu kompensieren gilt (vgl. Kapitel 9).

Herausforderungen und Entwicklungen:

Aus den oben genannten Klimaschutzbemühungen in den ZIEL-Szenarien ergeben sich erhebliche Mehraufwände sowie große Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt:

Regulatorische Entwicklungen:

- 65% erneuerbare Energien (EE) beim Einbau von neuen Heizungen bei Heizungsaustausch ab 2024 gefordert (GEG, Konzeptpapier 65% EE des BMWK)
- Anschluss an ein Wärmenetz mit Transformationsplan bevorzugt
- Bundesförderung Effiziente Gebäude (BEG):
Förderung von EE-Anlagen, insbesondere Wärmepumpen
- Bundesförderungen Effiziente Wärmenetze (BEW):
Erhöhung der Fördersumme auf 100 Mio. € und Betriebskostenzuschüsse für Wärmepumpen
- Wärmestrategie der Bundesregierung für den Gebäudesektor zielt auf Wärmepumpen ab (H₂ vorzugsweise für Industrie u. Mobilität, vgl. Wasserstoff-Roadmap NRW und nationale Wasserstoffstrategie des Bundes)

Gebäudesanierungen:

- Hohe Investitionskosten
- Dynamische Förderlandschaften
- Sanieren im Bestand unter Gewährleistung der Wohnbarkeit
- Kostenumlage auf Mieter:innen und Auswirkungen auf Kaltmieten
- Begrenzte Sanierbarkeit, z.B. im denkmalgeschützten Bestand
- steigende Materialkosten, Materialknappheit und Handwerkerangel
- Bestandsschutz

Elektrifizierung des Wärmesektors:

- Vervielfachung des Strombedarfs für Wärmeanwendungen und damit einhergehend
- Ausbau der Stromerzeugungskapazitäten auf Basis erneuerbarer Energien
- Verfügbarkeit und Lieferengpässe von Wärmepumpen
- notwendige Vorleistungen (insbesondere Gebäudesanierungen)
- Ertüchtigung und Ausbau der vorgelagerten Stromnetzinfrasturktur (Übertragungsnetz, Verteilnetz)

Ausbau und Dekarbonisierung der Fernwärme:

- Verdopplung des Fernwärmeabsatzes („all-electric“)
- Vervielfachung der Anzahl der Anschlüsse durch Nachverdichtung und Neuerschließung („all-electric“)
- Netzertüchtigung und Absenkung von Vorlauftemperaturen im Primärnetz
- Notwendige Maßnahmen zur vollständigen Dekarbonisierung durch Einbindung erneuerbarer Energien und Abwärme (u.A. Vervielfachung Strombedarf für Wärmeanwendungen/Ausbau EE-Stromerzeugung; s.o.)
- Unterstützungsbedarf seitens der Kommune zur regulatorischen Umsetzung durch z.B. Anschlusszwänge oder Satzungsgebiete

Nutzung von grünem Wasserstoff im Erdgasnetz:

- Nutzung von grünem Wasserstoff laut Wasserstoff-Roadmap NRW und Bund primär für Industriesektor oder sekundär für Mobilitätsanwendungen vorgesehen
- Wasserstoffbedarf von Krefeld > 3 TWh/a (entspricht ca. 10% des Wasserstoffbedarfs von NRW laut Wasserstoff-Roadmap NRW)
- Erschließung von außerstädtischen Bereichen mit Erdgas,

- reine Erdgaskessel bei Heizungsaustausch ab 30.06.2026 unzulässig⁷
- Wahlfreiheit des Gasversorgers nach Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)

2.5. Umsetzungsstrategie

Die in den beiden Ziel-Szenarien beschriebenen technischen Maßnahmen zur THG-Minderung im Wärmesektor können in eine gesamtstädtische Umsetzungsstrategie überführt werden. Die Maßnahmen sind dabei auf Gebäude- wie auf Quartiers- und Stadtteilebene von verschiedenen Eigentümer:innen, Betreiber:innen und Akteuren umzusetzen. Es ist zu empfehlen, dass die Maßnahmen koordiniert und entsprechend der gesamtstädtischen Wärmewendestrategie (kommunale Wärmeplanung) umgesetzt werden sollen. Allgemein soll die kommunale Wärmewendestrategie folgendem Fahrplan folgen:

- I. Wärmeverbräuche reduzieren, um THG-Emissionen einzusparen
- II. Vorlauftemperaturen absenken, um die Grundlage zur Einbindung erneuerbarer Energien zu schaffen
- III. Wärmequellen identifizieren, entsprechend den möglichen erneuerbaren Potenzialen
- IV. Erneuerbare Wärmequellen in die bestehenden Systeme integrieren oder bestehende, fossile Energieträger durch erneuerbare Wärmequellen ersetzen

Angewendet auf die vorliegenden Nutzer- und Gebäudestrukturen im Krefelder Stadtgebiet lässt sich für den Gebäudesektor, bestehend aus Wohn- und Nichtwohngebäuden (GHD, kommunale Liegenschaften) folgender Fahrplan zur Wärmewende aufstellen:

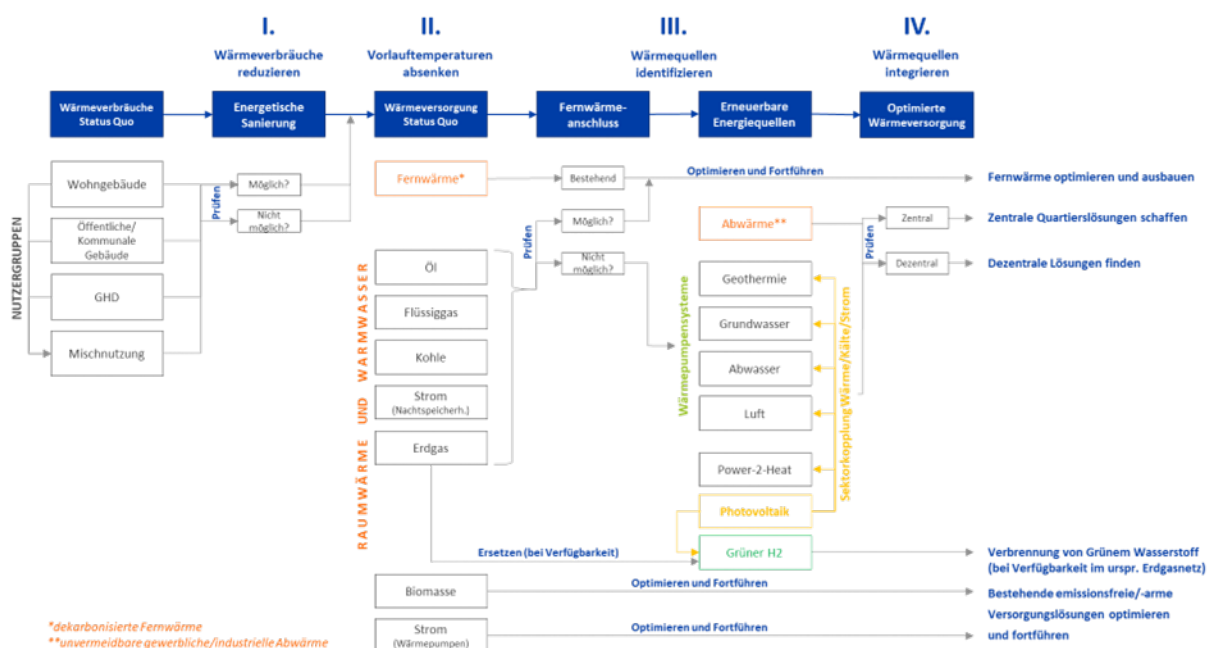


Abbildung 63 Handlungsoptionen und deren Rangfolge für die Wärmewende in Krefeld (Gebäudesektor)

Der oben dargestellte Fahrplan lässt sich grundsätzlich auch für den Krefelder Industriesektor anwenden. Zu beachten ist hierbei, dass durch den vorhandenen Prozesswärmebedarf allgemein höhere Temperaturen erforderlich werden als im Gebäudesektor. Entsprechende Prozesse sind daher zu elektrifizieren oder durch Verbrennung von grünem Wasserstoff – sofern verfügbar und entsprechend der Wasserstoff-Roadmap des Bundes und Landes NRW – zu ersetzen.

⁷ Das GEG 2024 sieht vor, dass für Bestandsgebäude in n Städten mit mehr als 100.000 Einwohnern der Einbau von Heizungen mit mindestens 65 Prozent Erneuerbaren Energien spätestens nach dem 30. Juni 2026 verbindlich wird.

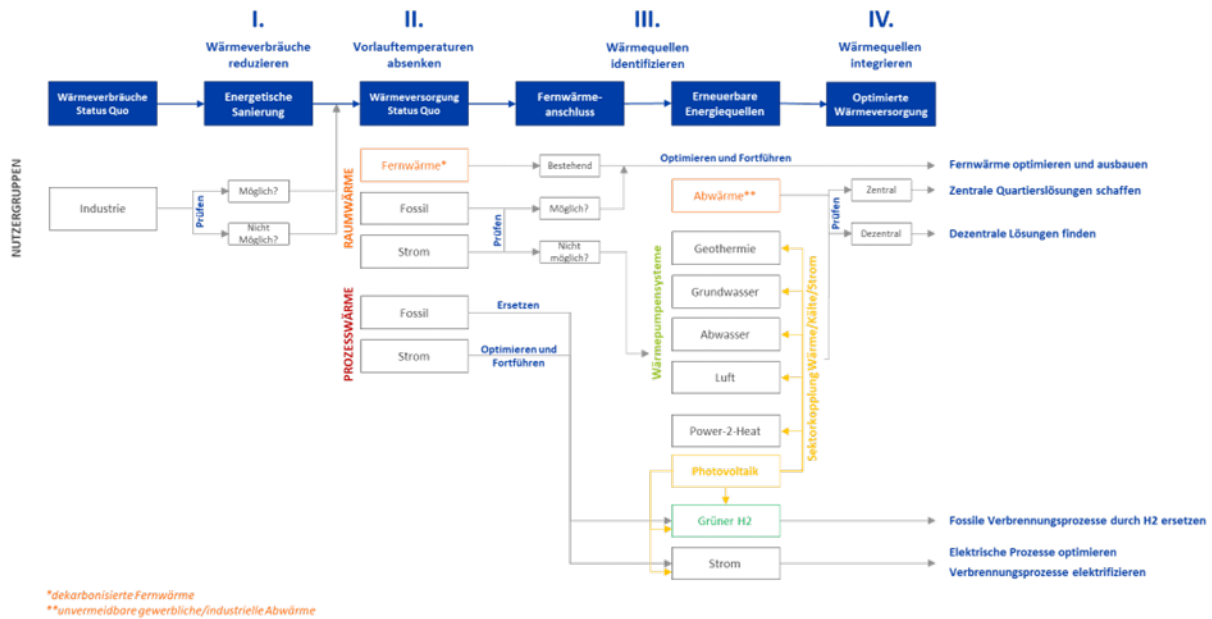


Abbildung 64 Handlungsoptionen und deren Rangfolge für die Wärmewende in Krefeld (Industrie)

Auf Grundlage der im Rahmen der Fokusbetrachtung Wärmewende durchgeführten ersten Analysen für eine kommunale Wärmeplanung lassen sich die beschriebenen technischen Maßnahmen in eine Wärmewendestrategie überführen. Eine grobe räumliche Zuordnung der prioritären Maßnahmen zum Energieträgerwechsel zu den statistischen Bezirken sieht wie folgt aus:

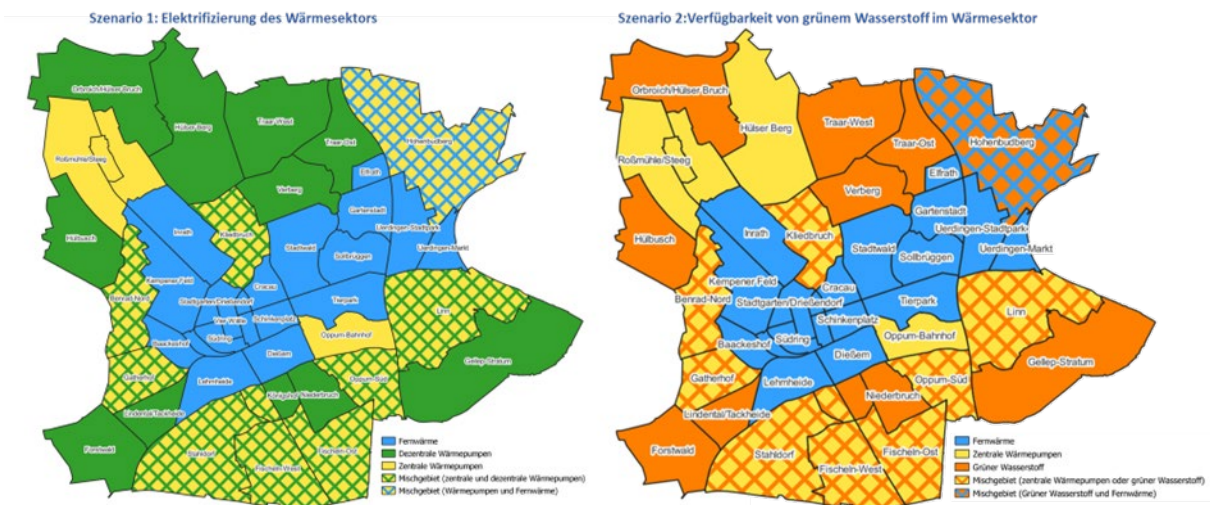


Abbildung 65 Vergleich des Energieträgermixes in den ZIEL-Szenarien je Gebiet der Stadt Krefeld

Diese fachliche und räumliche Zuordnung ist im Rahmen der kommunalen Wärmeplanung zu vertiefen und weiter zu differenzieren.

- Umfangreiche Maßnahmen zur energetischen Sanierung im Gebäudesektor sowie zur Effizienzerhöhung im Industriesektor sind in beiden Ziel-Szenarien zu tätigen. Sie stellen die Grundlage für einen Wechsel der Versorgungssysteme und Energieträger dar. Dabei wird für das Zielszenario 1 („all-electric“) unterstellt, dass weitergehende Maßnahmen zur Energieeinsparung und zur Vorbereitung der Heizsysteme zur Vorbereitung auf die aus energetischer Sicht wünschenswerten Niedertemperatursysteme erforderlich sind.

- Das Zielszenario 1 („all-electric“) forciert darüber hinaus den Ausbau und die Nachverdichtung der Fernwärme in bereits erschlossenen Gebieten sowie in umliegenden Gebieten mit hohen Wärmedichten durch Verdopplung des aktuellen Fernwärmeabsatzes. Die bis 2035 vollständig zu karbonisierende Fernwärme der SWK/NGN dient somit als wichtiges Instrument zur Wärmewende im innerstädtischen Bereich (siehe blaue Einfärbung). Als prioritäre Maßnahme in den blau gekennzeichneten Gebieten entspricht sie ebenfalls dem Fahrplan im Konzeptpapier „65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024“ des BMWK zum Erreichen eines klimaneutralen Gebäudebestandes.
- In allen weiteren hoch verdichteten Gebieten, in denen eine Erschließung mit Fernwärme wirtschaftlich und technisch nur unter hohem Aufwand möglich ist, beispielsweise in Oppum-Bahnhof, soll sich auf die Umsetzung zentraler Versorgungskonzepte (Wärmenetze) auf Quartiers- oder Blockebene unter Einbindung der vorhandenen erneuerbaren Potenziale sowie Abwärme konzentriert werden, beispielsweise in Krefeld-Hüls.
- Sofern ausreichend grüner Wasserstoff zur Verfügung steht und im vorhandenen Erdgasnetz bereitgestellt werden kann, können bestehende Erdgasanschlüsse weiterverwendet werden (vgl. Ziel-Szenario „grüner H₂“ bzw. Szenario 2 in vorangehender Abbildung).
- In Gebieten mit geringen Wärmedichten, insbesondere in den außerstädtischen Bereichen wie Forstwald, die nicht mit Fernwärme erschlossen sind, sind Einzellösungen auf Gebäude- oder Blockebene zu präferieren, bestehend aus dezentralen Wärmepumpensystemen unter Einbindung der vorhandenen erneuerbaren Potenziale (Geothermie, Abwasser, Umweltwärme).

Die grob skizzierten Maßnahmen und deren räumliche Zuordnung sind im Zuge der Erstellung einer kommunalen Wärmeplanung zu vertiefen, zu verifizieren und zu detaillieren sowie mit Wirtschaftlichkeitsberechnungen zu hinterlegen, um konkrete Maßnahmen zur Wärmewende ortsspezifisch auszuweisen, die durch die Kommune vorzubereiten und zu steuern sind.

3. Mobilitätswende

Für die Mobilitätswende und die Ziele bis 2035 sind deutlich höhere Ressourcen erforderlich, sowohl im finanziellen Bereich als in personeller Hinsicht. Die Senkung der mobilitätsbedingten Emissionen können durch unterschiedliche Maßnahmen reduziert werden, welche sich primär in die Bereiche der Verkehrsplanung/Verkehrssteuerung und das Mobilitätsmanagement einteilen. Der Umstieg auf umweltfreundliche Verkehrsmittel, die Änderung des Mobilitätsverhaltens, ein breites Angebot an Mobilitätsoptionen, gezielte Anreize sowie "Push- (wie flächendeckender Parkraumbewirtschaftung, Geschwindigkeitsbegrenzungen, etc.) und Pull (wie der Förderung des ÖPNV sowie des Fuß- und Radverkehrs, Mobilitätsmanagement, etc.)"-Maßnahmen bilden die Basis einer nachhaltigen Mobilität.

Dabei gelingt die Mobilitätswende am besten, wenn die drei Schritte der nachhaltigen Mobilität berücksichtigt werden:

- Verkehrsvermeidung
- Verkehrsverlagerung
- Verkehrsverbesserung

Der ÖPNV nimmt insgesamt eine zentrale Rolle in der Mobilitätswende ein und erfordert eine hohe finanzielle, personelle und technische Verbesserung.

3.1. Ausgangslage

Die Fahrtleistung des Verkehrs hat sich von der letzten Erhebung (vgl. KrefeldKlima 2030) zum Stand 2020 wie folgt verändert:

Tabelle 15 Fahrtleistung des Verkehrs in der Stadt Krefeld in 2017 und 2020 (EcoRegion, MID 2017, SWK AG)

	2017		2020	
	Km	Km-Anteile	Km	Km-Anteile
MIV	1.196.000.000	86%	796.000.000	80%
Bus StraBa	6.000.000	0,4%	4.830.000	0,5%
Fuß	46.000.000	3%	46.000.000	5%
Rad	149.000.000	11%	149.000.000	15%
Summe	1.397.000.000		995.830.000	

Aus Sicht des Klimaschutzes ist aber der Modal-Split nach Verkehrsleistung (der die zurückgelegten Entfernungen berücksichtigt) entscheidender. In Krefeld wurden im Jahr 2017

- 68 % der Verkehrsleistung (weitaus überwiegend als Fahrer) mit Pkw (oder motorisierten Zweirädern) erbracht,
- Rad: 7 %,
- Zu-Fuß-gehen: 2 %,
- Öffentlicher Verkehr: 23 %.

Diese Zahlen liegen insgesamt nahe beim Durchschnitt bundesdeutscher Großstädte. Allerdings ist der Anteil der Verkehrsleistung der Kfz-Selbstfahrer mit 60% deutlich höher als im Bundesdurchschnitt (47 %). Erfreulich ist, dass der Radverkehrsanteil mit 7% über dem Bundesdurchschnitt liegt (5%).

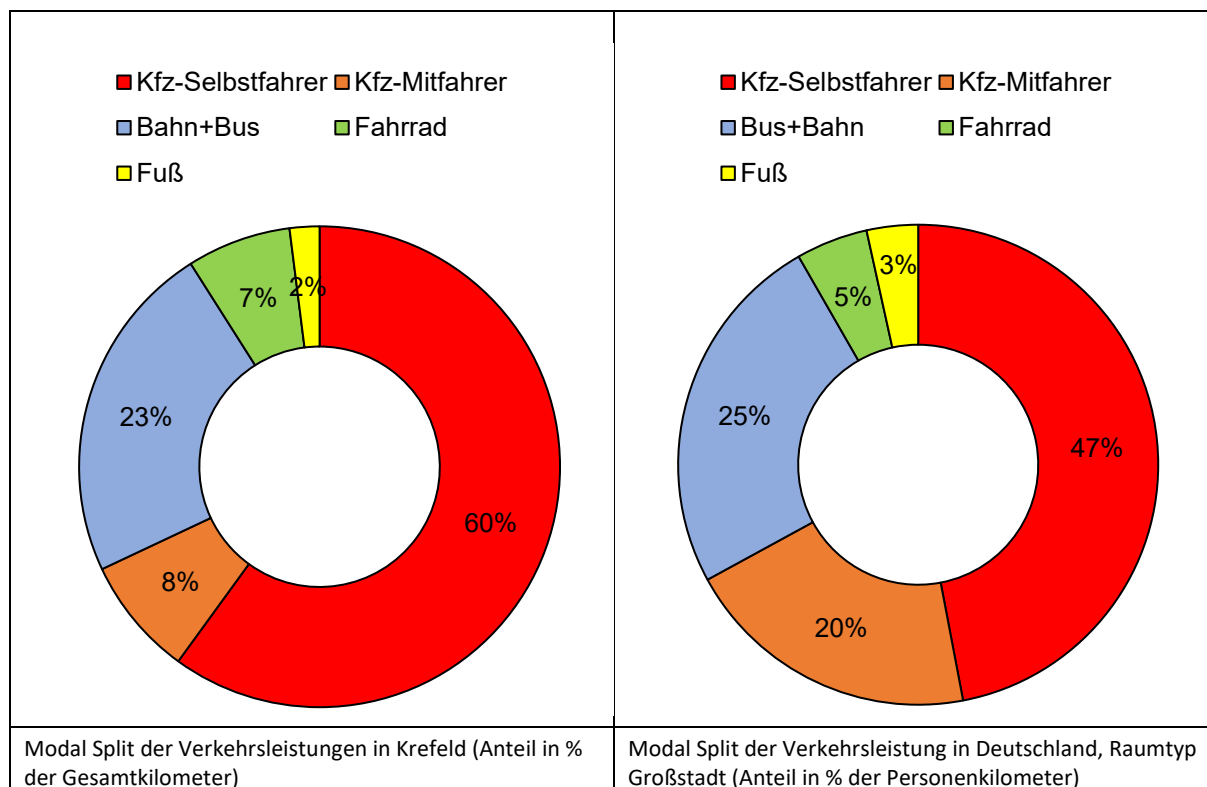


Abbildung 66 Modal-Split der Verkehrsleistung in Krefeld und in Deutschland im Vergleich (Mobilität 2017, MID 2017)

Im Bereich Mobilität liegen in Krefeld viele Konzepte vor, die Maßnahmen vorsehen, den Endenergieverbrauch zu reduzieren und die Treibhausgasemissionen zu senken.



Abbildung 67 Übersicht Konzepte im Bereich Mobilität

3.2. Energieverbrauch und THG-Emissionen

Energiebilanz

Nachfolgende Abbildung zeigt den Energieträgermix für den Bereich Mobilität im Krefelder Stadtgebiet (ohne ETS-pflichtige Betriebe):

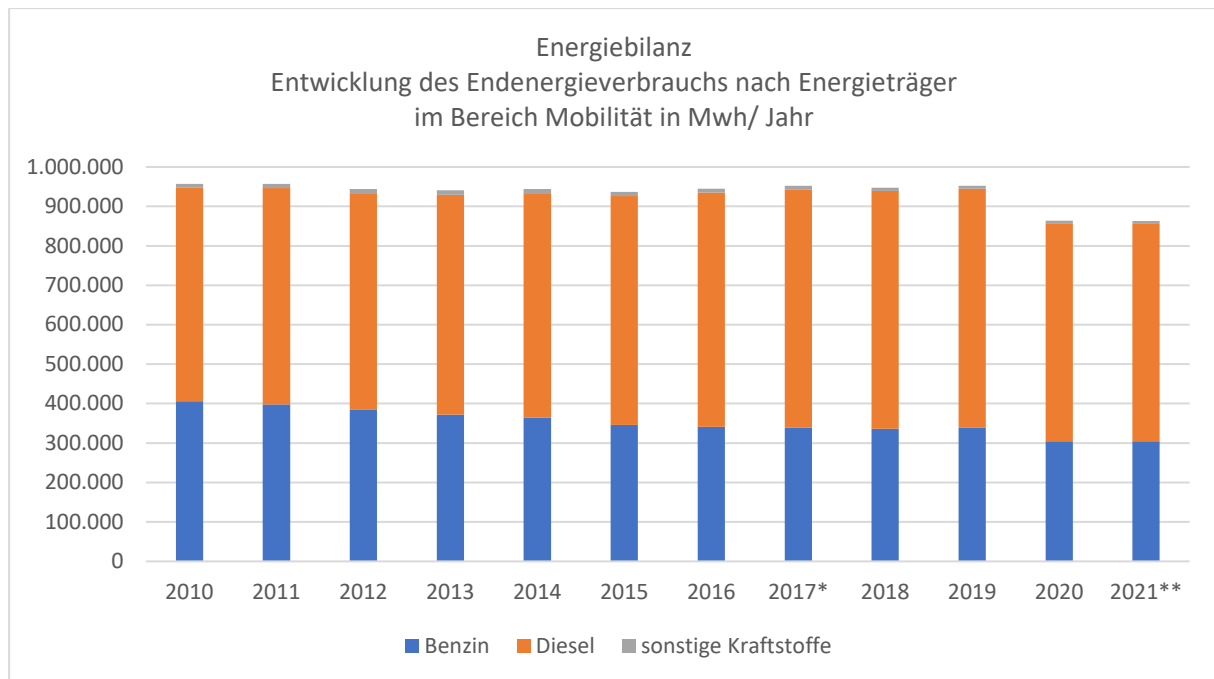


Abbildung 68 Energiebilanz im Bereich Mobilität

*Abweichungen zu KrefeldKlima 2030, u.a. durch Veränderungen im Bilanzierungstool; ohne ETS-pflichtige Betriebe, die in den Netzbetreiberdaten enthalten waren

** vorläufige Daten

In der Gesamtbetrachtung fahren im Durchschnitt circa 38 % der Fahrzeuge mit Benzin und 61 % mit Diesel. Die sonstigen Kraftstoffe sind mit einem 1 % sehr gering. Der Anteil von Benzin ist von 2010 bis 2021 von 42,5 % auf 35 % gesunken. Der Anteil von Diesel ist im gleichen Zeitraum von 56,5 % auf 61 % angestiegen. Die Energiebilanz ändert sich nicht signifikant.

Treibhausgasbilanz

Unter Anwendung der gültigen Treibhausgasemissionsfaktoren werden die erfassten Endenergiebedarfe je Energieträger in eine Treibhausgasbilanz überführt. Die technischen Maßnahmen zur Erreichung einer vollständigen Klimaneutralität („Netto-Null“) bis 2035 werden am Status Quo der THG-Bilanz ausgerichtet:

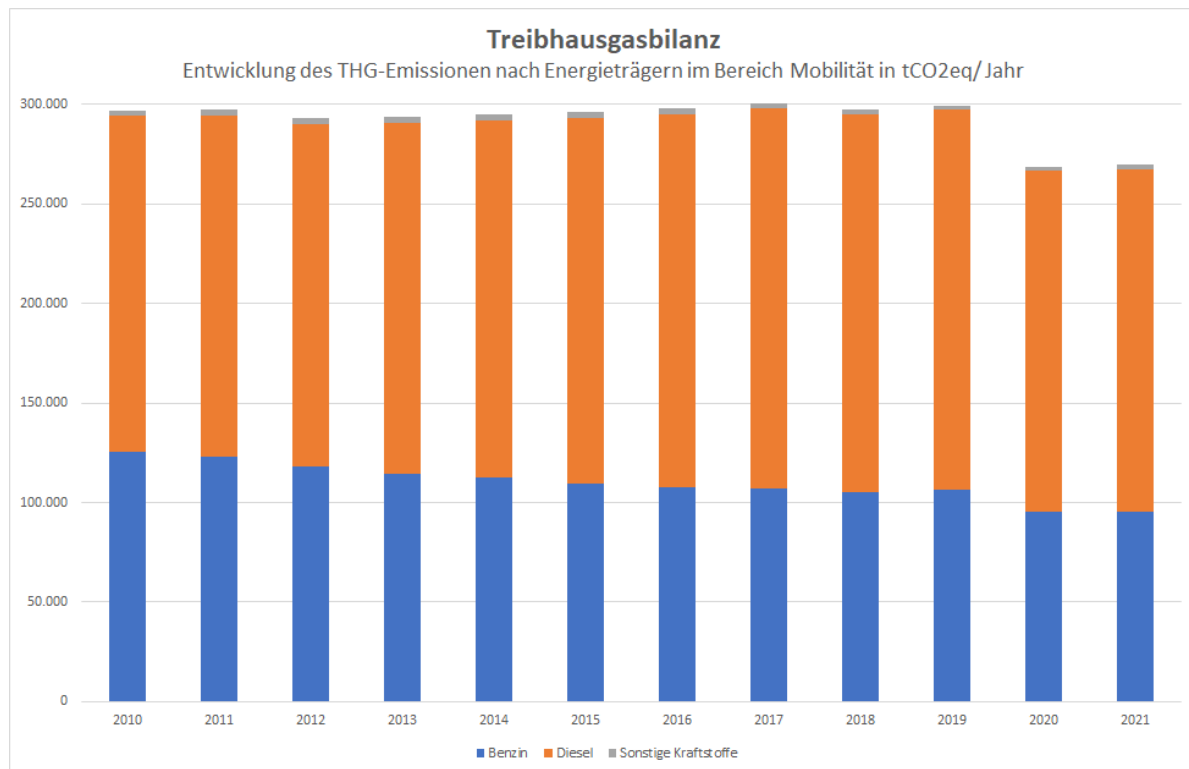


Abbildung 69 Entwicklung der THG-Emissionen in Krefeld

- * Abweichungen zu KrefeldKlima 2030, u.a. durch Veränderungen im Bilanzierungstool; ohne ETS-pflichtige Betriebe, die in den Netzbetreiberdaten enthalten waren
- ** vorläufige Daten, vorläufige THG-Werte (Faktoren von 2020)

Die mobilitätsbedingten THG-Emissionen bleiben auf dem gleichen Niveau wie 2010. Die Reduktionen in den Jahren 2020 und 2021 sind auf die Corona-Pandemie und die damit verbundenen Einschränkungen zurückzuführen.

3.3. Potenziale

Die hier angegebenen Potenziale stützen sich unter anderem auf Abschätzungen der bundesweiten CO₂-Minderungspotenziale wie dargelegt zum Beispiel in der Renewbility III-Studie (Öko-Institut et al. 2016). Daneben gibt es noch andere Studien, die sich mit Energie- bzw. Treibhausgaseinsparung im Verkehr beschäftigen. In der 2013 erschienenen Studie „Potenziale des Radverkehrs für den Klimawandel“ (UBA 2013) vom Umweltbundesamt werden verschiedene Variationen berechnet. Die Studie „CO₂-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland“ (UBA 2010) vom Umweltbundesamt befasst sich insbesondere mit Maßnahmen und Instrumenten. In der Studie „Konventionelle und alternative Fahrzeugtechnologien bei Pkw und schweren Nutzfahrzeugen – Potenziale zur Minderung des Energieverbrauchs bis 2050“ vom Öko-Institut in 2014 (Öko-Institut 2014) werden genaue Verbrauchswerte für 2010, 2020, 2030 mit ein bzw. zwei Szenarien aufgezeigt.

Das Jahr 2020 war zum Zeitpunkt der Potenzialermittlung und der Erarbeitung der Szenarien das Jahr mit der aktuellen, vollständigen Datenbasis, daher werden für die Potenziale und Szenarien diese Werte genutzt.

Für die Zielerreichung 2035 ist eine Reduktion des Energieverbrauchs um 54 % erforderlich. Die THG-Emissionen reduzieren sich in diesem Szenario um 76 % bis 2035. Bei den Fahrleistungen im Bereich Bus & Straßenbahn ist eine Erhöhung um 66 % erforderlich (siehe nachfolgende Tabelle).

Tabelle 16 Mobilitätswende-Potenziale

		Status-Quo 2020	Zwischen- schritt 2030	Ziel 2035	
Energieverbrauch	MWh	873.167	501.486	398.126	-54 %
THG Emissionen	t CO2 eq.	278.369	132.768	66.657	-76 %

Fahrleistung		Status-Quo 2020	Zwischen- schritt 2030	Ziel 2035	
MIV	Mio FzKm	796	692	660	- 17 %
Bus & Straßenbahn	Mio FzKm	4,83	7,36	8,02	+ 66 %
Fuß	Mio km	46,43	47,91	48,07	+ 4 %
Rad	Mio km	149,21	181,16	184,66	+ 24 %

Die Potenzialbetrachtung behandelt die Verlagerung des MIV auf andere Verkehrsmittel, die Vermeidung des MIV und den Einsatz von alternativen Antrieben

- Eine **Reduktion des MIV** und die damit einhergehende Erhöhung der Anteile des ÖPNV und des Schienennah- und Fernverkehrs bis 2035 sind nur realisierbar, wenn erhebliche Summen für den Ausbau der Infrastruktur getätigt sowie Änderungen der baulichen Planungen vorgenommen werden. Dies beinhaltet auch eine Revision der Fortschreibung des Nahverkehrsplan 2022 (lange Planungshorizonte, hier ist keine deutliche Priorisierung des Ausbaus des ÖPNV-Netzes erkennbar). Die Realisierbarkeit der Erhöhung der Anteile des ÖPNV und des Schienennah- und Fernverkehrs durch verschiedene Maßnahmen beträgt aus den oben genannten Gründen 70 %- 90 % (bis 2035). Die potenzielle Vermeidung und Verlagerung der Fahrleistung des MIV beträgt 104 Mio. Fahrzeugkilometer (stadtregional, städtisch). Dies entspricht circa 13 % der gesamten Fahrleistung des MIV.
- Der **Einsatz von alternativen Antrieben** muss stark gefördert werden. Hierzu gehören die Einbeziehung von Elektromobil-Angeboten in der Bauleitplanung und in die Angebote an Mobilstationen, die Berücksichtigung von E-Car- Sharing-Angeboten sowie der Ausbau der Ladeinfrastruktur für E-Mobilität. Das Ziel ist es, bis zum Jahr 2035 den Anteil der Kraftstoffbetriebenen Fahrzeuge im MIV von derzeit ca. 95 % auf ca. 14 % zu reduzieren. Der Anteil elektrisch betriebener Fahrzeuge stiege damit von derzeit ca. 4 % auf 86 %.
- Die **Elektrifizierung der Bus-Flotte** (SWK) ist zu gut 90-95 % realisierbar, erfordert ggf. politische Konsequenzen bei der Bereitstellung und dem Einkauf von Fahrzeugen (Reisebus in dieser Annahme nicht eingeschlossen). Die Umsetzbarkeit ist gut messbar und quantifizierbar.
- Die **Verlagerung des MIV** auf Rad- und Fußverkehr ist machbar, erfordert jedoch einen Ausbau des Radverkehrs (hohe Infrastrukturelle Kosten) und Verbesserung der Fußgängerwege. Im Ziel 2035 werden 20 % der MIV-Fahrleistung (Fahrzeugkilometer) auf den Radverkehr verlagert. Als Zielwert für die Verlagerung vom MIV auf den Radverkehr werden durch die Krefelder Fahrradoffensive circa 30 % (Fachgespräch vom 20. Juli 2022 mit dem Fachbereich 61 - Stadt- und Verkehrsplanung, MIV-Verlagerung hin zum Rad) vorgeschlagen. Aktuell beträgt der Anteil des Radverkehrs am Modal Split (Fahrleistung) circa 15 %.
- Das **Mobilitätsmanagement** für die kommunalen Einrichtungen (intern) und die ansässigen Unternehmen (extern) birgt ein Potenzial zur Reduktion der mobilitätsbedingten THG-Emissionen. Das externe Mobilitätsmanagement erfordert einen hohen Aufwand in den Netzwerken. Erfahrungswerte zeigen, dass die Maßnahmen im Bündel eine THG-Reduktion im Be-

reich von 15-40 % auf den Arbeitswegen und Dienstwegen erzielen können. Die mobilitätsbedingten Emissionen in kommunalen Einrichtungen und die Einsparpotenziale sind in der Gesamtbetrachtung jedoch als gering zu bewerten.

- **Im Straßengüterverkehr** (innerorts und außerorts) können mit Hilfe von City-Hubs 5 % der LKW-Fahrzeugkilometer vermieden und mit Hilfe von Lastmile-Ansätzen 5 % der LNF (leichte Nutzfahrzeuge) auf E-Lastenräder verlagert werden.

3.4. Szenarien zur Mobilitätswende

Wie bereits beschrieben, gibt es 3 bzw. 4 Szenarien (TREND, BASIS, ZIEL 2035). Das Stützjahr ist ein Zwischenschritt zur Berechnung der Zieljahre 2035 und 2045. Dabei wird das Stützjahr 2030 bei allen angewandt, ansonsten gibt es die Zieljahre 2035 und 2045. In den Szenarien werden die Potenziale auf die Stütz-, bzw. Zieljahre runtergebrochen.

In den Szenarien für die Mobilitätswende ist der Energieverbrauch nach Verkehrssektoren in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Unter dem Einsatz von umweltfreundlichen Antrieben werden signifikante Reduktionen für das Zieljahr 2035 erwartet.

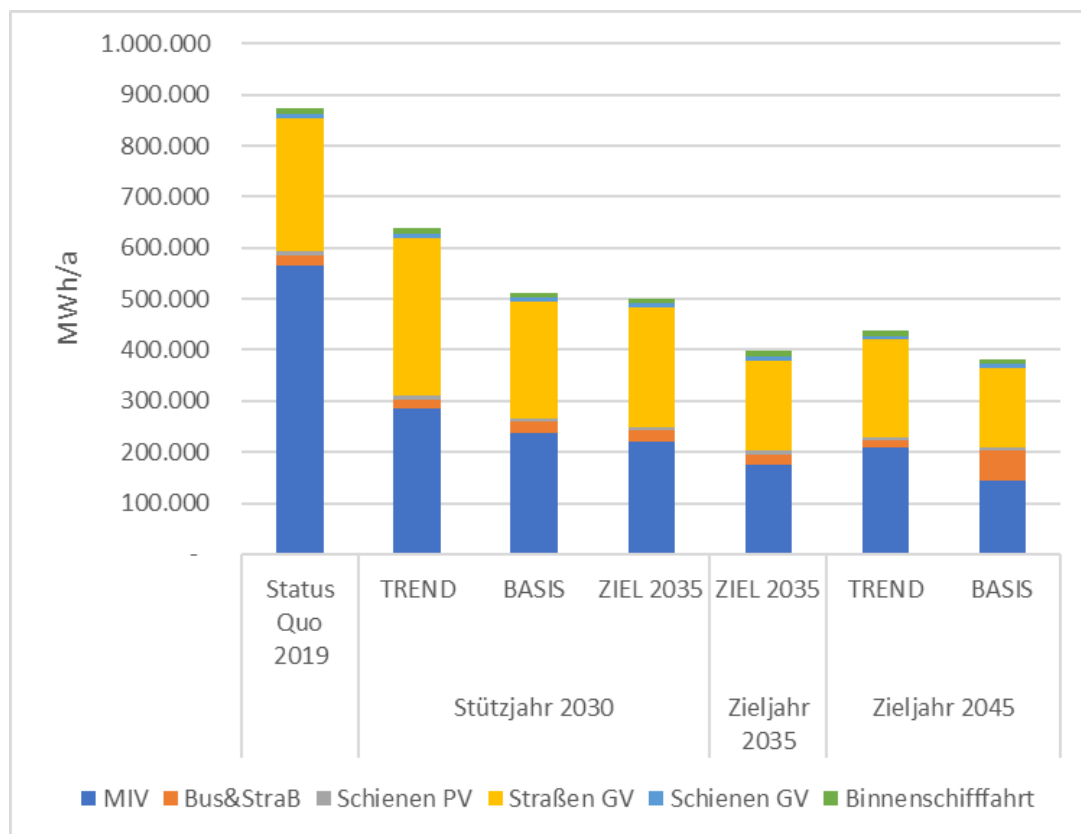


Abbildung 70 Entwicklung des Energieverbrauch in den Szenarien im Bereich Mobilität

4. Stromwende

Die Vermeidung von energiebedingten THG-Emissionen lässt sich am effektivsten dadurch realisieren, dass der Energieverbrauch gesenkt wird. Insofern sollten zuerst die Einspar- und Effizienzpotenziale gehoben werden. Der dann noch verbleibende Energieverbrauch sollte dann mit möglichst emissionsarmen Energieträgern gedeckt werden (Grundsatz: „no-emission“ vor „low-emission“).

Steigende Energie- und insbesondere Strompreise der letzten Jahre sowie regulatorische Rahmensetzungen, haben zu einer innovativen Weiterentwicklung von Stromspartechnologien geführt. Darüber hinaus ist das Bewusstsein der Verbraucher:innen gestiegen. Wesentliche Möglichkeiten zur Stromeinsparung sind:

- Verhaltensänderungen,
- der effizientere Einsatz von Strom und
- der Ersatz (Substitution) von Strom durch andere Energieträger mit geringerer oder ohne (fossile) Primärenergienutzung

Gleichzeitig ist zu beobachten, dass den Einsparpotenzialen beim Stromverbrauch eine wachsende Anzahl und Intensität von Anwendungen gegenübersteht. So steigt beispielsweise seit Jahren die Anzahl von elektrischen Geräten im Haushaltsbereich. Teilweise werden durch diese neuen „Stromanwendungen“ zwar fossile Energieträger ersetzt (z.B. elektrisch betriebene Wärmepumpen statt Öl-Heizungen), teilweise entsteht aber auch eine zusätzliche Nachfrage (z.B. wachsende Ausstattungsraten in Haushalten).

4.1. Ausgangslage und aktueller Beitrag der Erzeugung in Krefeld zur Deckung des Stromverbrauchs

Strom wird nicht nur als Energieträger für elektrische Anwendungen genutzt, sondern immer stärker auch für die Wärmeerzeugung und für Mobilitätszwecke. Insofern ist bundesweit und natürlich auch in Krefeld ein Anstieg des Stromverbrauchs zu erwarten. Um die Ziele des Klimaschutzes zu erreichen, müssen daher verstärkte Anstrengungen zur Deckung des Stromverbrauchs durch erneuerbare Energien unternommen werden. Insbesondere im industriellen und gewerblichen Bereich wird auch die effiziente Kraft-Wärme-Kopplung (aktuell überwiegend noch mit fossilen Energieträgern) einen Beitrag zur lokalen Stromerzeugung leisten.

In der folgenden Tabelle ist aufgezeigt, wie sich die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und KWK, der Stromverbrauch und die bilanziellen Deckungsgrade in Krefeld seit 2017 entwickelt haben.

Tabelle 17 Aufstellung der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien und KWK, Stromverbrauch und bilanziellen Deckungsgrad

Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien (EEG-Anlagen und biogener Anteil MKVA)	IST 2017	Ist 2020	IST 2021	IST 2022
	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]
Windkraft	4.800	10.128	7.576	3.910
Photovoltaik (eingespeiste Strommenge plus geschätzte Eigen- nutzung)	23.242	23.429	23.242	26.919
Wasserkraft		0	0	0
Biogas / Klärgas	2.998	3.362	3.628	3.050
Abfall (MKVA; biogener Anteil)	53.112	26.781	39.936	49.409
Summe Stromerzeugung "erneuerbare Energien"	84.151	63.700	74.382	83.287

Stromerzeugung in Heizkraftwerken und sonstigen KWK-Anlagen (Abschätzung)	IST 2017	91155,075 0	IST 2021	IST 2022
	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]
Stromerzeugung aus KWK-Anlagen (ohne ETS-Betriebe)	89.521	91.155	89.161	88.534
Stromerzeugung aus MKVA (nicht biogener Anteil)	50.537	24.508	36.078	26.606
Stromerzeugung aus Heizkraftwerken und sonstigen KWK-Anlagen (ETS-Betriebe)	1.669.295	1.567.370	1.576.228	1.431.884
Stromerzeugung aus KWK (gesamt)	1.809.353	1.683.033	1.701.467	1.547.023

Stromverbrauch und bilanzielle Deckungsgrade ohne ETS-Betriebe	IST 2017	IST 2020	IST 2021	IST 2022
	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]
Stromverbrauch	1.056.561	975.005	1.006.827	1.084.603
bilanzielle Deckung Stromverbrauch durch erneuerbare Energien	8,0%	6,5%	7,4%	7,7%
bilanzielle Deckung Stromverbrauch durch KWK-Anlagen (inkl nicht-biogener Anteil MKVA)	13,3%	11,9%	12,4%	10,6%
bilanzielle Deckung Stromverbrauch durch EE-Anlagen, MKVA und sonstige KWK-Anlagen	21,2%	18,4%	19,8%	18,3%

Stromverbrauch und bilanzielle Deckungsgrade inkl. ETS-Betriebe	IST 2017	IST 2020	IST 2021	IST 2022
	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]	[MWh/a]
Stromverbrauch	4.256.714	3.975.951	4.070.559	3.014.781
bilanzielle Deckung Stromverbrauch durch erneuerbare Energien	2,0%	1,6%	1,8%	2,8%
bilanzielle Deckung Stromverbrauch durch Heizkraftwerke und sonstige KWK-Anlagen (inkl nicht-biogener Anteil MKVA)	42,5%	42,3%	41,8%	51,3%
bilanzielle Deckung Stromverbrauch durch EE-Anlagen, MKVA und sonstige KWK-Anlagen	44,5%	43,9%	43,6%	54,1%

4.2. Potenziale

Das Jahr 2020 war zum Zeitpunkt der Potenzialermittlung und der Erarbeitung der Szenarien das Jahr mit der aktuellen, vollständigen Datenbasis, daher werden für die Potenziale und Szenarien diese Werte genutzt.

Strom-Einsparpotenziale Haushalte

Im Haushaltsbereich bestehen erhebliche Einsparpotenziale durch die Nutzung effizienter Elektrogeräte. In Tabelle 18 sind die Annahmen für die technisch-wirtschaftlichen Einsparpotenziale beim Stromverbrauch privater Haushalte bezogen auf die jeweiligen Einsatzzwecke dargestellt. Zusätzlich zum Einsparpotenzial bei den einzelnen Anwendungsbereichen wird das Einsparpotenzial durch Verhaltensänderung insgesamt abgeschätzt. Die Werte basieren auf Literaturangaben und eigenen Annahmen (u.a. EA NRW 2010; dena 2017, ÖEA 2012).

Tabelle 18 Einsparpotenzial Stromverbrauch private Haushalte

Anwendungsbereich	Annahmen zum Einsparpotenzial bezogen auf den jeweiligen Anwendungsbereich
Warmwasser	10 %
Prozesswärme (Kochen, Backen, Waschen)	10 %
Klimatisierung	30 %
Prozesskälte (Kühlen, Gefrieren)	30 %
mechanische Energie (z.B. Staubsauger)	30 %
Bürogeräte und Unterhaltungselektronik	15 %
Beleuchtung	40 %
Einsparpotenzial durch Verhaltensänderung (bezogen auf Gesamtstromverbrauch)	10 %

Im Bereich der Beleuchtung ergeben sich durch neue Lampen und Leuchtmittel z.T. erhebliche Effizienzsteigerungen. Nicht zuletzt aufgrund des EU-weiten „Glühbirnenverbots“ kommen neben den klassischen Energiesparlampen immer häufiger LED-Leuchtmittel zum Einsatz. Diese sind energieeffizient und bringen auch in der Anwendung Vorteile. Sie benötigen keine Aufwärmzeit, sind sehr langlebig und beinhalten kein Quecksilber, welches in klassischen Energiesparlampen enthalten ist. Neben dem Tausch der Leuchtmittel bieten auch intelligente Steuerungssysteme Möglichkeiten der Stromeinsparung bei Beleuchtungsanwendungen.

Bei Kühl- und Gefrierschränken, die mit elektrisch betriebenen Kompressoren Kälte „erzeugen“, lassen sich bei gleicher Nutzleistung durch technische Verbesserungen, die sich in wenigen Jahren amortisieren, wirtschaftliche Einsparungen von durchschnittlich etwa 20 bis 30 % erreichen (dena 2017). Hierbei hilft das Effizienzlabel als Orientierung.

Auch im Bereich der Bürogeräte und (Unterhaltungs-)Elektronik bestehen erhebliche Potenziale durch Nutzung effizienter Geräte. Es sind Einsparungen von 30 % bis zu 50 % durch eine geeignete Auswahl von Geräten möglich (siehe z.B. dena 2017 oder ÖEA 2012). Allerdings ist davon auszugehen, dass durch weiter steigende Ausstattungsraten mit elektrischen Geräten im Haushaltsbereich das Einsparpotenzial zum Teil aufgewogen wird. Daher wird von einem maximalen Einsparpotenzial von lediglich 15 % ausgegangen.

Der Ersatz von Strom durch andere Energieträger bietet sich teilweise bei der Wärmeerzeugung für Prozesswärme und Raumheizung an, da hier andere Energieträger (z.B. Erdgas) bei einer Primärenergiebetrachtung aus Effizienzgründen in vielen Fällen vorzuziehen sind.

In der Summe können bei den privaten Haushalten in Krefeld bis zu 61.900 MWh Stromverbrauch durch technische Effizienzpotenziale eingespart werden, was einer Reduktion um knapp 18 % zum Status Quo entspricht.

Eine wichtige Rolle nehmen zudem Einsparungsmöglichkeiten durch Verhaltensänderungen ein. Es lassen sich – oft ohne Komfortverzicht – Einsparungen erreichen, die in der Regel ohne bzw. mit geringen Kosten verbunden sind. Durch Verhaltensänderungen, wie das Ausschalten von Geräten mit Stand-By-Betrieb oder die gezielte Regelung von Klimaanlageanlagen, können ohne Komfortverzicht bzw. Leistungseinschränkungen zwischen 5 % und 15 % des Stroms eingespart werden (dena 2017). In privaten Haushalten entspricht alleine der Verbrauch durch Stand-By-Betrieb bis 10 % des Stromverbrauchs (dena 2012). Werden Einsparungen durch Verhaltensänderungen mitberücksichtigt, können rund 96.100 MWh Strom eingespart werden.

Die Sektorenkopplung (hier: Strom für Wärmezwecke (Wärmepumpen) und Mobilität) werden sich zukünftig stark auf den Stromverbrauch auswirken. Nach Berechnungen des Öko-Instituts wird sich bis 2030 der Stromverbrauch für Mobilitätszwecke in Deutschland gegenüber dem Jahr 2010 mehr als verdoppeln (Öko-Institut 2014), wenn die Ziele der Bundesregierung zur Marktdurchdringung von E-Fahrzeugen erreicht werden.

Strom-Einsparpotenziale Gewerbe, Handel, Dienstleistung und Industrie

In der Privatwirtschaft werden die Kosten für Energie und insbesondere Strom vermehrt als wichtiger wirtschaftlicher Faktor wahrgenommen. Dadurch sind erhebliche Potenziale zur Stromeinsparung entstanden und teilweise auch bereits genutzt worden. Während im industriellen Bereich der Hauptanteil des Stromverbrauchs für den Betrieb von Maschinen und Anlagen genutzt wird, ist im Bereich Handel die Beleuchtung der wichtigste Anwendungszweck und im Dienstleistungssektor spielen die Verbräuche von Bürogeräten eine zunehmend wichtige Rolle (AGEB 2021).

Im Bereich der elektrisch betriebenen Maschinen und Anlagen lassen sich laut Deutscher Energieagentur (dena 2017) bei gleicher Nutzleistung durch technische Verbesserungen, die sich in wenigen Jahren amortisieren, wirtschaftliche Einsparungen von durchschnittlich etwa 20 bis 30 Prozent erreichen.

Bei der Beleuchtung ergeben sich durch neue Lampen und Leuchtmittel z.T. erhebliche Effizienzsteigerungen. Dabei kommen neben den klassischen Energiesparlampen immer häufiger LED-Leuchtmittel zum Einsatz. Neben dem Tausch der Leuchtmittel bieten auch intelligente Steuerungssysteme Möglichkeiten der Stromeinsparung bei Beleuchtungsanwendungen. Durch den Ersatz alter Leuchtmittel können ca. 50 bis 80 % des Stromverbrauchs für Beleuchtung eingespart werden (EA NRW 2010; dena 2017).

Im Bereich der Bürogeräte bestehen Einsparpotenziale von 30 bis zu 50 Prozent durch eine geeignete Auswahl von effizienten Geräten (siehe z.B. dena 2017 oder ÖEA 2012). Allerdings ist davon auszugehen, dass durch weiter steigende Ausstattungsraten mit elektrischen Geräten das Einsparpotenzial zum Teil aufgewogen wird.

Der Stromverbrauch in 2020 in den Sektoren Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) sowie Industrie (ohne ETS-pflichtige Betriebe) beträgt in Krefeld ca. 459.700 MWh pro Jahr (Daten des Netzbetreibers aus dem Jahr 2022, DEHST 2021, eigene Berechnungen).

Mit den zuvor genannten Einsparpotenzialen in den einzelnen Bereichen ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Ausgangswerte und Reduktionspotenziale.

Tabelle 19 Reduktionspotenziale beim Stromverbrauch im Bereich Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistung, ohne ETS-pflichtige-Betriebe

Sektor	Ist-Verbrauch in MWh/a	Reduktionspotenzial In MWh/a
GHD	97.200	29.500
Industrie	362.400	103.800
Summe	459.700	133.300

Insgesamt liegt das Reduktionspotenzial beim Stromverbrauch für die Sektoren GHD und Industrie bei etwa 133.300 MWh pro Jahr.

Auch im gewerblichen Bereich wird zukünftig das Thema Elektromobilität eine wichtigere Rolle spielen. Es ist davon auszugehen, dass ein Teil der zukünftig zugelassenen Elektrofahrzeuge im gewerblichen Bereich genutzt wird.

Strom-Einsparpotenziale Stadtkonzern

Der Stromverbrauch des Stadtkonzerns ist sehr heterogen. Selbst innerhalb des ZGMs sind unterschiedlichste Gebäude vorhanden: Verwaltung, Schulen, Sporthallen, Schwimmbäder, Veranstaltungsgebäude. Zusätzlich haben die Betriebe und Tochtergesellschaften einen Stromverbrauch mit sehr unterschiedlichen Anwendungen. Daher ist eine stark vereinfachte Potenzialbetrachtung getroffen worden, um den Querschnitt des Stadtkonzerns gerecht zu werden, sofern nicht differenziert werden konnte.

Straßenbeleuchtung

Grundsätzlich gelten die Aussagen im Gutachten KrefeldKlima 2030 nach wie vor. Im Vergleich zu KrefeldKlima 2030 konnten allerdings Werte ermittelt werden, die auf einer Fortschreibung der Energiebilanz nach 2017 basieren.

In der folgenden Abbildung ist der Energieverbrauch der Straßenbeleuchtung in den Jahren 1997 bis 2019 (kalkuliert) in der Stadt Krefeld dargestellt. Seit 1998 werden bereits Energiesparmaßnahmen durchgeführt. Seit 2015 wird nur noch LED-Technik bei der Erneuerung der Straßenbeleuchtung verwendet. Im Jahr 2022 sollte der Technikwechsel abgeschlossen sein. Unabhängig davon werden Maßnahmen bei korrodierten Tragsystemen (Sicherheitsrisiko) durchgeführt.

Es wird deutlich, dass der Stromverbrauch für Straßenbeleuchtung in den vergangenen Jahren deutlich zurückgegangen ist. Die Umrüstung auf effiziente Leuchten seit 2011 zeigt eine große Wirkung, die Fokussierung auf LED seit 2015 setzt den Trend fort. Insgesamt konnte in den betrachteten Jahren (1998 bis 2018) eine Reduktion um ca. 47,5 % erreicht werden. Das entspricht ungefähr einer Einsparung von 7.100 MWh Strom.

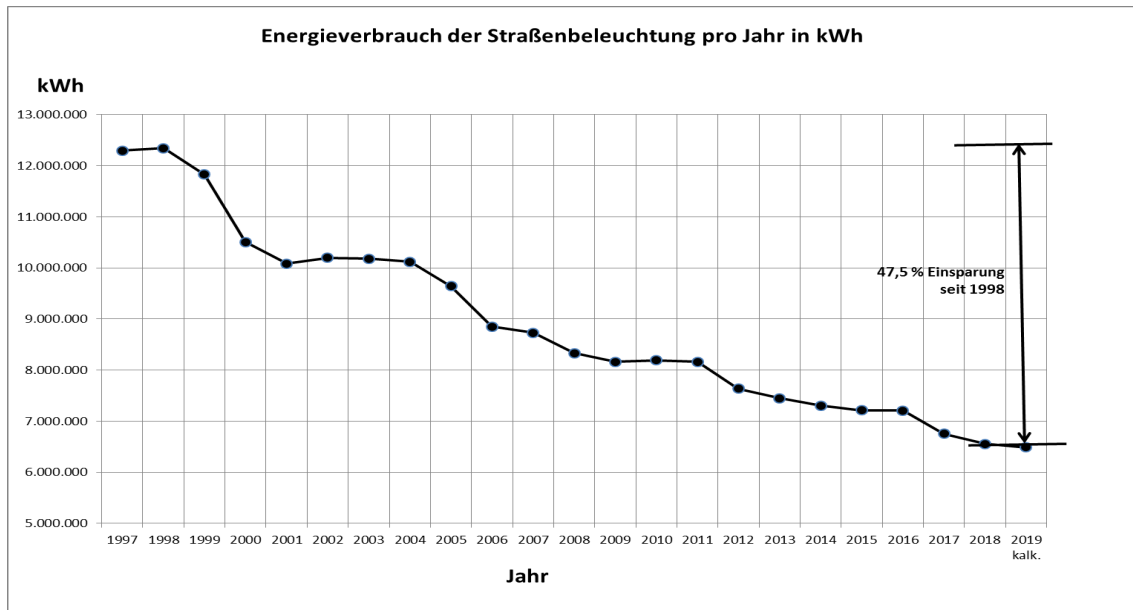


Abbildung 71 Entwicklung des Stromverbrauchs zur Straßenbeleuchtung in der Stadt Krefeld (KBK 2019)

Die Umstellung auf LED-Beleuchtungstechnik wird bei den geeigneten Leuchtpunkten fortgesetzt (z.B. Austausch wirtschaftlich, Lebenszeit des Tragesystems hinreichend lang, etc.). Von den 28.800 installierten Leuchten im Stadtgebiet Krefeld (Stand September 2019) sind bereits 3.100 auf LED-Beleuchtung umgerüstet. Weitere 13.500 Leuchtpunkte können mit LED-Technik ausgestattet werden.

Dabei geht der Kommunalbetrieb Krefeld AöR von einer Einsparung von je 20 Watt pro Leuchtpunkt aus. Für die 13.500 Leuchtpunkte, die noch umgerüstet werden können, ergibt sich so eine Einsparung von 1.135 MWh pro Jahr.

Laut Netzbetreiber sank von 2018 bis 2021 der Stromverbrauch der Straßenbeleuchtung von 8.136 MWh auf 7.559 MWh. Diese Zahlen weichen von Daten des KBK AöR ab.

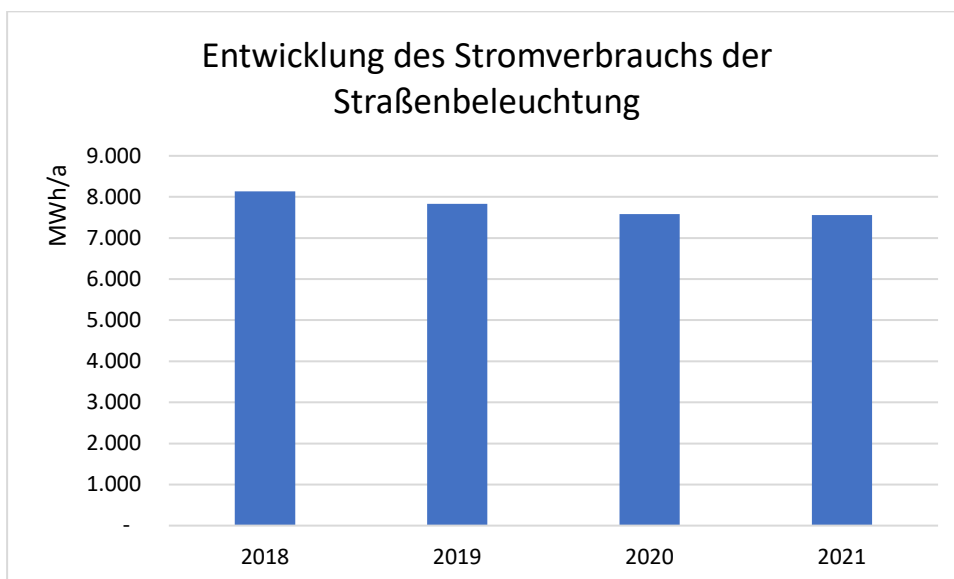


Abbildung 72 Entwicklung des Stromverbrauchs der Straßenbeleuchtung in Krefeld (Netzbetreiber 2022)

Liegenschaften und sonstiges

Der Stromverbrauch des Stadtkonzerns für Liegenschaften und sonstige Zwecke (ohne Mobilität) beläuft sich im Jahr 2020 auf rund 121.500 MWh/a. Der Stromverbrauch für Wärmeanwendungen (sofern nicht als Wärmepumpen-, Speicherheizungsstrom ausgewiesen) ist hier mitberücksichtigt. Es wird von einer Einsparung von rund 35.600 MWh ausgegangen.

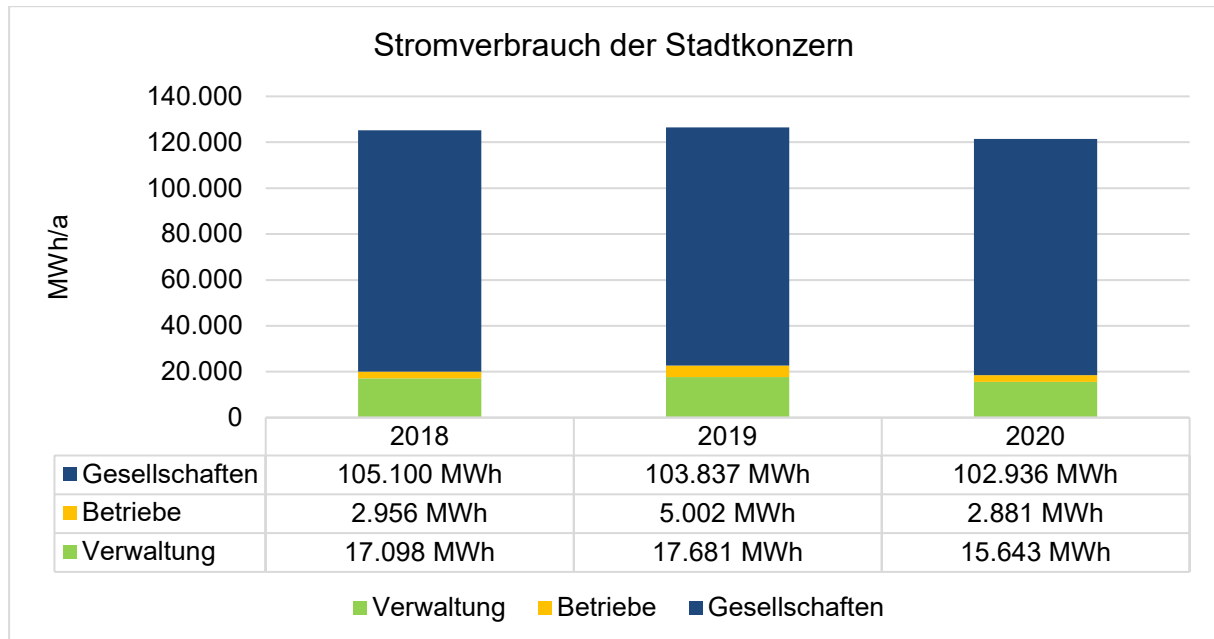


Abbildung 73 Stromverbrauch des Stadtkonzerns

Es können sich Abweichungen zu anderen Veröffentlichungen ergeben. Der Energiebericht des ZGM (ehem. FB 60) weicht ab, da der Energiebericht die provisorische Feuerwache und das technische Dienstleistungszentrum nicht mit aufführt.

Potenziale der klimaschonenden Stromerzeugung

Nicht nur Maßnahmen zur Energieeinsparung und -effizienz können einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten, sondern auch der verstärkte Einsatz von erneuerbaren Energieträgern. Die Potenzialanalyse zur klimaschonenden Energiebereitstellung greift auf einen umfangreichen Datensatz aus verschiedenen Quellen zurück. Eine wesentliche Grundlage sind dabei die Potenzialstudien des Landesamts für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). Bei der Solarenergie wurden die aktuelleren Daten des Solarkatasters des LANUV genutzt. Damit ist gewährleistet, dass die im vorliegenden Gutachten erhobenen Potenziale in Einklang mit den übergeordneten Untersuchungen stehen. Wo dies sinnvoll war, wurden im Rahmen des Gutachtens vertiefende Analysen durchgeführt. Im Folgenden wird erläutert, mit welchen Grundlagen und Annahmen im vorliegenden Gutachten gearbeitet wurde.

Zusätzlich zu den Potenzialen erneuerbarer Energien, die in den o.g. Studien detailliert untersucht wurden, erfolgt im vorliegenden Gutachten für die Stadt Krefeld eine Abschätzung der Potenziale zur Strom- und Wärmeerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung. Dabei konnte auf die Arbeiten im Rahmen des Projektes „KWK-Modellkommune 2012-2017“ aufgebaut werden.

Wasserkraft

Für die Nutzung von Wasserkraft liegen keine Potenzialuntersuchungen vor. Es werden auch seitens der Stadt und der Gutachter keine nennenswerten Möglichkeiten zur Nutzung der Wasserkraft gesehen, daher wird von einer weiteren Betrachtung abgesehen und es werden keine Potenziale angenommen.

Windkraft

Im Rahmen von KrKN 35 wurde die Potenzialermittlung für Windkraftanlagen auf Grundlage vorliegender Studien (insbesondere des LANUV) durchgeführt.

Hinweis:

Aktuell wird im Auftrag der Stadt Krefeld eine vertiefende Betrachtung der PV-Freiflächen- und Windkraft-Potenziale durchgeführt, die aber erst in der zweiten Jahreshälfte 2023 vorliegen soll. Durch diese Studie „*Untersuchung der Flächenpotenziale für Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) in Krefeld nach dem Modell der Flächenpotenzialanalyse für Windenergie an Land 2022*“ wird das im Rahmen von KrKN 35 ermittelte Potenzial ggf. angepasst werden.

Das technische Potenzial der Windkraft in Krefeld leitet sich aus der Potenzialstudie Windenergie des LANUV ab (LANUV 2013a). Im Szenario „NRW Leitszenario“ dieser Studie wird für die Stadt Krefeld ein Maximalpotenzial von 33 MW installierbarer Leistung mit einem Stromertrag von 82.000 MWh pro Jahr angenommen. Um dieses maximale Potenzial auszuschöpfen ist eine Fläche von rund 109 ha nötig.

Aktuell sind in Krefeld fünf Windenergieanlagen mit einer installierten Leistung von rund 3,7 MW errichtet, die im Jahr 2020 rund 10.100 MWh Strom erzeugt haben.

Derzeit werden weder regionalplanerisch noch im FNP Zuwachswachflächen bzw. Windkonzentrationszonen ausgewiesen.

Die Windenergieanlagen wurden im Dezember 2001 in Betrieb genommen. Für die bestehenden Anlagen läuft die EEG-Förderung nach 20 Jahren, also im Betrachtungszeitraum des Gutachtens, aus. Für die Potenzialbetrachtung wird angenommen, dass es zu einem Weiterbetrieb oder zu einem Repowering (Ersatz von Bestandsanlagen durch modernere Neubauten) bei Beibehaltung der vorhandenen Leistung kommt und insofern die bisherige Jahresarbeit konstant gehalten werden kann.

Neben den großen Windkraftanlagen, die nach dem BImSchG genehmigt werden und für die die o.g. regional- bzw. bauleitplanerischen Grundlagen vorhanden sein müssen, ist grundsätzlich auch der Einsatz von Kleinwindkraftanlagen denkbar, die nach Baurecht genehmigt werden. Diese können z.B. auf Firmengrundstücken oder auf Gebäuden installiert werden. Aktuell stellt sich die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen aber schwierig dar. Eine grundlegende Änderung der Rahmenbedingungen ist für den Betrachtungszeitraum nicht absehbar. Auf eine Quantifizierung des Potenzials für Kleinwindanlagen in Krefeld wird im Rahmen des vorliegenden Konzeptes aufgrund dieser Unwägbarkeiten verzichtet. Es ist aber davon auszugehen, dass im Betrachtungszeitraum nur geringe Potenziale zur Nutzung dieser Technik vorhanden sind.

Photovoltaik

a) Gebäudebezogene Anlagen

Dachflächenanlagen

Im Bereich Photovoltaik bietet im städtischen Raum vor allem die Installation von PV-Anlagen auf Dachflächen ein großes, und weitgehend noch ungenutztes Potenzial.

Für das Land Nordrhein-Westfalen hat das LANUV ein flächendeckendes Solarkataster erstellt, um das Dachflächenpotenzial für Solarenergie zu identifizieren (LANUV 2018a). Mit Hilfe eines flächendeckenden digitalen Oberflächenmodells und den Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes wird unter Berücksichtigung von Verschattung und ungeeigneten kleinteiligen Flächen die potenzielle Eignung für die Installation von PV-Anlagen errechnet. Für die Stadt Krefeld ergeben die Berechnungen des Solarkatasters eine Potenzialfläche von rund 5.027.000 m² mit einer maximal installierbaren Spitzenleistung von 850 MW_{peak}. Das technische Erzeugungspotenzial der Dachflächen in Krefeld liegt damit bei 720.000 MWh Strom pro Jahr. Aktuell sind in der Stadt Krefeld PV-Anlagen mit nur 36,6 MW_{peak} Leistung installiert, die im Jahr 2021 rund 21.100 MWh Solarstrom eingespeist haben. Es wird davon ausgegangen, dass rund 2.100 MWh/a zusätzlich als Eigenverbrauch erzeugt werden. Damit wird das technische Potenzial aktuell nur zu etwa 3 % ausgenutzt.

Fassaden-Anlagen

Photovoltaik an Fassaden kann einen Anteil an der Stromversorgung bereitstellen. Dabei sind nicht nur Wohngebäude, sondern insbesondere auch Nichtwohngebäude interessant. Durch die verschiedenen Ausrichtungen der Fassaden wird eine flachere Erzeugungskurve möglich, sodass der Eigennutzungsgrad erhöht werden könnte. Für die Potenzialermittlung wurden einwohnerspezifische Zahlen aus der Studie „*PV-Ausbauerfordernisse versus Gebäudepotenzial: Ergebnis einer gebäudescharfen Analyse für ganz Deutschland*“, Eggers et al genutzt. Für die Stadt Krefeld wird auf Grundlage dieser Untersuchung für die Fassaden-PV eine potenzielle Leistung von rund 1.085 MW_{peak} und eine Stromerzeugung von rund 650.000 MWh abgeschätzt.

Balkon-Anlagen

Durch die aktuellen Entwicklungen der letzten Jahre wird nun ein Potenzial für „Balkon-Anlagen“ ausgewiesen. Das Potenzial wird anhand der gemeldeten Wohnungen nach Gebäudetyp, sowie Eignungsfaktoren und Erzeugung hochgerechnet. Für die Stadt Krefeld werden rund 10.800 MWh/a durch Balkon-Anlagen als Potenzial ermittelt.

Tabelle 20 Annahmen für Balkonkraftwerke

Gebäudetyp	Anteil geeigneter Gebäude	Erzeugung je Modul [kWh/a]	typische Anzahl je WE
EFH	90%	200	0,5
ZFH	90%	200	0,5
MFH 3-6	70%	250	0,5
MFH 7-12	70%	250	0,5
MFH 13+	70%	300	0,5

b) Freiflächenanlagen / Agri-PV

Klassische Freiflächenanlagen

Im Rahmen von KrKN 35 wurde die Potenzialermittlung für Freiflächen-PV auf Grundlage vorliegender Studien (insbesondere des LANUV) durchgeführt.

Hinweis:

Aktuell wird im Auftrag der Stadt Krefeld eine vertiefende Betrachtung der PV-Freiflächen- und Windkraft-Potenziale durchgeführt, die aber erst in der zweiten Jahreshälfte 2023 vorliegen soll. Durch diese Studie „*Untersuchung der Flächenpotenziale für Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) in*

Krefeld nach dem Modell der Flächenpotenzialanalyse für Windenergie an Land 2022“ wird das im Rahmen von KrKN 35 ermittelte Potenzial ggf. angepasst werden.

Nach dem LANUV-Fachbericht 40 „Potenzialstudie Erneuerbare Energien NRW Teil 2 – Solarenergie“ (LANUV 2022) gibt es in der Stadt Krefeld Potenzial für rund 3,46 km² Modulfläche, welche rund 531 GWh/a Strom erzeugen könnte. Das entspricht einer installierten Spitzenleistung von rund 589 MW_{peak}.

In der Potenzialstudie des LANUV wurden zuerst Typen potenzieller Freiflächenpotenziale festgelegt, dies erfolgte unter Berücksichtigung der damaligen Förderlandschaft. Danach erfolgte eine Flächen-detektion aufgrund von Datenquellen, wie z.B. ATKIS-Datenbestand des Landes NRW, oder auch Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes. In einem mehrstufigen Prozess wurden dann unter Ausschluss von Ausschlussflächen wie Gewässer, Wald, Schutzgebiete, etc. und einer spezifischen Mindestflächengröße nach Typ die Potenzialfläche ermittelt. Mithilfe der Geländedaten (Hangneigung, welche den Flächenkorrekturfaktor beeinflusst, der eine gegenseitige Verschattung der aufgestellten Module verhindern soll) wurden dann Aussagen zur Modulfläche getroffen. Dieser Schritt ist für Solarcarports auf Parkplatzflächen nicht relevant, bei Lärmschutzwänden und Brücken ebenso wenig. Abschließend wurde mithilfe der Solarstrahlungsdaten des DWD eine Aussage zum potenziellen Stromertrag getroffen.

Agri-PV

Agri-Photovoltaik kombiniert die Stromerzeugung auf landwirtschaftlichen Flächen mit der Nahrungs-, bzw. Futtermittelproduktion. Noch stehen die Anlagen in Deutschland am Anfang und es wird mit verschiedenen Systemen geforscht. Durch die Doppelnutzung soll der Verlust von wertvollen Ackerflächen vermindert werden, wie es bei „regulären“ Freiflächenanlagen passiert. Die Freiflächenanlagen können jedoch ebenfalls einen Synergieeffekt haben, da eine ökologische Aufwertung geschehen könnte.

Bei der Potenzialermittlung im Rahmen von KrKN 35 wurden Flächen für den Baumobst-, und Gemüseanbau betrachtet, da diese meist längerfristig genutzt werden und damit die PV-Konstruktionen darauf ausgelegt werden können. Es werden rund 190 Hektar Fläche als geeignet betrachtet, mit einem Leistungspotenzial von rund 133 MW_{peak} und einer Erzeugungsleistung von rund 108.000 MWh/a.

Verkehrswegeintegrierte PV

Photovoltaik neben den Verkehrswegen wurde bereits bei den Freiflächenanlagen betrachtet. Das Fraunhofer ISE forscht aktuell an Photovoltaik in/über Verkehrswegen. Für diese Potenzialermittlung wird die Fläche der Autobahn im Gemarkungsgebiet abgeschätzt. Anhand der Länge und der Breite der Autobahn (abgeschätzt über die Anzahl der Spuren und Bebauungsvorschriften) wird eine Fläche ermittelt. Es wird mit einer niedrigen Flächenleistung gerechnet (200 Wp/m²)(eigene Annahme). Es wird von einem Leistungspotenzial von rund 62 MW_{peak} und einer Erzeugungsleistung von rund 59.000 MWh/a ausgegangen.

Biogas

Es gibt aktuell 5 Biomasse-Anlagen in Krefeld, die aktuell ca. 3.360 MWh/a Strom erzeugen.

Die LANUV Studie von 2014 weist für die Stadt Krefeld insgesamt ein Potenzial von 6.100 MWh/a für die Stromerzeugung aus Biogasanlagen aus.

Restmüll/ Bioabfall

Gemäß Potenzialstudie Biomasse des LANUV (LANUV 2014a) wird das technische Erzeugungs-Potenzial der Abfallwirtschaft mit 57.000 MWh Strom und rund 119.850 MWh Wärme beziffert. Dabei wird

also davon ausgegangen, dass ca. 1/3 der erzeugten Energie Strom ist und ca. 2/3 Wärme. Diese Annahmen lassen sich nur bedingt auf Krefeld übertragen, da das Erzeugungsverhältnis von Strom und Wärme in der MKVA einen größeren Wärmeanteil ausweist.

Im Jahr 2020 hat die Müll- und Klärschlammverbrennung (MKVA) rund 51.289 MWh/a (davon rund 52,2 % biogener Anteil; siehe Gutachten „Datengrundlage für Wärmekonzepte“) Strom ins Netz eingespeist. Damit beträgt die erzeugte Strommenge aus Biomasse in der Stadt Krefeld rund 26.780 MWh.

Im Jahr 2020 betrug die eingespeiste Wärmemenge des MKVA rund 190.900 MWh. Nach Abzug von Netzverlusten wurden 172.700 MWh Fernwärme von Endkunden genutzt (Endenergie). Davon sind (entsprechend dem biogenen Anteil von 52,2 %) rund 99.600 MWh (Einspeisung) bzw. ca. 90.100 MWh (an Endkunden abgegebene Endenergie) „regenerativ“ erzeugte Wärme.

Aktuell werden also die vom LANUV ausgewiesenen Potenziale bereits zu über 71% ausgenutzt.

Tiefe Geothermie

Die Nutzung von Tiefer Geothermie (>2.000m) zur Erzeugung von Strom gewinnt aktuell wieder stärker an Bedeutung. Das Land NRW führt mehrere Forschungsprojekte durch, die sich mit der Thematik beschäftigen. Durch die Nähe zum Rheingraben hat die Stadt Krefeld bereits gute Voraussetzung dafür. Da die Forschungsprojekte erst Ende 2023 erste Ergebnisse veröffentlichen wollen, ist eine belastbare Abschätzung aktuell nicht möglich. Daher wird auf Grundlage bislang umgesetzter bzw. durch Erkundungsbohrungen besser untersuchter Projekte eine Annahme zum Potenzial getroffen. Es wird ein Stromerzeugungspotenzial von rund 32.000 MWh/a angesetzt⁸.

Kraft-Wärme-Kopplung

Die effiziente, gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung - KWK) ist eine weitere Technologie zur Einsparung von Primärenergie und zur Reduktion der THG-Emissionen. Auch wenn die KWK-Anlagen aktuell in der Regel mit fossilen Brennstoffen (meist Erdgas) befeuert werden, ist der Gesamtwirkungsgrad von KWK-Anlagen deutlich günstiger als bei getrennter Erzeugung von Strom und Wärme aus fossilen Brennstoffen.

Mit zunehmendem Anteil an erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung in Deutschland, wird der Effekt (fossiler) KWK aus Sicht des Klimaschutzes immer geringer und wird irgendwann sogar negativ.

Fossile KWK kann daher als Brückentechnologie nur noch einen geringen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Grundsätzlich besteht aber die Möglichkeit, KWK-Anlagen auch mit erneuerbaren Energien, z.B. mit Bio(erd)gas oder auch mit flüssigen Biokraftstoffen, zu betreiben.

Derzeit werden ca. 91.155 MWh Strom in KWK-Anlagen nach dem KWG-G erzeugt. Aus technischer Sicht ist das Potenzial in Krefeld (ohne die Potenziale in den ETS-pflichtigen Betrieben) mehr als doppelt so hoch (ca. 208.300 MWh/a).

⁸ Aus vergleichbaren Projekten ergäbe sich dabei eine Wärmepotenzial von rund 90.000 MWh/a, das prioritär für die Dekarbonisierung der Fernwärme eingesetzt werden könnte (s.o.).

Zusammenfassung: Potenziale der klimaschonenden Stromerzeugung in Krefeld

In der folgenden Tabelle sind die Potenziale für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und KWK dargestellt und den Ist-Werten für 2020 gegenübergestellt.

Tabelle 21 Zusammenfassung: Potenziale der klimaschonenden Stromerzeugung in Krefeld

	Ist 2020 Einspeisung + Eigennutzung) [MWh]	Techn. Potenzial [MWh]
Wasserkraft	0	0
Windkraft	10.128	82.000
Photovoltaik (Gebäude / Urban)	23.429	1.380.000
Photovoltaik (Freiflächen / Agri)	0	639.000
Photovoltaik (Verkehrswegeintegriert)	0	59.000
Biogas	3.362	6.100
Restmüll/ Bioabfall	26.781	57.500
Tiefe Geothermie	0	32.000
Summe EE	63.700	2.255.600
KWK (nach KWG-G / Sonstige KWK)	91.155	208.300
Summe incl. KWK	154.855	2.463.900

4.3. Szenarien zur Stromwende

Wie in Kapitel 2.1 bereits dargestellt, gibt es 3 bzw. 4 Szenarien (TREND, BASIS, ZIEL 2035). Dabei wird das Stützjahr 2030 bei allen angewandt, ansonsten gibt es die Zieljahre 2035 und 2045. In den Szenarien werden die Potenziale auf die Stütz-, bzw. Zieljahre runtergebrochen.

In den Szenarien zur Stromwende werden den Einsparungen das Bevölkerungswachstum (nur private Haushalte) und das Wirtschaftswachstum (nur Wirtschaft) entgegengestellt. Der zusätzliche Stromverbrauch durch die Sektorenkopplung wird noch nicht dargestellt. Der zusätzliche Stromverbrauch der durch wachsende Ausstattung, Klimatisierung etc. entsteht wird nicht berücksichtigt.

Energieeinsparungen

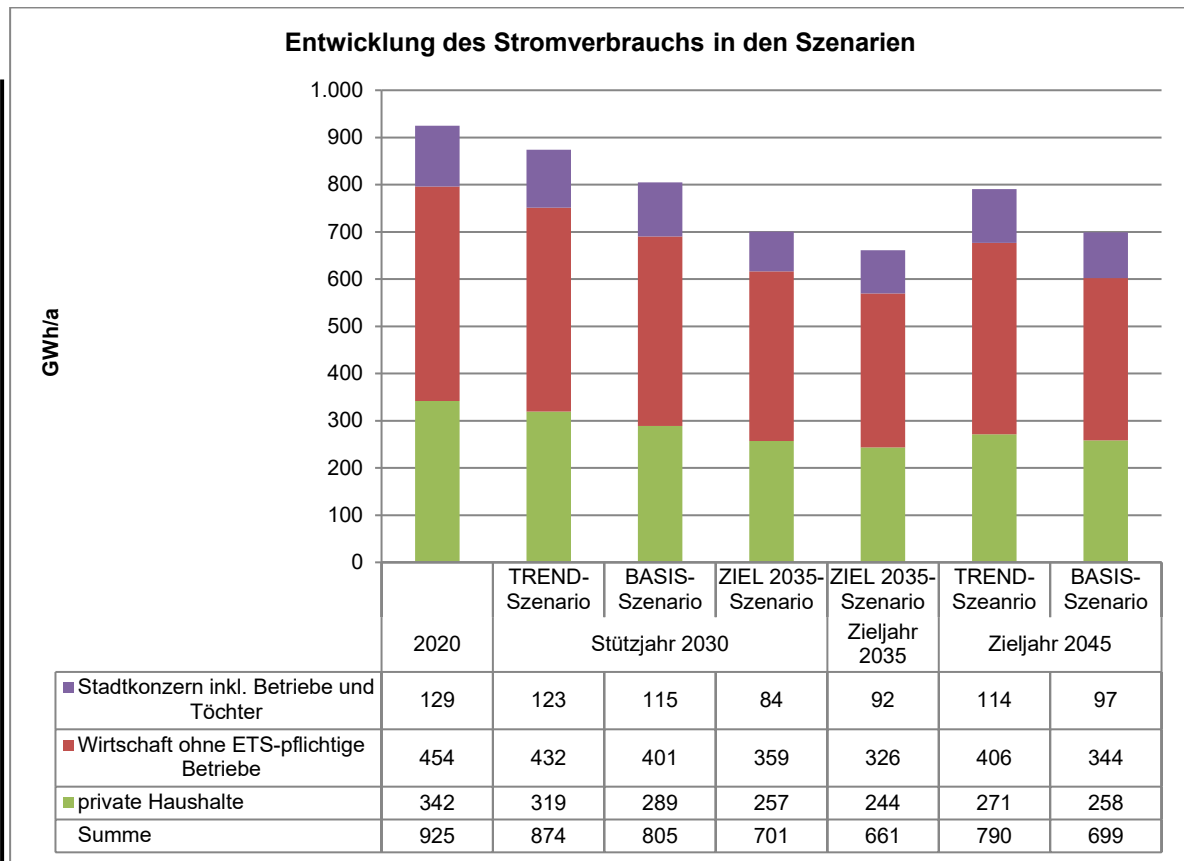


Abbildung 74 Entwicklung des Stromverbrauchs in den Szenarien in der Stadt Krefeld unter Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums, ohne ETS-pflichtige Betriebe und ohne zusätzlichen Stromverbrauch durch Sektorenkopplung

Erneuerbare Energien

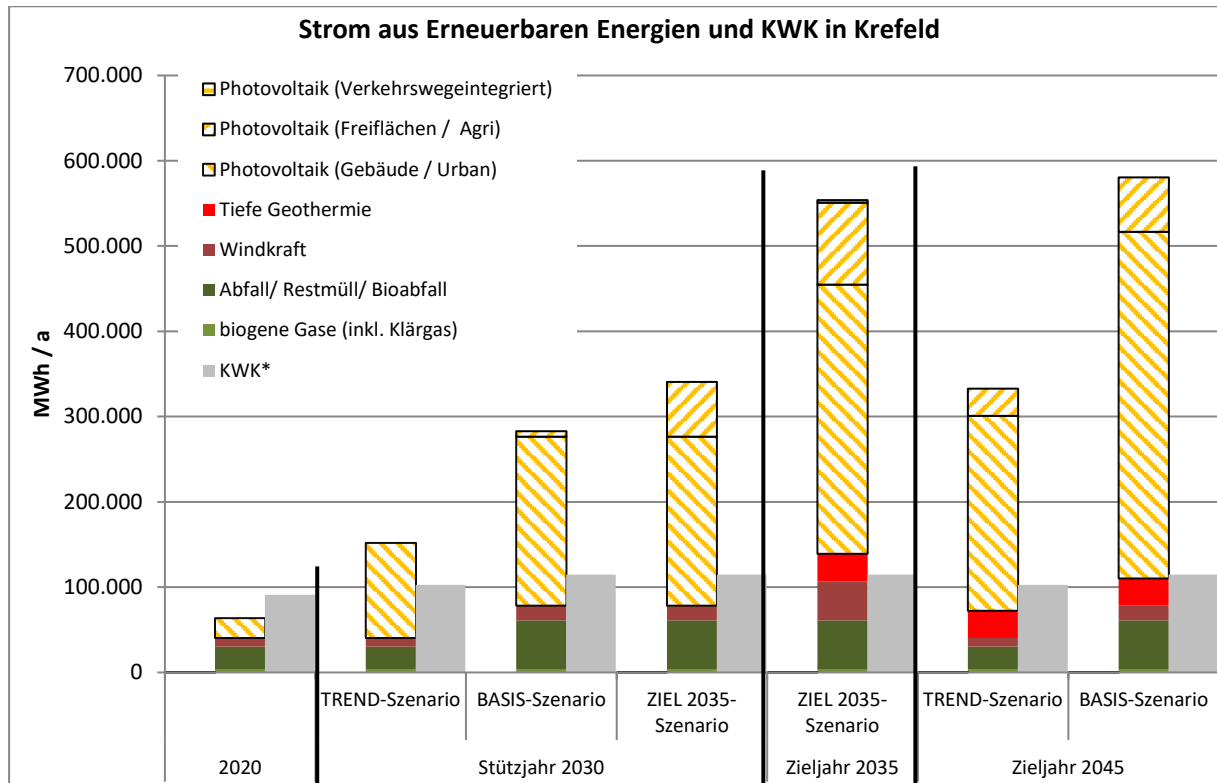


Abbildung 75 Entwicklung der Erneuerbaren Energien und KWK in den Szenarien

* KWK im Jahr 2020 nahezu 100% fossil, im Rahmen der Dekarbonisierung geht der fossile Anteil gegen 0%

5. Szenarienbetrachtung: Szenarien für das Zieljahr 2045 und Zielszenarien „THG-Neutralität bis 2035“

Mit Hilfe von Szenarien werden in diesem Kapitel unterschiedliche Entwicklungspfade für die Entwicklungen des Energieverbrauchs, des Energieträgermixes und der Treibhausgasemissionen in Krefeld aufgezeigt.

- Im TREND-BASIS-Szenario werden zunächst die Entwicklungen aufgezeigt, die sich bei einer Trend-Fortschreibung (incl. bereits angestoßener Maßnahmen) bis 2045 ergeben würden.
- Im BASIS-Szenario wird die Entwicklung aufgezeigt, die sich in Krefeld auf dem Zielpfad der Bundesregierung zur THG-Neutralität im Jahr 2045 ergeben würde.

Diese Szenarien dienen als „Vergleichsszenarien“. Sie zeigen auf, auf welche „Unterstützung“ Krefeld bei seinen höher gesteckten Zielen aufbauen kann und welche weitergehenden Anstrengungen zur Erreichung der THG-Neutralität im Jahr 2035 notwendig wären.

- Dazu werden in den Zielszenarien (Zieljahr 2035) erforderliche Entwicklungen aufgezeigt, die beim Thema Wärmewende von zwei Alternativszenarien ausgehen (siehe dazu Kap. 2).

5.1. Annahmen zu den Szenarien

Die Annahmen für die Wärmewende sind in Kapitel 2.4 erläutert. Für die Strom- und Mobilitätswende werden nachfolgend die Annahmen aufgeführt.

Tabelle 22 Annahmen zur Entwicklung des Energieverbrauchs in den Szenarien

Annahmen zur Entwicklung des Energieverbrauchs		
TREND-Szenario	BASIS-Szenario	ZIEL 2035
<p>Bis 2030: Etwa 1/3 der vorhandenen Stromeinsparpotenziale werden genutzt (Haushalte), Nach 2030: Etwa 3/4 der vorhandenen Stromeinsparpotenziale werden genutzt (Haushalte), Wirtschaft Steigerung Energieproduktivität in der Wirtschaft: 1,5 % p.a.⁹, 1,1% Wirtschaftswachstum</p>	<p>Bis 2030: Etwa 2/3 der vorhandenen Stromeinsparpotenziale werden genutzt (Haushalte; entspricht etwa den bundesweiten Zielsetzungen) Nach 2030: Etwa 90% der vorhandenen Stromeinsparpotenziale werden genutzt (Haushalte), Wirtschaft Steigerung Energieproduktivität in der Wirtschaft: 2,1 % p.a., 1,1% Wirtschaftswachstum</p>	<p>Bis 2030: Etwa 4/5 der vorhandenen Stromeinsparpotenziale werden genutzt (Haushalte; entspricht etwa den bundesweiten Zielsetzungen) Nach 2030: Etwa 100% der vorhandenen Stromeinsparpotenziale werden genutzt (Haushalte), Wirtschaft Steigerung Energieproduktivität in der Wirtschaft: 3,0 % p.a., 1,1% Wirtschaftswachstum</p>
<p>Deutliche Reduktion des Kraftstoffbedarfs durch Effizientechniken und alternative Verkehrsträger / -modelle Geringe Umsetzung von Maßnahmen der Stadt</p>	<p>Deutliche Reduktion des Kraftstoffbedarfs durch Effizientechniken und alternative Verkehrsträger / -modelle zusätzlich Maßnahmen der Stadt zur Umgestaltung des Verkehrs</p>	<p>Deutliche Reduktion des Kraftstoffbedarfs durch Effizientechniken und alternative Verkehrsträger / -modelle zusätzlich Maßnahmen der Stadt zur Umgestaltung des Verkehrs</p>

⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieproduktivitaet#primarenergieproduktivitaet-seit-1990>

Tabelle 23 Annahmen zur Entwicklung der Nutzung Erneuerbarer Energien und KWK zur Stromproduktion in den Szenarien

Annahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien und KWK - Strom		
TREND-Szenario	BASIS-Szenario	ZIEL 2035
Photovoltaik Gebäudeintegriert: Zubau bis 2040 entsprechend EEG Ausbaupfad	Photovoltaik Gebäudeintegriert: Zubau bis 2030 höher als EEG Ausbaupfad, Zubau nach 2030 entsprechend EEG Ausbaupfad	Photovoltaik Gebäudeintegriert: Zubau bis 2035 höher als EEG Ausbaupfad
Photovoltaik Freiflächen/agri: Bis 2030: kein Zubau Nach 2030: Umsetzung von rund 33 MW _{peak}	Photovoltaik Freiflächen/agri: Bis 2030: Umsetzung von rund 7,5 MW _{peak} Nach 2030: Umsetzung von weiteren rund 60 MW _{peak}	Photovoltaik Freiflächen/agri: Bis 2030: Umsetzung von rund 75 MW _{peak} Nach 2030: Umsetzung von weiteren rund 25 MW _{peak}
Photovoltaik Verkehrswegeintegriert: Bis 2030 kein Zubau Nach 2030 kein Zubau	Photovoltaik Verkehrswegeintegriert: Bis 2030 kein Zubau Nach 2030 kein Zubau	Photovoltaik Verkehrswegeintegriert: Bis 2030 kein Zubau Nach 2030 Zubau von 3 MW _{peak}
Biogas : Kein Zubau	Biogas : kein Zubau	Biogas : kein Zubau
Windenergie : kein Zubau, kein Repowering	Windenergie : kein Zubau, Repowering von einigen Anlagen	Windenergie : bis 2030: kein Zubau, Repowering von einigen Anlagen Nach 2030: Erhöhung der Leistung auf 16,5 MW
KWK : bis 2030: ca. 10 % des Potenzials wird genutzt Nach 2030: kein weiterer Ausbau	KWK : bis 2030: ca. 20 % des Potenzials wird genutzt Nach 2030: kein weiterer Ausbau	KWK : bis 2030: ca. 20 % des Potenzials wird genutzt Nach 2030: kein weiterer Ausbau
Restmüll/Bioabfall (biogener Anteil im Abfall): keine Änderung gegenüber Status Quo	Restmüll/Bioabfall (biogener Anteil im Abfall): keine Änderung gegenüber Status Quo	Restmüll/Bioabfall (biogener Anteil im Abfall): keine Änderung gegenüber Status Quo
Tiefe Geothermie : bis 2030: keine Umsetzung Nach 2030: vollständige Umsetzung	Tiefe Geothermie : bis 2030: keine Umsetzung Nach 2030: vollständige Umsetzung	Tiefe Geothermie : bis 2030: keine Umsetzung Nach 2030: vollständige Umsetzung

5.2. Entwicklung des Endenergieverbrauchs

In den folgenden Abbildungen ist die Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Verbrauchssektoren und Anwendungszwecken dargestellt, wie er sich in betrachteten Szenarien entsprechend der Annahmen gemäß Tabelle 22 ergibt.

- Ausgangspunkt sind die Verbräuche für das Jahr 2020.
- Das TREND- und das BASIS-Szenario (Vergleichsszenarien) haben das Zieljahr 2045. Darüber hinaus wird das Stützjahr 2030 betrachtet.
- Die Zielszenarien haben demgegenüber das Zieljahr 2035.

Vergleichsszenarien für das Zieljahr 2045 (TREND und BASIS)

TREND-Szenario

Im TREND-Szenario reduziert sich der Endenergieverbrauch bis zum Stützjahr 2030 um ca. 14 % gegenüber dem Basisjahr 2020. Im Zieljahr 2045 wird eine Reduktion von rund ca. 27 % erreicht.

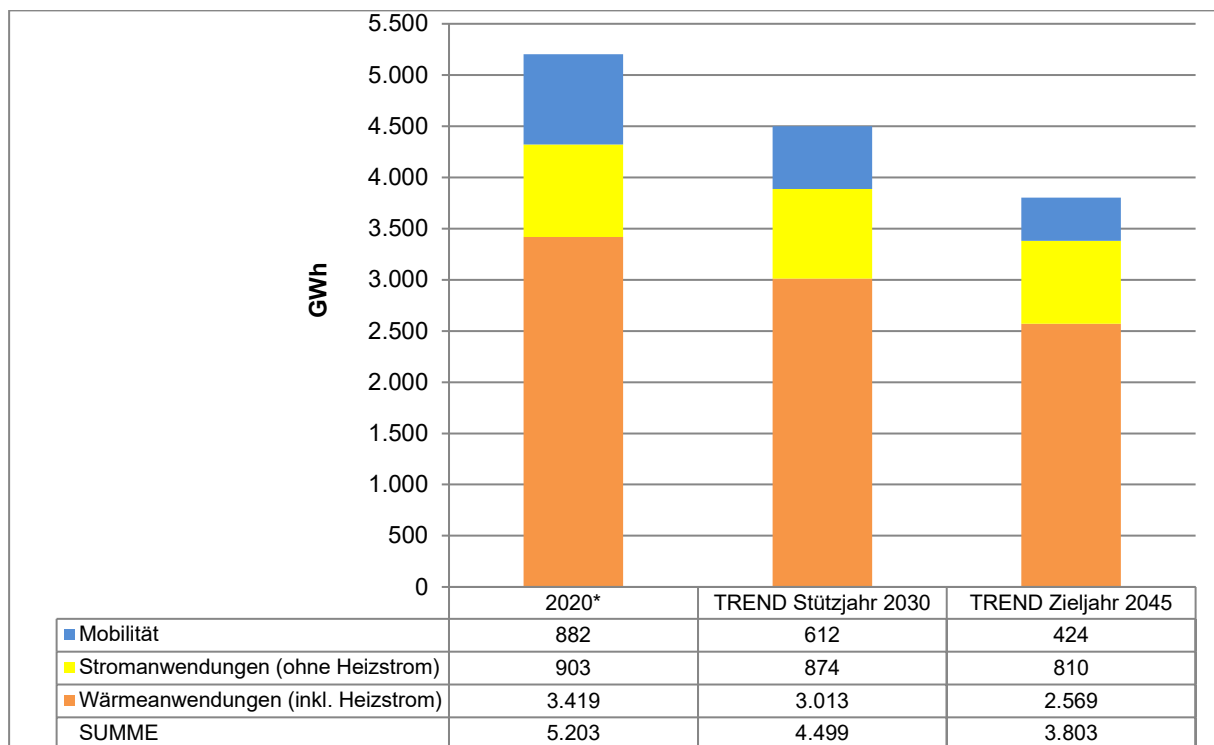


Abbildung 76 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungszwecken im TREND-Szenario, ohne ETS-pflichtige Betriebe

Bezogen auf die Anwendungszwecke ergäben sich im Jahr 2045 gegenüber dem Basisjahr 2020 die folgenden Reduktionen:

- Wärmeanwendungen (inkl. Heizstrom) -25 %
- Stromanwendungen (ohne Heizstrom) -10 %
- Mobilität -52 %

Dies spiegelt die zuvor dargestellten verschiedenen großen Einsparpotenziale wider und beinhaltet bei der Mobilität insbesondere die Effizienzsteigerung, die durch Elektrofahrzeuge entsteht. Aus diesem

Grund ist auch beim TREND-Szenario der Rückgang des Endenergieverbrauchs für Mobilitätsw Zwecke gemessen an den anderen Einsatzzwecken besonders hoch.

In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung des Energieverbrauchs nach Energieträgern dargestellt.

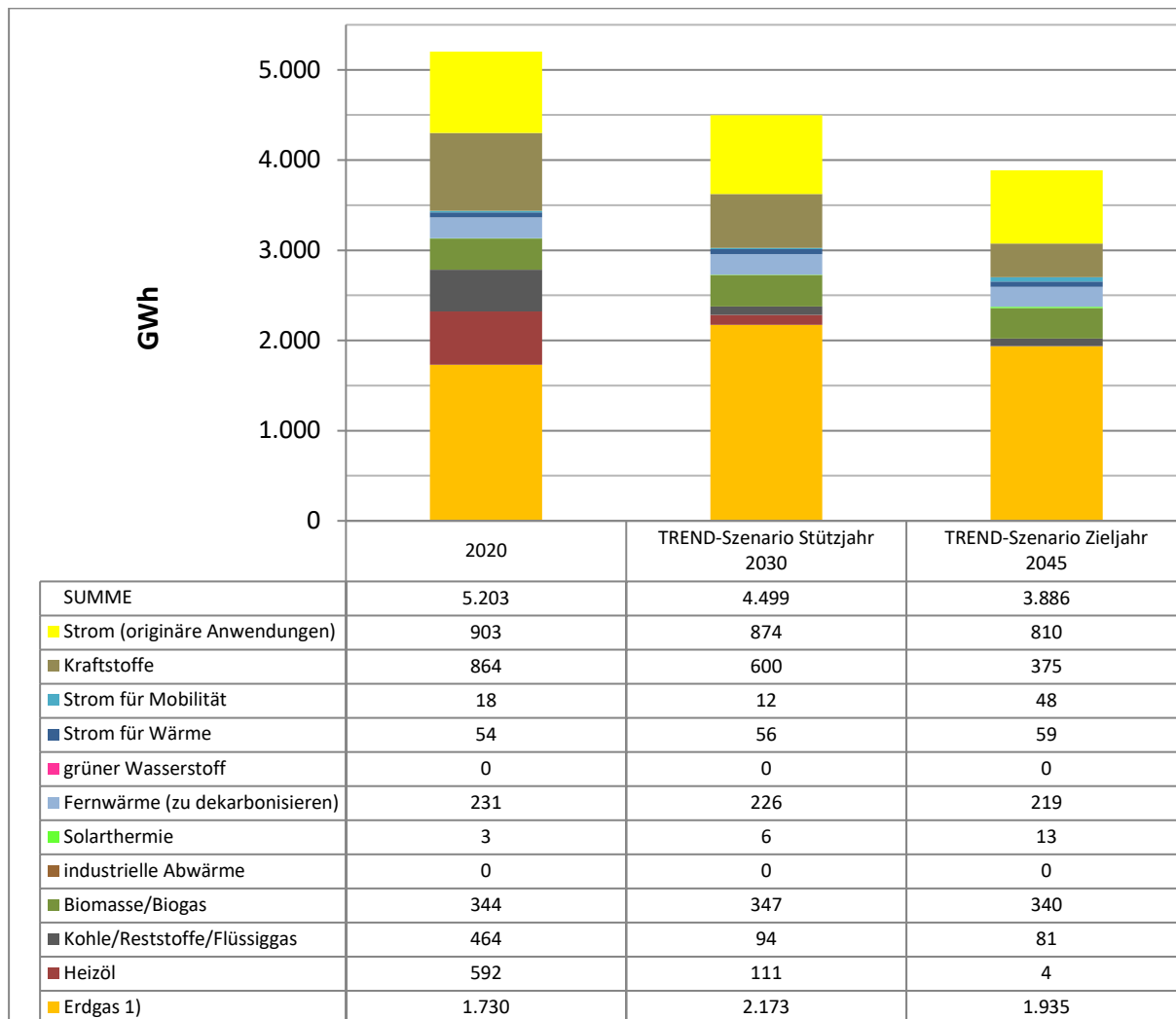


Abbildung 77 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im TREND-Szenario, ohne ETS-pflichtige Betriebe

1) bis 2045 durch THG-neutrale Alternativen (grüner Wasserstoff, Bio-Methan o.ä.) zu ersetzen

BASIS-Szenario

Im BASIS-Szenario reduziert sich der Endenergieverbrauch bis zum Stützjahr 2030 um ca. 30 % gegenüber dem Basisjahr 2020. Im Zieljahr 2045 wird eine Reduktion von rund 48 % erreicht.

In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungen dargestellt.



Abbildung 78 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungen im BASIS-Szenario, ohne ETS-pflichtige Betriebe

Bezogen auf die Anwendungszwecke ergäben sich im Jahr 2045 gegenüber dem Basisjahr 2020 die folgenden Reduktionen:

- Wärmeanwendungen (inkl. Heizstrom) -51 %
- Stromanwendungen (ohne Heizstrom) -21 %
- Mobilität -63 %

Hier drücken sich die gegenüber dem TREND-Szenario stärkeren Anstrengungen zur Energieeffizienz durch deutlich höhere Reduktionen bei den Wärme- und Stromanwendungen aus.

In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung des Energieverbrauchs nach Energieträgern dargestellt.

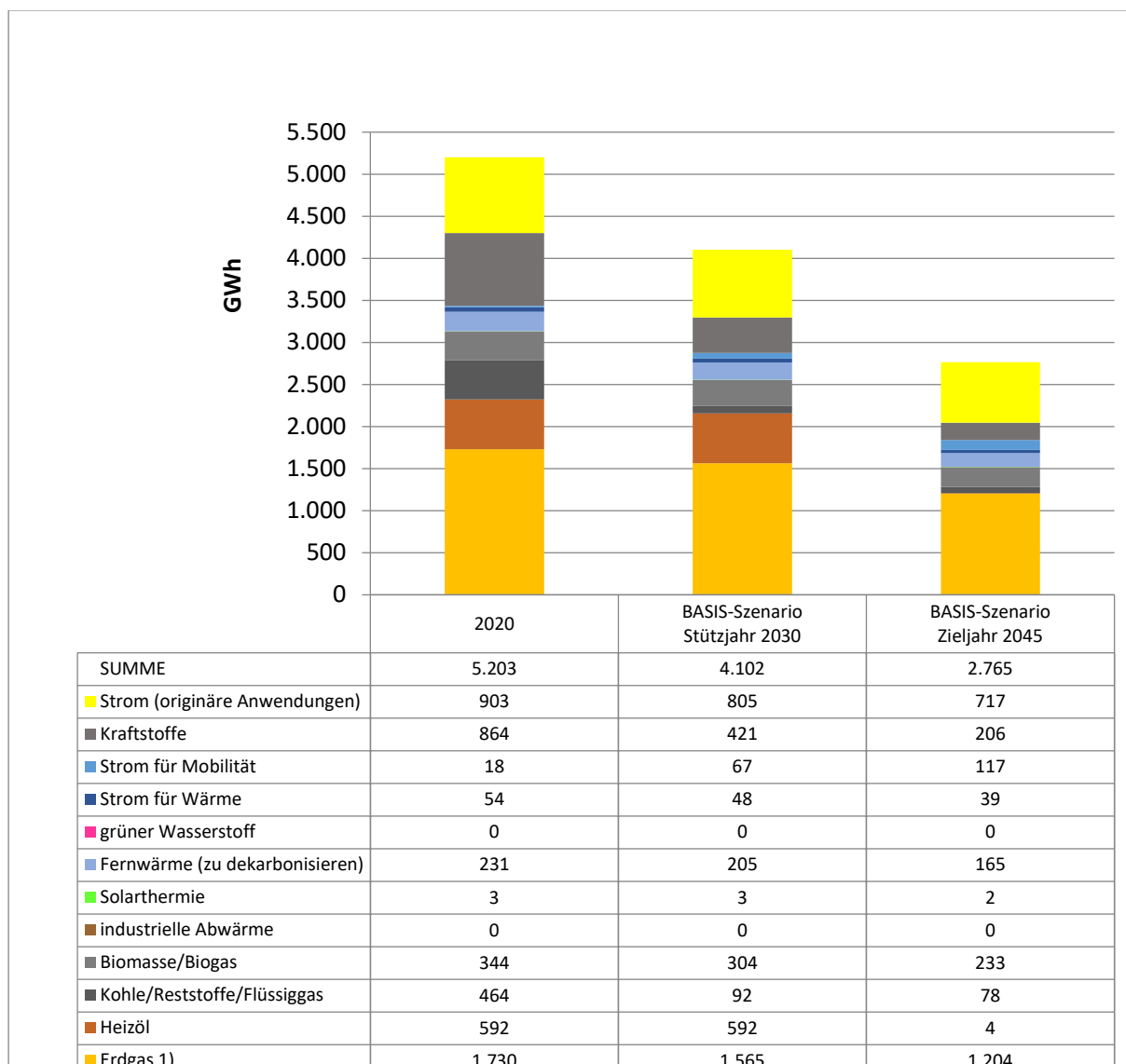


Abbildung 79 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im BASIS-Szenario, ohne ETS-pflichtige Betriebe

1) bis 2045 durch THG-neutrale Alternativen (grüner Wasserstoff, Bio-Methan o.ä.) zu ersetzen

Ziel-Szenarien KrefeldKlimaNeutral 2035

Anders als das TREND- und das BASIS-Szenario haben die Zielszenarien das Zieljahr 2035.

ZIEL-Szenario 1 „all electric“

Im ZIEL-Szenario „all-electric“ reduziert sich der Endenergieverbrauch bis zum Stützjahr 2030 um ca. 40 % gegenüber dem Basisjahr 2020. Im Zieljahr 2035 wird eine Reduktion von rund 59 % erreicht.

Der Rückgang des Endenergieverbrauchs ist gegenüber den anderen Szenarien am größten, weil dieses Szenario am stärksten auf Wärmepumpen im Gebäudesektor setzt und insofern alle Parameter auf den sparsamen und effizienten Einsatz von Energie ausgerichtet wurden. In diesem Szenario wurden besonders hohe Vorgaben bei der energetischen Gebäudesanierung gemacht, wodurch der Wärmeverbrauch bei diesem Szenario am stärksten sinkt. Die hohe Energieeffizienz der Wärmepumpen durch Nutzung von Erd- und Umgebungswärme schlägt bei der Reduktion des Endenergieverbrauchs zusätzlich zu Buche (siehe auch Tabelle 10). Die eingesetzte Erd- und Umgebungswärme wird bei der Endenergiebetrachtung ja nicht mitgerechnet.



Abbildung 80 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungen bis 2035 im ZIEL-Szenario „all-electric“, ohne ETS-pflichtige Betriebe

Bezogen auf die Anwendungszwecke ergäben sich im Jahr 2035 gegenüber dem Basisjahr 2020 die folgenden Reduktionen:

- Wärmeanwendungen (inkl. Heizstrom) -68 %
- Stromanwendungen (ohne Heizstrom) -25 %
- Mobilität -57 %

In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung des Energieverbrauchs nach Energieträgern dargestellt.

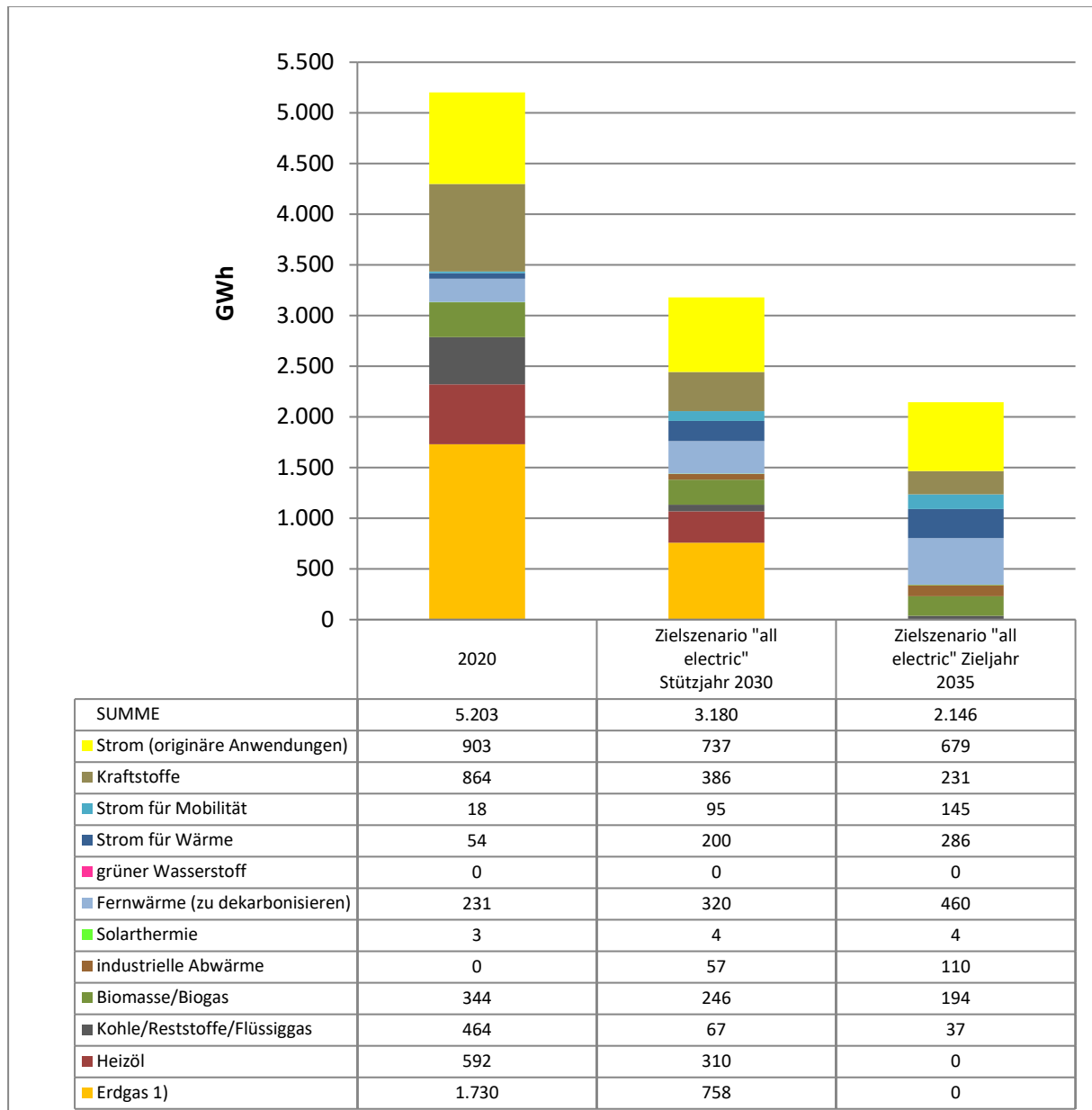


Abbildung 81 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im ZIEL-Szenario „all electric“, ohne ETS-pflichtige Betriebe

1) bis 2045 durch THG-neutrale Alternativen (grüner Wasserstoff, Bio-Methan o.ä. zu ersetzen

ZIEL-Szenario 2 „grüner Wasserstoff“

Im ZIEL-Szenario „grüner H₂“ reduziert sich der Endenergieverbrauch gegenüber dem Basisjahr 2020 bis zum Zieljahr 2035 nur um rund 35 %. Die vergleichsweise geringere Reduktion des Endenergieverbrauchs bis 2035 basiert auf den geringeren Einsparungen im Wärmebereich (siehe auch Tabelle 10). Dieses Szenario legt den Fokus darauf, die vorhandenen Gas-Netze optimal und langfristig zu nutzen und sowohl bezogen auf die Leitungsnetze als auch auf gebäudeseitige Maßnahmen an Gebäudehülle und Versorgungstechnik den Investitionsaufwand zu minimieren.

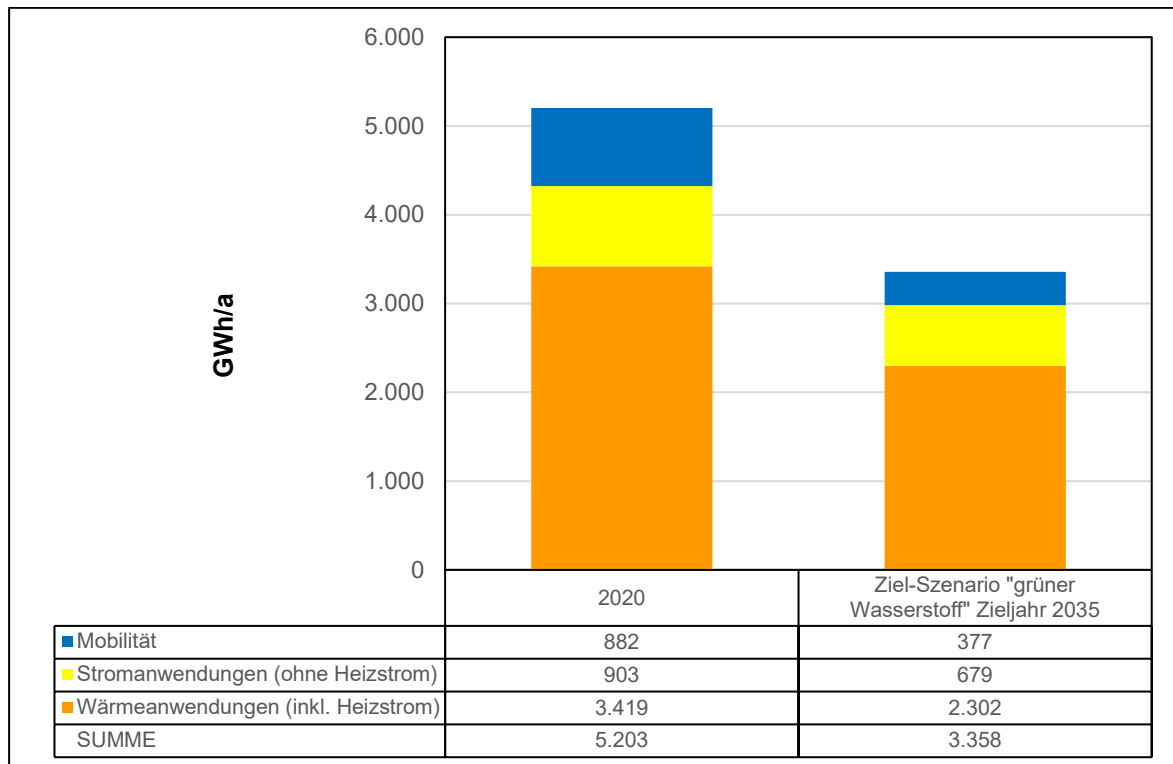


Abbildung 82 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Anwendungen bis 2035 im ZIEL-Szenario „grüner H₂“, ohne ETS-pflichtige Betriebe

Bezogen auf die Anwendungszwecke ergäben sich im Jahr 2035 gegenüber dem Basisjahr 2020 die folgenden Reduktionen:

- Wärmeanwendungen (inkl. Heizstrom) -33 %
- Stromanwendungen (ohne Heizstrom) -25 %
- Mobilität -57 %

In der folgenden Abbildung ist die Entwicklung des Energieverbrauchs nach Energieträgern dargestellt.

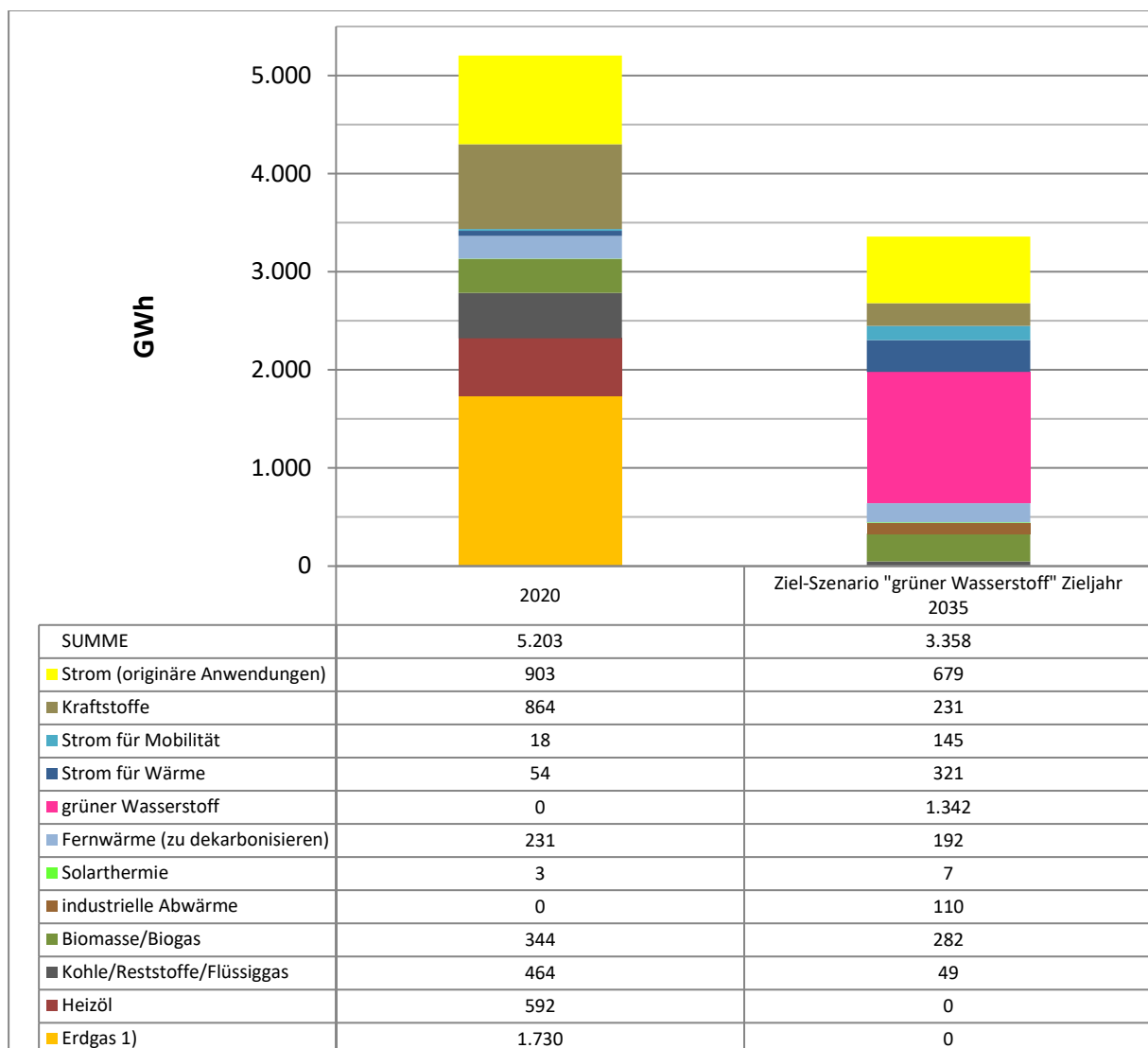


Abbildung 83 Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im ZIEL-Szenario „grüner Wasserstoff“, ohne ETS-pflichtige Betriebe

1) bis 2045 durch THG-neutrale Alternativen (grüner Wasserstoff, Bio-Methan o.ä. zu ersetzen)

5.3. Entwicklung der klimaschonenden Stromerzeugung

Aktuell dient Strom für Wärme größtenteils für Speicherheizungen oder Direkt-Strom-Anwendungen. In Zukunft wird nahezu der gesamte Strom für Wärmepumpen genutzt werden. Die Kopplung von Bioenergie und Solarthermie ist im Gebäudesektor (dezentrale Nutzung) durch die Fördermittelvorgaben bedingt (reine Biomasse-Anlagen sind bei Einzelmaßnahmen nicht mehr förderfähig).

Der bilanzielle Deckungsgrad durch die erneuerbaren Energien (hier: Bioenergie/Solarthermie und Strom für Wärme) steigt von aktuell 12 % auf rund 26 % im Zieljahr 2045 im ZIEL-Szenario „grüner H₂“ und auf rund 44 % im Zieljahr 2035 im ZIEL-Szenario „all-electric“. Dazu kommt noch der biogene respektive erneuerbare Anteil der (dekarbonisierten) Fernwärme.

In DatWk wird im Szenario A von rund 49 % Beitrag der MVKA (vergleiche Abbildung 42) ausgegangen. Wird von 50 % biogenem Anteil ausgegangen, das entspricht rund 112 GWh/a. Dadurch steigert sich

der bilanzielle Deckungsgrad im ZIEL-Szenario „all-electric“ um rund 11 %-Punkte. Im Vergleich dazu wird im Szenario B weniger Fernwärme genutzt, der Anteil des MVKA ist allerdings höher. Wird von 50 % biogenem Anteil ausgegangen, das entspricht rund 89 GWh/a. Dadurch steigt sich der bilanzielle Deckungsgrad im ZIEL-Szenario „grüner H₂“ um rund 3 %-Punkte.

Wie in Kapitel 4.3 dargestellt, wird der Ausbau von erneuerbaren Energien im Strombereich stark vorangetrieben. Dabei werden größere Anlagen (Windenergie, PV-Freiflächen und tiefe Geothermie) und kleinere Anlagen (Gebäude PV) ausgebaut.

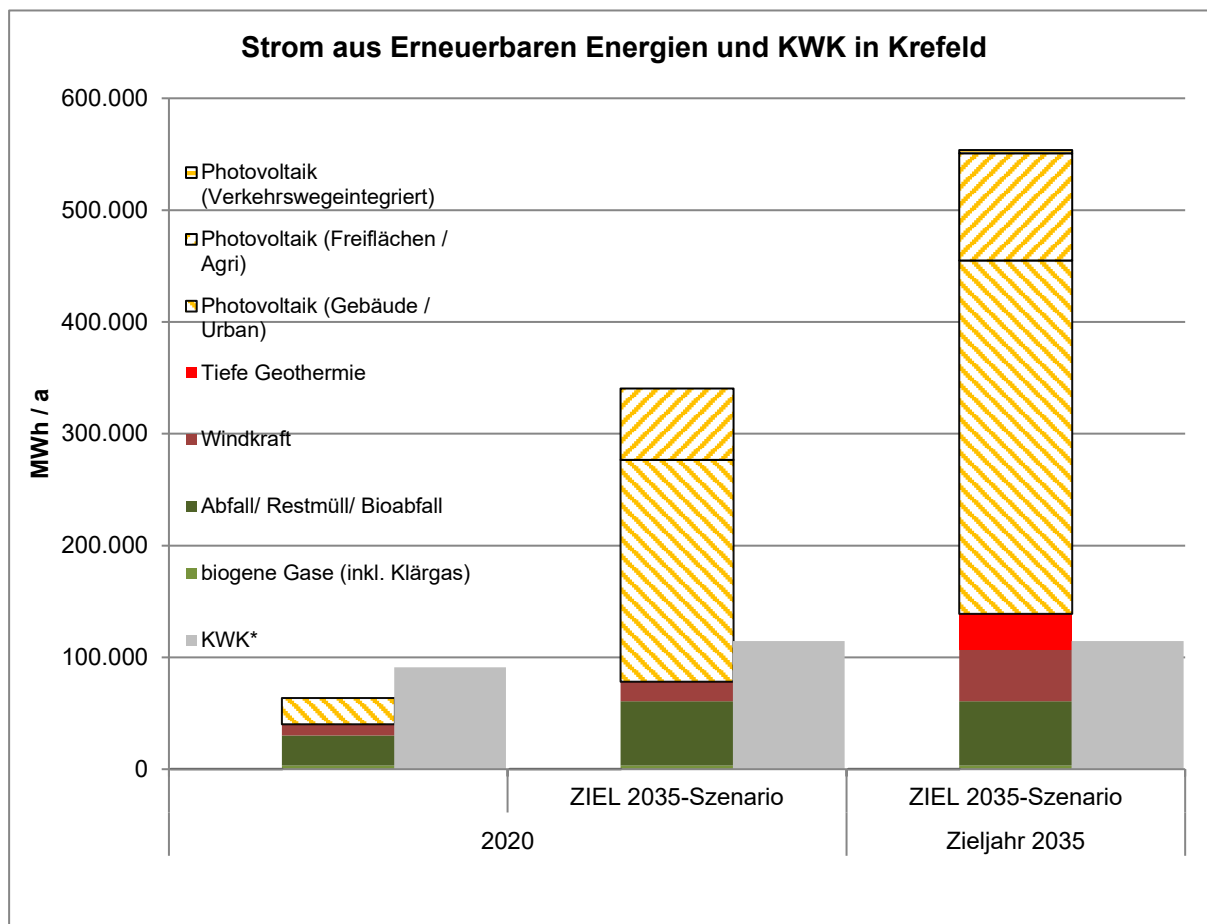


Abbildung 84 Entwicklung Strom aus Erneuerbaren Energien und KWK in Krefeld – ZIEL-Szenario
*KWK wird aktuell noch fossil betrieben, wird allerdings weitergehend dekarbonisiert

Der bilanzielle Deckungsgrad (durch EEG- und KWK-G-Anlagen) im Strombereich beträgt in 2020 rund 18 %. Insbesondere die Photovoltaik wird stark ausgebaut. Dem Ausbau der Erneuerbaren Energien und den Einsparungen im Strombereich steht die Sektorenkopplung (insbesondere die Elektromobilität und Strom für Wärme) gegenüber.

Der bilanzielle Deckungsgrad steigt im ZIEL-Szenario „grüner H₂“ auf rund 73 % im Zieljahr 2035 und auf 74 % im Zieljahr 2035 im ZIEL-Szenario „all-electric“. Der überraschend höhere bilanzielle Deckungsgrad lässt sich durch die deutlich geringeren Verbräuche bei Strom für Wärme erklären (siehe Abbildung 83 und Abbildung 81).

5.4. Entwicklung der THG-Emissionen

Aus der zuvor dargestellten Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energiebereitstellung in den Szenarien können die THG-Emissionen berechnet werden. Anhand eines Stufenmodells werden die Emissionen nachfolgend den verschiedenen Energieanwendungen Wärme, Strom und Mobilität zugeordnet. Das hier angewendete Bilanzierungsverfahren erfolgt nach den Empfehlungen des Klimabündnisses, in dem für den Stromverbrauch der bundesweite Strommix angesetzt wird (siehe auch Erläuterung bei der THG-Bilanz, Kap. 2). Dabei wird auch auf Bundesebene von unterschiedlichen Entwicklungen im TREND- bzw. BASIS-Szenario (ZIEL 2035 orientiert sich an BASIS-Szenario) ausgegangen. Um gleichzeitig darzustellen, welche Beiträge die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien vor Ort zur Emissionsminderung leistet, wird in Kap. 5.3 dargestellt, wie hoch die THG-Vermeidung durch die Erzeugung vor Ort ist.

Die Stufendiagramme in den folgenden Abbildungen veranschaulichen, dass die Entwicklung in den Szenarien sehr unterschiedlich ist. Die Betrachtungen beziehen sich auf den Startwert im Jahr 2020. Im Bereich Verkehr bewirken allgemeine Entwicklungen, wie z.B. die erwartete Zunahme des Straßengüterverkehrs eine Zunahme der THG-Emissionen. Darauf aufbauend werden die Minderungseffekte durch Vermeidung und Verlagerung dargestellt. Als dritte Stufe wird im Verkehrssektor die Minderung durch effiziente Antriebe sowie durch alternative Antriebsformen (insbesondere E-Mobilität) betrachtet.

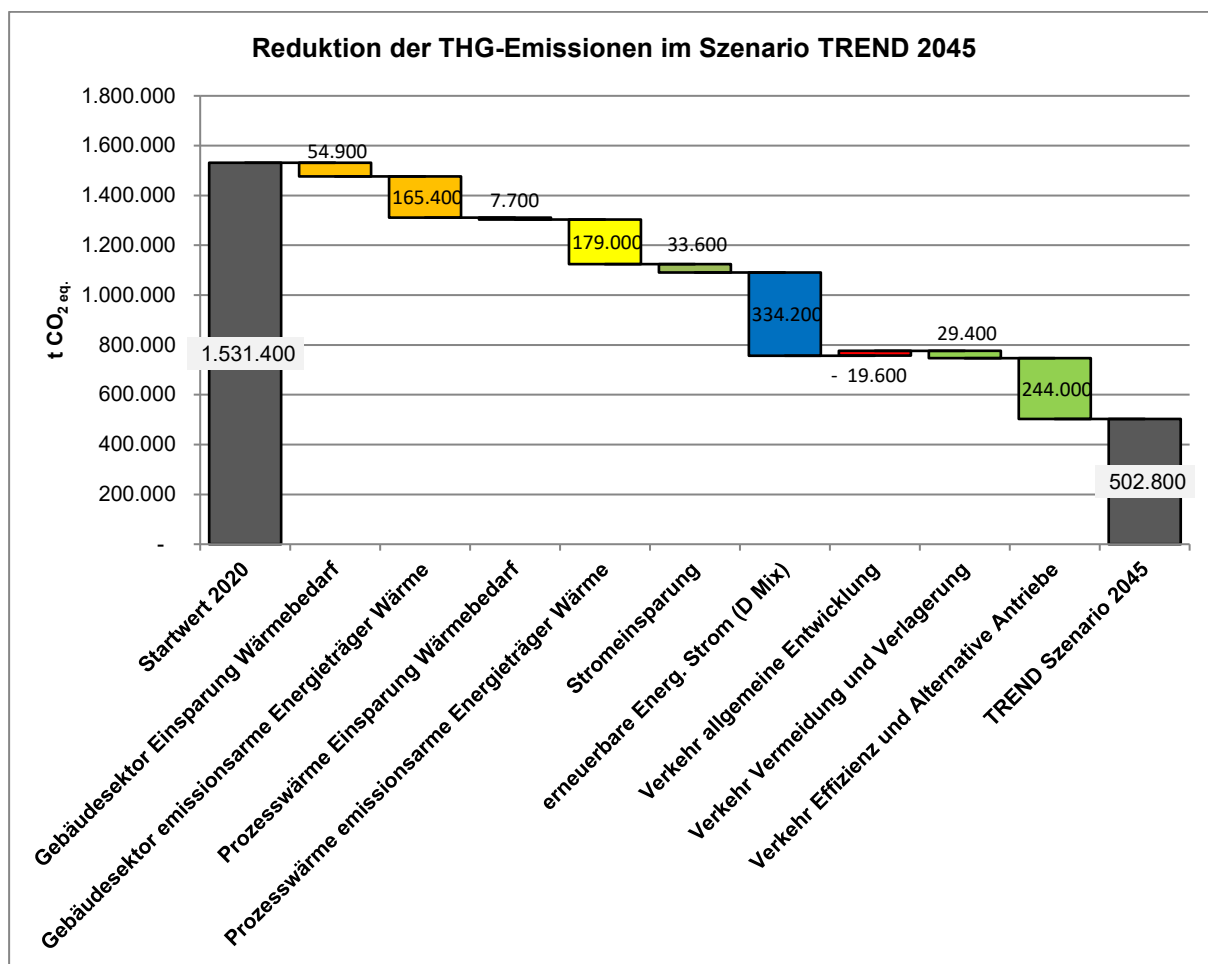


Abbildung 85 Wasserfall TREND-Szenario Zieljahr 2045

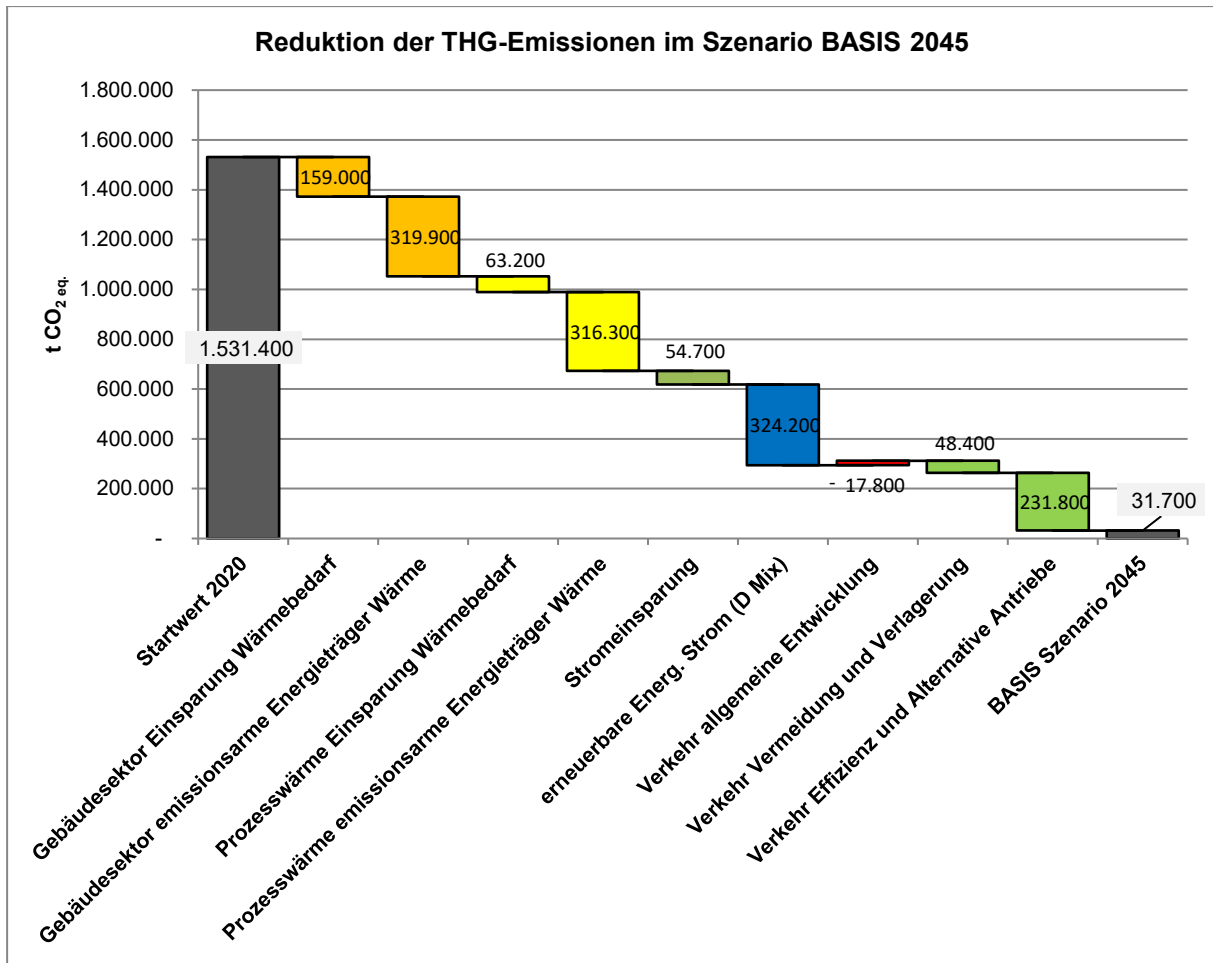


Abbildung 86 Wasserfall BASIS-Szenario Zieljahr 2045

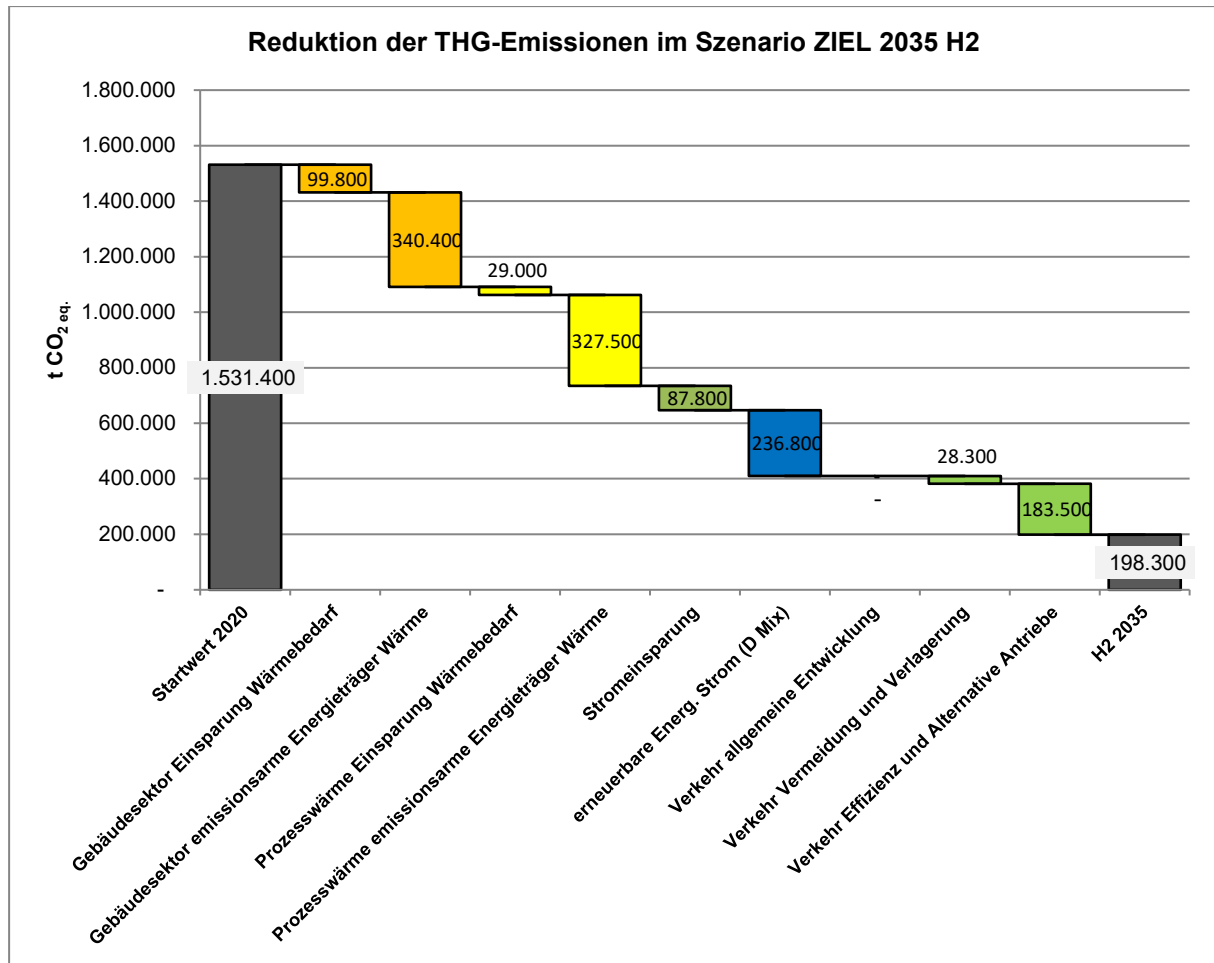


Abbildung 87 Wasserfall ZIEL-Szenario „grüner H₂“ Zieljahr 2035

Im ZIEL-Szenario „grüner H₂“ werden bis zum Zieljahr 2035 die Emissionen um rund 88 % reduziert. Der größte Anteil der Einsparungen findet im Bereich der emissionsarmen Energieträger statt, sowohl im Gebäudesektor als auch im Prozesswärmesektor. Die Einsparungen durch Effizienzmaßnahmen sind im ZIEL-Szenario „grüner H₂“ ähnlich wie im Trend Szenario, fallen also gering aus. Im Strombereich können die Emissionen durch Einsparungen um rund 90.000 t CO₂ eq. reduziert werden. Mehr als doppelt so viel (rund 240.000 t CO₂ eq.) wird durch einen gestiegenen EE-Anteil am Bundesstrommix eingespart. Im Verkehrsbereich steigen die Emissionen durch die allgemeinen Entwicklungen an. Dies wird aber bereits durch Vermeidung und Verlagerung mehr als aufgefangen. Jedoch trägt auch hier die umweltfreundliche Gestaltung den größten Anteil.

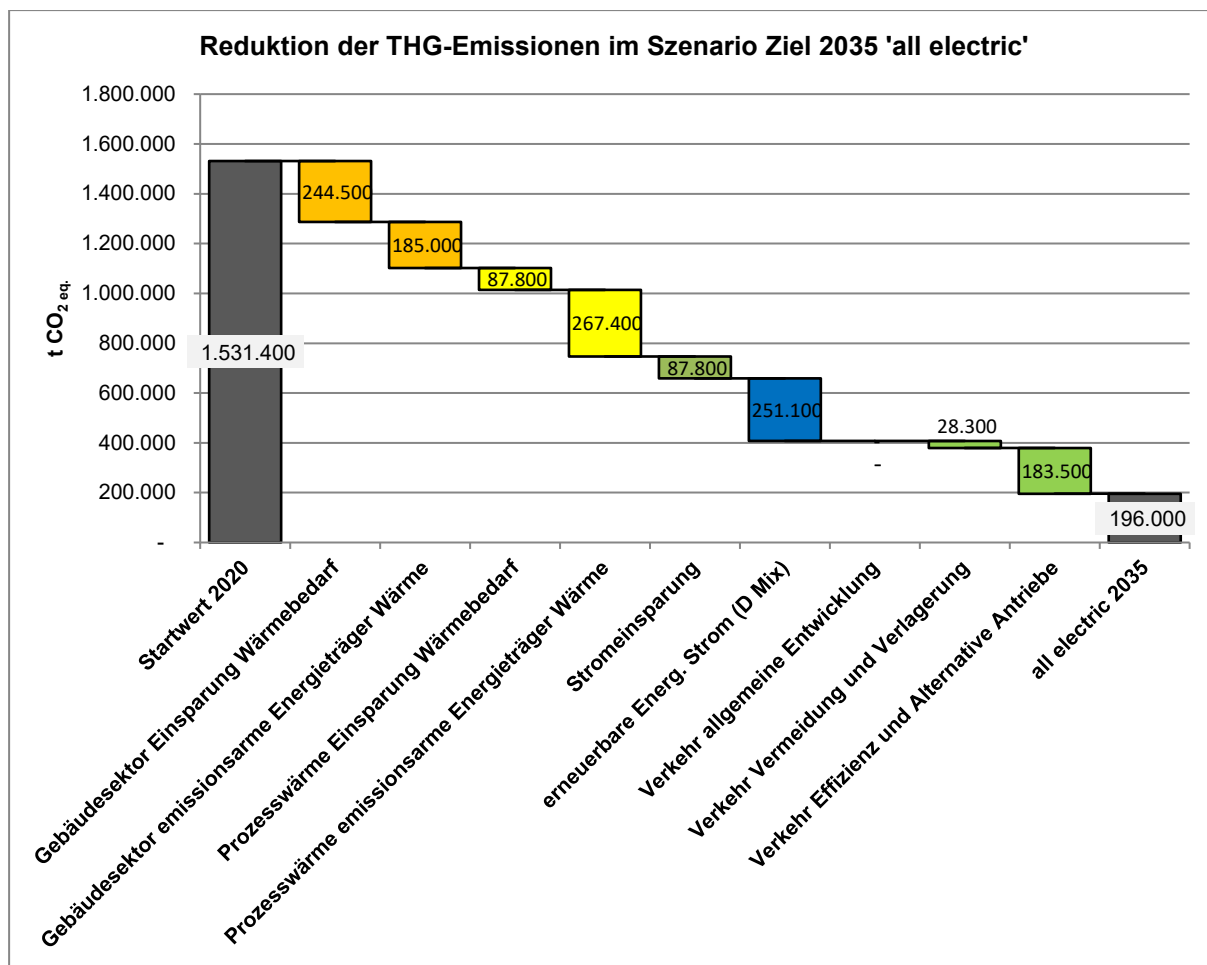


Abbildung 88 Wasserfall ZIEL-Szenario „all-electric“ Zieljahr 2035

Im ZIEL-Szenario „all-electric“ werden bis zum Zieljahr 2035 die Emissionen um rund 88 % reduziert. Der größte Anteil der Einsparungen findet im Bereich der emissionsarmen Energieträger statt, sowohl im Gebäudesektor als auch im Prozesswärmesektor. Die Einsparungen im Wärmebereich durch Effizienzmaßnahmen sind im ZIEL-Szenario „all-electric“ deutlich stärker als in den anderen Szenarien. Im Strombereich können die Emissionen durch Einsparungen um rund 90.000 t CO₂ eq. reduziert werden. Mehr als doppelt so viel (rund 250.000 t CO₂ eq.) wird durch einen gestiegenen EE-Anteil am Bundesstrommix eingespart. Im Verkehrsbereich steigen die Emissionen durch die allgemeinen Entwicklungen an. Dies wird aber bereits durch Vermeidung und Verlagerung mehr als aufgefangen. Jedoch trägt auch hier die umweltfreundliche Gestaltung den größten Anteil.

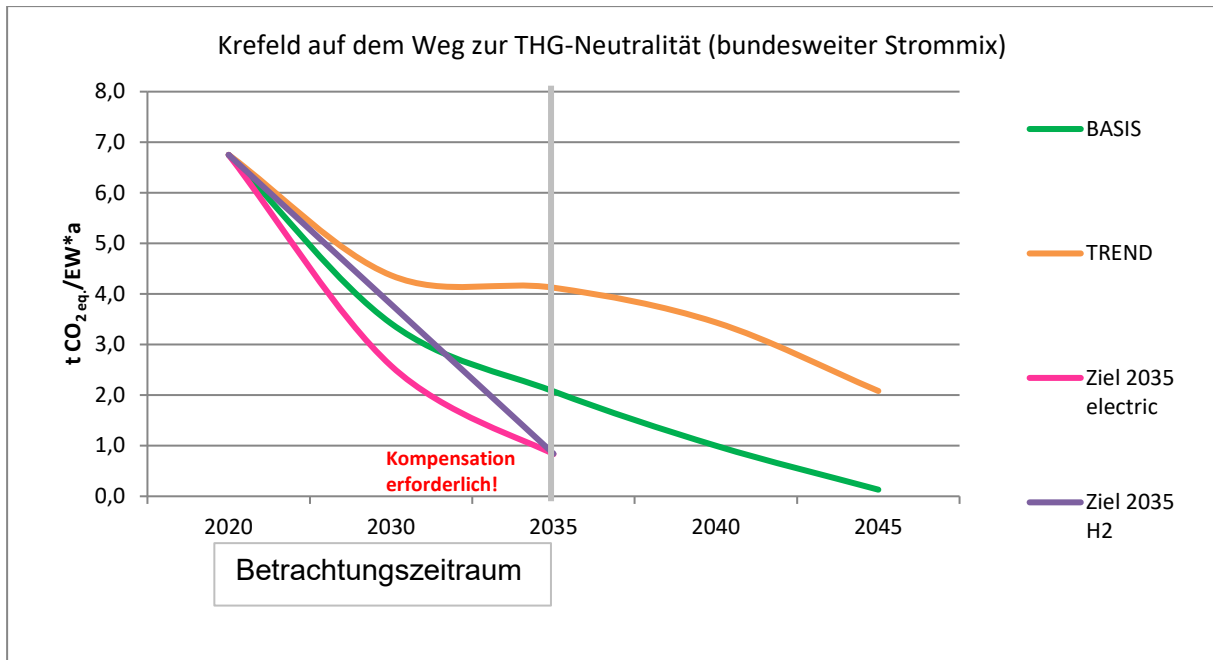


Abbildung 89 Die Stadt Krefeld auf dem Weg zur THG-Neutralität (bundesweiter Strommix)

Tabelle 24 Entwicklung THG- Emissionen in Tonnen CO₂ eq. für die ZIEL 2035-Szenarien

	1990	2020	2030	2035
ZIEL-Szenario „all-electric“	1.673.000	1.531.400	414.500	197.100
ZIEL-Szenario „grüner H₂“	1.673.000	1.531.400	643.000 *	198.800

*linear interpoliert

Tabelle 25 Entwicklung THG- Emissionen in Tonnen CO₂ eq. für TREND- und BASIS-Szenario

	1990	2020	2030	2035	2040	2045
TREND	1.673.000	1.531.400	994.400	967.400	821.500	502.900
BASIS	1.673.000	1.531.400	786.500	490.200	242.600	31.700

Daraus resultieren nachfolgende Reduktionen gegenüber 1990. Die Emissionen von 1990 basieren auf bundesweiten Durchschnittswerten, ebenfalls spielt die Entwicklung der Einwohnenden eine wichtige Rolle. Daher sind die Daten nur bedingt aussagefähig.

Erkennbar ist, dass die THG-Emissionen in der Stadt Krefeld seit 1990 bis 2020 eine leichte Verringerung erfahren haben.

Tabelle 26 THG-Reduktionen der Szenarien gegenüber 1990 für die ZIEL 2035-Szenarien

	2020	2030	2035
ZIEL-Szenario „all-electric“	-8 %	-75 %	-88 %
ZIEL-Szenario „grüner H₂“	-8 %		-88 %

Tabelle 27 THG-Reduktionen der Szenarien gegenüber 1990 für TREND- und BASIS-Szenario

	2020	2030	2035	2040	2045
TREND	-8 %	-40 %	-42 %	-51 %	-70 %
BASIS	-8 %	-53 %	-71 %	-86 %	-98 %

Beitrag der lokalen Stromerzeugung aus EE

Wie zuvor erläutert, erfolgt die THG-Bilanzierung des Stromverbrauchs gemäß den Regeln des Klima-Bündnisses auf Basis des bundesweiten Strommixes, da der Großteil der Erneuerbaren-Energien-Anlagen ins Netz einspeist und nicht festgestellt werden kann, welcher Anteil davon tatsächlich vor Ort verbraucht wird.

Eine Unterscheidung zwischen den beiden ZIEL 2035-Szenarien findet nicht statt, da hier nur der Strom-Sektor betrachtet wird.

Dennoch ist die THG-Vermeidung der Stromerzeugung vor Ort eine wichtige Kenngröße bei der Bewertung von Klimaschutzaktivitäten. Daher wird in diesem Kapitel dargestellt, welchen Beitrag die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in der Stadt Krefeld zur THG-Reduktion leistet. Als Vermeidungsfaktor wird hierfür vereinfachend der aktuelle bundesweite Strommix angesetzt.

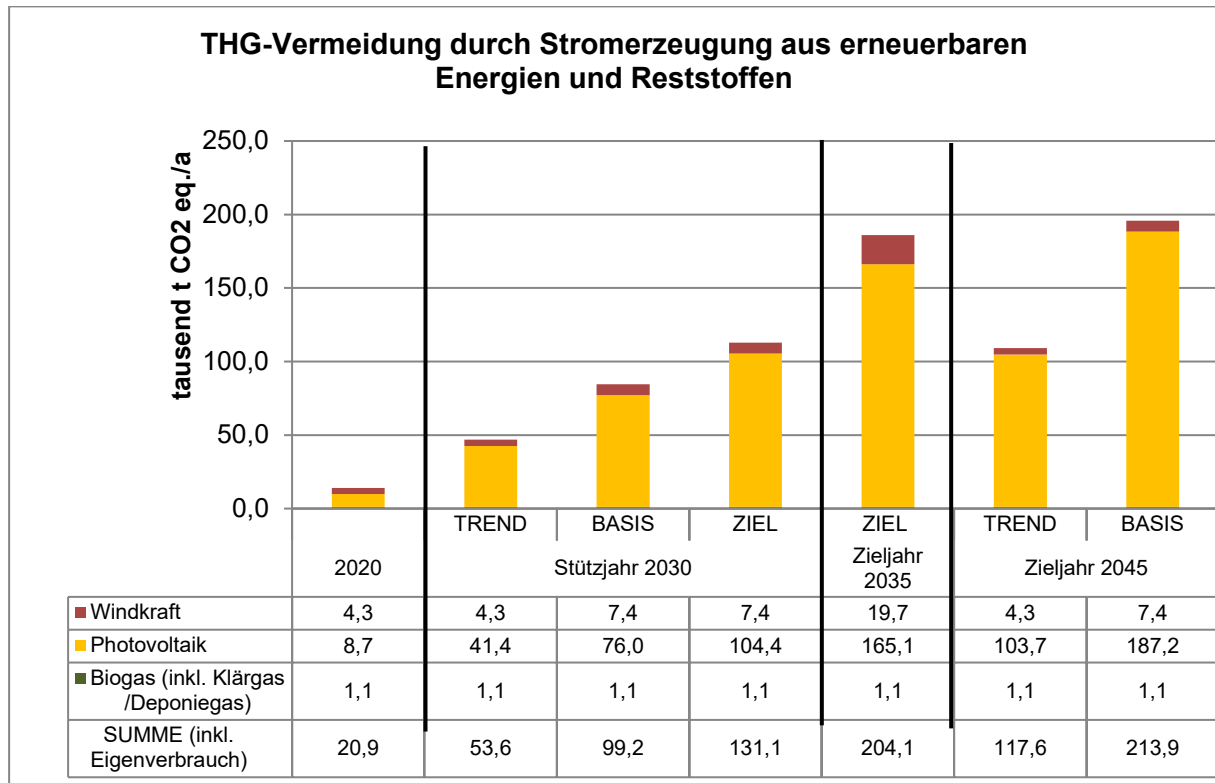


Abbildung 90 THG- Vermeidung durch Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und Reststoffe

6. Quellenverzeichnis

- AGEB 2021 Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland- Daten für die Jahre von 1990 bis 2020; AG Energiebilanzen e.V. (AGEB)
- Altenburg, C., Reiß, P., Scheller, H., Heinbach, K., Rupp, J., Hirschl, B., & IÖW, I. (2020). *Klimaschutz in finanzschwachen Kommunen: Mehrwert für Haushalt und Umwelt*. Berlin: Deutsches Institut für Urbanistik. Abgerufen am 19. April 2022 von <https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/578178/3/Klimaschutz%20in%20finanzschwachen%20Kommunen%20-%20Mehrwert%20fu%cc%88r%20Haushalt%20und%20Umwelt.pdf>
- bdew. (2022). *BDEW-Gaspreisanalyse April 2022*. Von <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-gaspreisanalyse/> abgerufen
- bdew. (2022). *BDEW-Strompreisanalyse April 2022*. Von <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/> abgerufen
- bpb. (2013). *Kosten des Klimawandels*. Von <https://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/klimawandel/38487/kosten-des-klimawandels> abgerufen
- BPB. (2017). *Die demografische Entwicklung in Deutschland*. Von <https://www.bpb.de/themen/soziale-lage/demografischer-wandel/196911/die-demografische-entwicklung-in-deutschland/> abgerufen
- Bundesregierung, D. (2016). *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie Neuauflage 2016*. Abgerufen am 19. April 2022 von <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuauflage-2016-download-bpa-data.pdf>
- DatWK. (2023). *Datengrundlage für Wärmekonzepte (GEF/ifeu)*. Stadt Krefeld.
- DIW. (2007). *Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden*. Berlin.
- Dr. Antony, F., Dr. Fischer, C., Gaumnitz, S., Göttlicher, S., & Ried, M. (2020). *Verbraucherberatung als Baustein einer erfolgreichen Ressourcenpolitik (139/2020)*. Umweltbundesamt. Abgerufen am 19. April 2022 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-15_texte_139-2020_verbraucherberatung.pdf
- Hafen Krefeld GmbH & Co. KG. (2022). *Rheinhafen Krefeld*. Von <https://rheinhafen-krefeld.de/unternehmen/> abgerufen
- Hanna, J., & Kim, M.-S. (2019). *Maximum entropy-based bioclimatic models predict areas of current and future suitable habitat for Armillaria species in Western Oregon and Western Washington*.
- IT.NRW - Landesdatenbank. (2019). Verarbeitendes Gewerbe. Von [https://www.krefeld.de/c125765d003d65ce/files/betriebe_und_beschaefigte_im_verarbeitenden_gewerbe.pdf/\\$file/betriebe_und_beschaefigte_im_verarbeitenden_gewerbe.pdf?openelement](https://www.krefeld.de/c125765d003d65ce/files/betriebe_und_beschaefigte_im_verarbeitenden_gewerbe.pdf/$file/betriebe_und_beschaefigte_im_verarbeitenden_gewerbe.pdf?openelement) abgerufen
- KBK. (2022). *KBK*. Von <https://www.kbk-krefeld.de/> abgerufen
- Klepper, G., Rickels, W., Schenker, O., Schwarze, R., Bardt, H., & Biebeler, H. (2017). Kosten des Klimawandels und Auswirkungen auf die Wirtschaft. In G. Brasseur, D. Jacob, & S. Schuck-Zöllner, *Klimawandel in Deutschland* (S. 253-258). Springer Spektrum.
- Krefeld. (2021). *Haushalt: Planentwurf mit Ergebnisplus von 9,6 Millionen Euro*. Von <https://www.krefeld.de/de/inhalt/haushalt-planentwurf-mit-ergebnisplus-von-9-6-millionen-euro/> abgerufen
- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. (2019). *Potenzialstudie Industrielle Abwärme*. Recklinghausen.
- Marscheider, N., Schäfer, L., & Rotter, M. (2013). *Arbeitspapier zur Vorbereitung des Stakeholderdialogs zur Klimaanpassung*.
- PIK. (2022). *KlimafolgenOnline*. Von <https://www.klimafolgenonline.com/#> abgerufen
- RKI. (2010). *Klimawandel und Gesundheit*. Berlin.
- SRU. (2021). *Pariser Klimaziele erreichen mit dem CO2-Budget*. Berlin.
- Stadt Heidelberg, A. f., & KliBA, K.-&.-B. (2022). *Ihr CO2-Spiegel*. Abgerufen am 19. April 2022 von <https://www.co2spiegel.de/impressum.php>
- Steinemann, M., Schwegler, R., Spescha, G., & Iten, R. (2015). *Marktbeobachtung Nachhaltiger Konsum: Entwicklung eines Instrumentes zur Langzeit-Erfassung von Marktanteilen, Trends und Treibern nachhaltigen Konsums*. Umweltbundesamt. Abgerufen am 19. April 2022 von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_02_2015_marktbeobachtung_nachhaltiger_konsum_0.pdf

StMUG. (2012). *Folgen des Klimawandels*.

Umweltbundesamt. (21. April 2021). *"Grüne" Produkte: Marktzahlen*. Abgerufen am 19. April 2022 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/konsum-produkte/gruene-produkte-marktzahlen#umsatz-mit-grunen-produkten>

Umweltbundesamt. (2022). *CO2-Rechner des Umweltbundesamtes*. Abgerufen am 11.. Februar 2022 von https://uba.co2-rechner.de/de_DE/start#panel-calc

Umweltbundesamt. (2022). *Klimaschutzpotenziale in Kommunen*.

Umweltbundesamt, Dr. Bilharz, M., Dr. Huckestein, B., Brendel, C., Müller, R., Dr. Rubik, F., . . . Syhr, J.-A. (2020). *Zusammendenken, was zusammengehört: Kommunaler Klimaschutz und nachhaltiger Konsum. Ideen für Kommunen und Landkreise*. Umweltbundesamt.

WDR. (2021). Nach Hochwasser: Wieder freie Fahrt auf der A61. *WDR*. Von <https://www1.wdr.de/nachrichten/rheinland/wieder-freie-fahrt-auf-der-a-61-100.html> abgerufen

WFG Wirtschaftsförderungsgesellschaft Krefeld mbH. (2022). *Krefeld Business*. Von <https://www.krefeld-business.de/standort-medien/> abgerufen

wissen.de. (2019). *Klimafolgen: Was kostet uns der Klimawandel?*