

Szenarien für ein klimaneutrales München bis 2035

Ausarbeitung im Rahmen des Fachgutachtens
Klimaneutralität München 2035 im Auftrag des Referats für
Klima- und Umweltschutz der Landeshauptstadt München

Freiburg/Hamburg/
München, August 2022

Autorinnen und Autoren

Christof Timpe, Dr. Tilman Hesse, Sebastian Palacios
Öko-Institut e.V.

Christian Maaß, Juliane Mundt, Dr. Hilmar Westholm
HIC Hamburg Institut Consulting GmbH

Tobias Kluth, Alexandra Rudolf
Intraplan Consult GmbH

Kontakt

info@oeko.de
www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

Kontakt Partner

HIC Hamburg Institut Consulting GmbH

Paul-Neumann-Platz 5
22765 Hamburg
Telefon +49 40 39 10 69 89-0

Intraplan Consult GmbH

Dingolfinger Straße 2
81673 München
Telefon +49 89 45911-0

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	8
Abkürzungsverzeichnis	10
Zusammenfassung	13
1 Herausforderung Klimaneutralität 2035	18
2 Struktur und Rahmenannahmen für die Szenarien	19
2.1 Struktur und Methodik der Szenarien	19
2.2 Rahmenannahmen für die Entwicklung in München	20
2.3 Rahmenannahmen für die Entwicklung des Umfelds	21
3 Entwicklung des Energieverbrauchs	22
3.1 Gebäudewärme	22
3.1.1 Allgemeine Annahmen	22
3.1.2 Entwicklungen im Trendszenario	23
3.1.3 Entwicklungen im Zielszenario	25
3.2 Private Haushalte	27
3.2.1 Allgemeine Annahmen	27
3.2.2 Entwicklungen im Trendszenario	28
3.2.3 Entwicklungen im Zielszenario	28
3.3 Stadtverwaltung	29
3.3.1 Allgemeine Annahmen	29
3.3.1.1 Gebäudewärme der Stadtverwaltung	29
3.3.1.2 Stromverbrauch, Antriebsenergie und Prozesswärme	31
3.3.2 Entwicklungen im Trendszenario	32
3.3.3 Entwicklungen im Zielszenario	34
3.4 Wirtschaft und Dienstleistungen	37
3.4.1 Allgemeine Annahmen	37
3.4.2 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Trendszenario	40
3.4.3 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Zielszenario	42
3.5 Verkehr	44
3.5.1 Allgemeine Annahmen und Prognoseprämissen	44
3.5.2 Entwicklung der Fahrleistung pro Verkehrsmittel sowie des Modal Split	49

3.5.3	Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr	52
4	Zusammenfassung des Trendszenarios	53
4.1	Entwicklung des gesamten Endenergieverbrauchs	53
4.2	Stromverbrauch und lokale Erzeugung von Strom und Fernwärme	55
4.2.1	Methodik und Annahmen	55
4.2.2	Fernwärmeerzeugung und zentrale Kraft-Wärme-Kopplung	59
4.2.3	Gesamter Stromverbrauch	60
4.2.4	Dezentrale Stromerzeugung	61
4.2.5	Zusammenfassung zur lokalen Energieerzeugung	64
4.3	Entwicklung der Treibhausgasemissionen	65
4.3.1	Wärme	66
4.3.2	Strom und Kochgas in privaten Haushalten	67
4.3.3	Stadtverwaltung	68
4.3.4	Wirtschaft und Dienstleistungen	70
4.3.5	Verkehr	71
4.3.6	Gesamte Treibhausgasemissionen der Stadt München	72
5	Zusammenfassung des Zielszenarios Klimaneutrales München	75
5.1	Entwicklung des gesamten Endenergieverbrauchs	75
5.2	Stromverbrauch und lokale Erzeugung von Strom und Fernwärme	77
5.2.1	Fernwärmeerzeugung und zentrale Kraft-Wärme-Kopplung	78
5.2.2	Gesamter Stromverbrauch	79
5.2.3	Dezentrale Stromerzeugung	80
5.2.4	Zusammenfassung zur lokalen Energieerzeugung	83
5.3	Entwicklung der Treibhausgasemissionen	84
5.3.1	Wärme	85
5.3.2	Strom und Kochgas in privaten Haushalten	86
5.3.3	Stadtverwaltung	87
5.3.4	Wirtschaft und Dienstleistungen	89
5.3.5	Verkehr	91
5.3.6	Gesamte Treibhausgasemissionen der Stadt München	92
6	Veränderungen gegenüber den Szenarien des Fachgutachtens 2017	96
7	Zusammenfassende Bewertung und Ausblick	99
8	Literaturverzeichnis	101
9	Tabellenanhang zu den Szenarien	108

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen Münchens im Zielszenario bis 2035 und bis 204X nach Sektoren und Wirkungsbeiträgen	15
Abbildung 3-1: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aller Gebäude für Wärme im Trendszenario nach Energieträgern	24
Abbildung 3-2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aller Gebäude für Wärme im Zielszenario nach Energieträgern	25
Abbildung 3-3: Vergleich des Trend- und Zielszenarios beim Endenergieverbrauch der Gebäudewärme aufgeteilt nach Sektoren	27
Abbildung 3-4: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Stadtverwaltung im Trendszenario nach Energieträgern	33
Abbildung 3-5: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Stadtverwaltung im Zielszenario nach Energieträgern	35
Abbildung 3-6: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Prozesse in Industrie und GHD (ohne Gebäudewärme, Wirtschaftsverkehr und Stadtverwaltung) im Trendszenario	41
Abbildung 3-7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Prozesse in Industrie und GHD (ohne Gebäudewärme, Wirtschaftsverkehr und Stadtverwaltung) im Zielszenario	43
Abbildung 3-8: Entwicklung der Fahrleistung im Stadtgebiet der LHM nach Verkehrsmitteln (indiziert; 2018 = 100)	50
Abbildung 3-9: Anteile des Modal Split im Personenverkehr (bezogen auf die Verkehrsleistung in Personenkilometer) mit Anteil des Umweltverbundes	51
Abbildung 3-10: Energieverbrauch des Verkehrs im Stadtgebiet nach Energieträgern	52
Abbildung 4-1: Gesamter Endenergieverbrauch nach Energieträgern (Trendszenario 2035 im Vergleich zum Ist 2018)	54
Abbildung 4-2: Gesamter Endenergieverbrauch nach Sektoren (Trendszenario 2035 im Vergleich zum Ist 2018)	55
Abbildung 4-3: Energieeinsatz zur lokalen Erzeugung von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung und Heizwerken (Trendszenario 2035 im Vergleich zum Ist 2018)	60
Abbildung 4-4: Gesamter Stromverbrauch nach Sektoren (Trendszenario 2035 im Vergleich zum Ist 2018)	61
Abbildung 4-5: Dezentrale KWK-Stromerzeugung mit fossilen Brennstoffen (ohne große SWM-Anlagen) im Trendszenario	62
Abbildung 4-6: Entwicklung des Ausbaus erneuerbarer Energien auf Münchner Stadtgebiet im Trendszenario	63
Abbildung 4-7: Stromerzeugung in München im Trendszenario	65

Abbildung 4-8: Entwicklung der THG-Emissionen des Wärmesektors (incl. Stadtverwaltung) im Trendszenario	67
Abbildung 4-9: Entwicklung der THG-Emissionen des Verbrauchs privater Haushalte an Strom und Kochgas im Trendszenario	68
Abbildung 4-10: Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung im Trendszenario	69
Abbildung 4-11: Entwicklung der THG-Emissionen in Prozessen im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen (ohne Wirtschaftsverkehr, Gebäudewärme und Stadtverwaltung) im Trendszenario	70
Abbildung 4-12: Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrssektors im Trendszenario	72
Abbildung 4-13: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Energieträgern und der Pro-Kopf-Emissionen im Trendszenario	73
Abbildung 4-14: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Sektoren und der Pro-Kopf-Emissionen im Trendszenario	74
Abbildung 5-1: Gesamter Endenergieverbrauch nach Energieträgern (Zielszenario 2035 und 204X im Vergleich zum Ist 2018)	76
Abbildung 5-2: Gesamter Endenergieverbrauch nach Sektoren (Zielszenario 2035 und 204X im Vergleich zum Ist 2018)	77
Abbildung 5-3: Energieeinsatz zur lokalen Erzeugung von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung und Heizwerken (Zielszenario 2035 und 204X im Vergleich zum Ist 2018)	79
Abbildung 5-4: Gesamter Stromverbrauch nach Sektoren (Zielszenario 2035 und 204X im Vergleich zum Ist 2018)	80
Abbildung 5-5: Dezentrale KWK-Stromerzeugung mit fossilen Brennstoffen (ohne große SWM-Anlagen) im Zielszenario	81
Abbildung 5-6: Entwicklung des Ausbaus erneuerbarer Energien auf Münchner Stadtgebiet im Zielszenario	82
Abbildung 5-7: Stromerzeugung in München im Zielszenario	84
Abbildung 5-8: Entwicklung der THG-Emissionen des Wärmesektors (incl. Stadtverwaltung) im Zielszenario	86
Abbildung 5-9: Entwicklung der THG-Emissionen des Verbrauchs privater Haushalte an Strom und Kochgas im Zielszenario	87
Abbildung 5-10: Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung im Zielszenario	88
Abbildung 5-11: Entwicklung der THG-Emissionen in Prozessen im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen (ohne Wirtschaftsverkehr, Gebäudewärme und Stadtverwaltung) im Zielszenario	90

Abbildung 5-12: Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrssektors im Zielszenario	91
Abbildung 5-13: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Energieträgern und der Pro-Kopf-Emissionen im Zielszenario	93
Abbildung 5-14: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Sektoren und der Pro-Kopf-Emissionen im Zielszenario	94
Abbildung 5-15: Entwicklung der Treibhausgasemissionen Münchens im Zielszenario bis 2035 und bis 204X nach Wirkungsbeiträgen und Sektoren	95

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Angenommene Entwicklung der Haushalte in München (Basis: Hauptwohnsitze)	21
Tabelle 2-2:	Annahmen in den Szenarien zur Wirtschaftsentwicklung in München	21
Tabelle 3-1:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs aller Gebäude für Wärme im Trendszenario nach Energieträgern	25
Tabelle 3-2:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs aller Gebäude für Wärme im Zielszenario nach Energieträgern	26
Tabelle 3-3:	Entwicklung des Stromverbrauchs (ohne Strom für Gebäudewärme) sowie des Gasverbrauchs für Kochen der privaten Haushalte im Trendszenario (in GWh pro Jahr)	28
Tabelle 3-4:	Entwicklung des Stromverbrauchs (ohne Strom für Gebäudewärme) sowie des Gasverbrauchs für Kochen der privaten Haushalte im Zielszenario (in GWh pro Jahr)	29
Tabelle 3-5:	Übersicht zu den städtischen Liegenschaften sowie den angemieteten Gebäuden der LHM	30
Tabelle 3-6:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Stadtverwaltung im Trendszenario nach Energieträgern	34
Tabelle 3-7:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Stadtverwaltung im Zielszenario nach Energieträgern	36
Tabelle 3-8:	Entwicklung des Stromverbrauchs der Stadtverwaltung im Zielszenario	36
Tabelle 3-9:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Prozesse in Industrie und GHD (ohne Gebäudewärme, Wirtschaftsverkehr und Stadtverwaltung) im Trendszenario	42
Tabelle 3-10:	Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Prozesse in Industrie und GHD (ohne Gebäudewärme, Wirtschaftsverkehr und Stadtverwaltung) im Zielszenario	44
Tabelle 3-11:	Annahmen in den Szenarien zur Entwicklung der Pkw-Dichte in München	45
Tabelle 3-12:	Annahmen zur Entwicklung der Anteile der Pkw-Antriebsarten in München (bezogen auf Fahrleistung)	46
Tabelle 3-13:	Annahmen in den Szenarien zur Realisierung größerer Ausbau-Maßnahmen im U- und S-Bahn-Verkehr	48
Tabelle 4-1:	Entwicklung des Ausbaus erneuerbarer Energien auf Münchner Stadtgebiet im Trendszenario	64
Tabelle 4-2:	THG-Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme im Trendszenario	66
Tabelle 4-3:	Entwicklung der THG-Emissionen des Wärmesektors im Trendszenario	67

Tabelle 4-4:	Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung im Trendszenario	70
Tabelle 4-5:	Entwicklung der THG-Emissionen in Prozessen im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen (ohne Wirtschaftsverkehr, Gebäudewärme und Stadtverwaltung) im Trendszenario	71
Tabelle 4-6:	Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrssektors im Trendszenario	72
Tabelle 5-1:	Entwicklung des Ausbaus erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung auf Münchner Stadtgebiet im Zielszenario	83
Tabelle 5-2:	THG-Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme im Zielszenario	85
Tabelle 5-3:	Entwicklung der THG-Emissionen des Wärmesektors (incl. Stadtverwaltung) im Zielszenario	86
Tabelle 5-4:	Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung im Zielszenario	88
Tabelle 5-5:	Entwicklung der THG-Emissionen in Prozessen im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen (ohne Wirtschaftsverkehr, Gebäudewärme und Stadtverwaltung) im Zielszenario	90
Tabelle 5-6:	Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrssektors im Zielszenario	92
Tabelle 9-1:	Endenergieverbrauch nach Energieträgern	108
Tabelle 9-2:	Gesamter Endenergieverbrauch nach Sektoren	108
Tabelle 9-3:	Gesamter Stromverbrauch nach Sektoren	108
Tabelle 9-4:	Stromerzeugung in München	109
Tabelle 9-5:	Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Energieträgern und der Pro-Kopf-Emissionen	109
Tabelle 9-6:	Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Sektoren	109
Tabelle 9-7:	Maßnahmen im Sektor Verkehr und zugehöriger Umsetzungsgrade in den Szenarien	111

Abkürzungsverzeichnis

AWM	Abfallwirtschaftsbetrieb München
BAPV	Bauwerksapplizierte Photovoltaik
BEHG	Brennstoffemissionshandelsgesetz
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BIPV	Bauwerksintegrierte Photovoltaik
BISKO	Bilanzierungssystematik kommunal
CNG	Compressed natural gas (komprimiertes Erdgas)
EE	Erneuerbare Energie
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
EU	Europäische Union
EU-ETS	EU Emissions Trading System (EU-Emissionshandelssystem)
EW	Einwohner*innen
GebOSt	Gebührenordnung für Maßnahmen im Straßenverkehr
GHD	Gewerbe, Handel und Dienstleistungen
GuD	Gas- und Dampfturbinenkraftwerk
GWh	Gigawattstunde
HOV	High-Occupancy-Vehicles
IHK	Industrie- und Handelskammer
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IT	Informationstechnik
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau

KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KVA	Klärschlammverbrennungsanlage
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LHM	Landeshauptstadt München
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
LNG	Liquefied natural gas (Flüssigerdgas)
LPG	Liquefied petroleum gas (Flüssiggas, Autogas)
MFH	Mehrfamilienhaus
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MSE	Münchner Stadtentwässerung
MVV	Münchner Verkehrs- und Tarifverbund
MW	Megawatt
MZR	Motorisiertes Zweirad
NEA	Netzersatzanlagen
NSA	Notstromaggregate
NVP	Nahverkehrsplan
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkm	Personenkilometer
PV	Photovoltaik
RAW	Referat für Arbeit und Wirtschaft der Landeshauptstadt München
RKU	Referat für Klima- und Umweltschutz der Landeshauptstadt München
SGV	Schienengüterverkehr
SPFV	Schienenpersonenfernverkehr
SPNV	Schienenpersonennahverkehr

SSU	Straßenbahn und U-Bahn
SWM	Stadtwerke München
THG	Treibhausgas
UBA	Umweltbundesamt
VBH	Vollbenutzungsstunden
W&D	Wirtschaft und Dienstleistungen
ZustV	Zuständigkeitsverordnung

Zusammenfassung

Die Landeshauptstadt München (LHM) hat sich zum Ziel gesetzt, schon bis zum Jahr 2035 klimaneutral zu werden. Die Stadtverwaltung soll die Klimaneutralität in ihrem eigenen Verantwortungsbereich bereits bis zum Jahr 2030 erreichen. Diese sehr ambitionierten Zielstellungen stehen im Einklang mit den Verpflichtungen Deutschlands im Rahmen des Abkommens von Paris, seinen Beitrag dazu zu leisten, dass die Erhitzung der Erde auf „deutlich unter 2 Grad, möglichst 1,5 Grad“ begrenzt wird.

Im Rahmen des Fachgutachtens Klimaneutralität wurde ein „Zielszenario“ entwickelt, das einen Pfad zur Klimaneutralität für die Landeshauptstadt aufzeigt. Dem Zielszenario wie auch dem Trendszenario liegen die Projektionen der Stadtverwaltung zugrunde, wonach die Bevölkerung und die Wirtschaft in der Stadt weiterhin wachsen werden. Die im Zielszenario getroffenen Annahmen für die erreichbare Einsparung von Energie, den Wechsel zu klimaneutralen Energieträgern und zum Ausbau der erneuerbaren Energien wurden hierbei sehr ambitioniert, aber nicht unrealistisch gewählt. Dies bedeutet, dass die Geschwindigkeit der Transformation hin zu einer klimaneutralen Gesellschaft aus Expertensicht so hoch angesetzt wurde, wie es realistisch noch erreichbar scheint. Dabei wurde berücksichtigt, dass bestimmte Veränderungen, insbesondere im Bereich langlebiger Infrastrukturen wie den Gebäuden im Stadtgebiet, den Verkehrswegen und der Energieversorgung, auch bei einem entschlossenen Handeln aller beteiligten Akteure nicht beliebig schnell vollzogen werden können.

So kann selbst bei einem Anstieg der Sanierungsrate im Gebäudebestand auf das Zweieinhalbfache des bisherigen Wertes von 1 % pro Jahr in den bis zum Jahr 2035 verbleibenden 13 Jahren nur etwa ein Drittel der Gebäude energetisch saniert werden. Noch wesentlich höhere Sanierungsraten erscheinen aufgrund der begrenzten Kapazitäten vor allem im Bauhandwerk, aber auch bei den Planungsberufen und Genehmigungsbehörden selbst im optimistischsten Fall als nicht realisierbar. Ähnliches gilt bei der Weiterentwicklung der Verkehrs- und Energieinfrastruktur, wobei hier auch Zeit für die aufwändigeren Genehmigungsverfahren eingerechnet werden muss. Dabei kann zwar im besten Fall auf eine deutliche Beschleunigung gehofft werden, dennoch muss ausreichend Zeit für die Abwägung von begründeten Einsprüchen und die Untersuchung von Alternativen bleiben.

Für die Entwicklung des Umfelds der Münchner Klimaschutzpolitik wurden relativ optimistische Annahmen getroffen, denn eine rasche Transformation der Stadt zur Klimaneutralität kann nur erfolgreich sein, wenn auch auf Ebene des Freistaats, des Bundes und der Europäischen Union weitgehende Anstrengungen zum Klimaschutz unternommen werden.

Unter dieser Maßgabe wurden ambitionierte Zielszenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Landeshauptstadt für das politisch gesetzte Zieljahr 2035 sowie für einen etwas weiter in der Zukunft liegenden Zeitpunkt entwickelt, der als Jahr 204X bezeichnet wird. Mit diesem bewusst flexibel definierten, zusätzlichen Zeithorizont wird eine Situation beschrieben, in der wichtige Transformationen langlebiger Infrastrukturen weiter vorangeschritten sind als es bis zum Jahr 2035 möglich erscheint und daher die strukturellen Voraussetzungen für eine weitgehende Emissionsreduktion besser gegeben sind. Wie schnell nach 2035 dieses Jahr 204X erreicht werden wird, wird vom Tempo abhängen, das Stadtgesellschaft und Stadtpolitik beim Umbau dieser Infrastrukturen entwickeln. Neben den beiden Zielszenarien wurde auch ein Trendszenario für das Jahr 2035 entwickelt, das die bisher umgesetzten und geplanten Klimaschutzmaßnahmen weiter fortschreibt. Hierzu gehören unter anderem die bereits bestehenden, ambitionierten Planungen der Stadtwerke München (SWM) für eine klimaneutrale Fernwärme bis zum Jahr 2040, vor allem durch den Ausbau der tiefen Geothermie.

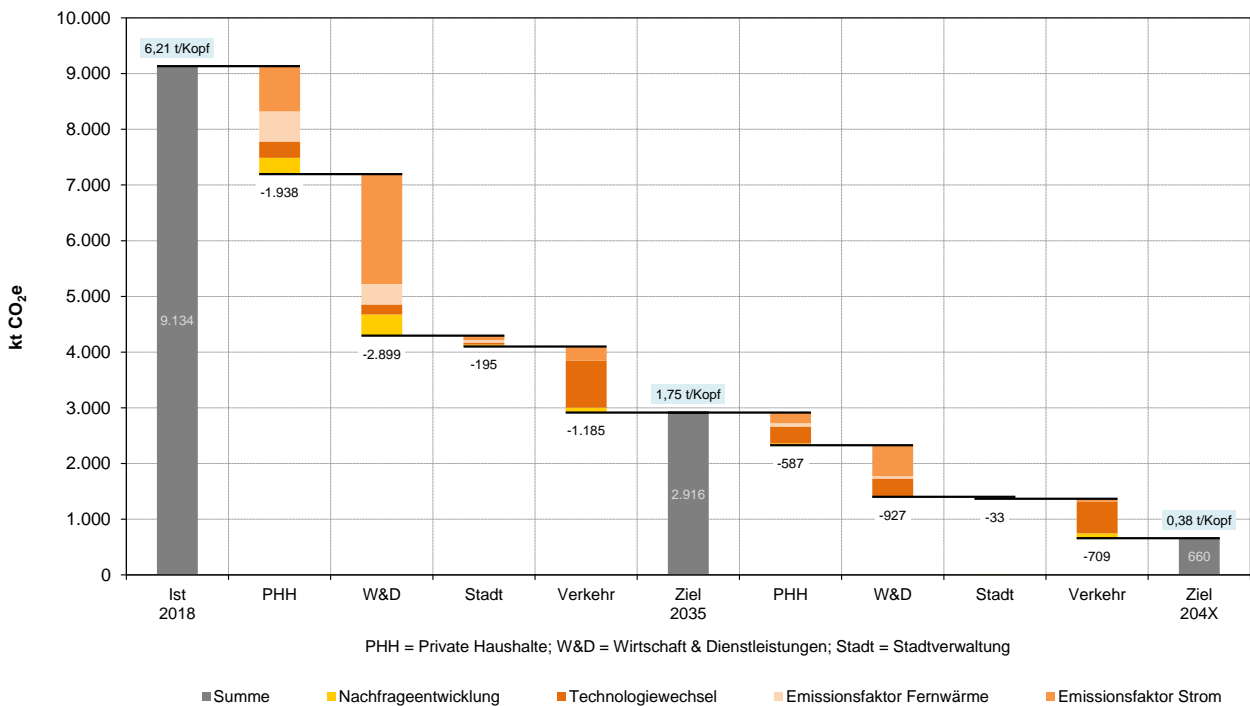
Die Entwicklungen im Zielszenario lassen sich wie folgt zusammenfassend beschreiben:

- Die Bevölkerung wächst bis 2035 um etwa 13 % und bis 2050 um weitere 7 % gegenüber dem Stand von 2018 auf dann gut 1,8 Mio. Personen an. Bis zum Jahr 2050 werden im Stadtgebiet knapp 200.000 zusätzliche Wohnungen gebaut.
- Trotz dieses Wachstums sinkt der gesamte Endenergieverbrauch aufgrund verbesserter Energieeffizienz und des Wechsels auf effizientere Energiewandlungstechnologien bis 2035 um etwa 22 % und bis zum Szenariojahr 204X (hier mit den Werten des Modellierungsjahres 2045 angesetzt) um etwa 36 % gegenüber 2018. Wesentliche Beiträge zu den Effizienzgewinnen leisten der Wechsel von Verbrennungsmotoren zur Elektromobilität im Verkehrssektor, die energetische Sanierung von Gebäuden und effizientere Prozesstechnologien im Bereich von Wirtschaft und Dienstleistungsgewerbe.
- Die Umstellung auf eine klimaneutrale Fernwärme wird vor allem durch den Ausbau der tiefen Geothermie rasch vorangetrieben. Durch die Umstellung der verbleibenden, mit gasförmigen Energieträgern betriebenen Anlagen der SWM auf Wasserstoff im Jahr 2035 verbleiben im Wesentlichen noch die Emissionen aus der Abfallverbrennung und relativ geringe Emissionen aus dem Einsatz von Strom. Der Emissionsfaktor der Fernwärme einschließlich dieser beiden Komponenten sinkt gegenüber 2018 um über 80 % bis 2035 und um 90 % bis 204X.
- Der Stromverbrauch der Stadt steigt aufgrund einer starken Elektrifizierung im Verkehr, der Wärmeerzeugung und weiterer gewerblicher Energieanwendungen an. Dämpfend auf den Stromverbrauch wirken dagegen Effizienzmaßnahmen in den klassischen Bereichen des Stromverbrauchs. Per Saldo steigt der Stromverbrauch im Stadtgebiet bis 2035 um etwa 10 % und bis 204X um etwa 20 % gegenüber dem Stand von 2018 an. Parallel dazu steigt die Nachfrage nach Fernwärme bis 2035 um 23 % und bis 204X um 28 %. Hinzu kommt der Bedarf nach Wasserstoff insbesondere zur Erzeugung von Fernwärme ab dem Jahr 2035. Die benötigte Menge an Wasserstoff entspricht im Jahr 204X knapp 10 % des direkten Stromverbrauchs im Stadtgebiet.
- Der Einsatz fossiler Energieträger wie Erdgas, Heizöl, Benzin und Diesel im Stadtgebiet ist stark rückläufig. Er geht bis 2035 um 57 % und bis 204X sogar um 90 % gegenüber dem Stand von 2018 zurück.
- Als Rahmenparameter für die Szenarien wird angenommen, dass der Anteil der erneuerbaren Energien in der bundesweiten Stromerzeugung wie von der Bundesregierung geplant stark ansteigt. Dementsprechend sinkt der anzurechnende Emissionsfaktor für Strom bis 2035 auf 129 g CO₂e/kWh (ein Rückgang um 78 % gegenüber 2018) und bis 204X auf dann noch 17 g CO₂e/kWh. Der in München benötigte Wasserstoff wird spätestens ab dem Jahr 2040 emissionsfrei auf Basis von zusätzlich erzeugtem, erneuerbarem Strom hergestellt. Hierfür kommen eine Erzeugung in Deutschland oder im europäischen Ausland sowie ein Bezug von einem künftigen globalen Markt für nachhaltig erzeugten Wasserstoff in Frage.

In der nachfolgenden Abbildung 1-1 ist die Entwicklung der Treibhausgasemissionen der LHM im Zielszenario bis zum Jahr 2035 und darüber hinaus bis zum Jahr 204X dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen den wichtigsten Sektoren, die für die Emission von Treibhausgasen im Stadtgebiet verantwortlich sind. Das sind die privaten Haushalte, Wirtschaft und Dienstleistungen sowie der Verkehr. Der Bereich der Stadtverwaltung wird separat dargestellt, da für diesen eine eigene Zielstellung gilt. Wie auch beim Klimaschutz-Monitoring der LHM erfolgt die Bilanzierung der

Emissionen nach den Grundsätzen der bundesweit empfohlenen „Bilanzierungssystematik kommunal (BISKO)“. Dies bedeutet vor allem, dass zur Vermeidung von Doppelzählungen nur die auf dem Territorium der Stadt entstehenden Emissionen erfasst werden und der Stromverbrauch rechnerisch durch den bundesweit angenommenen Erzeugungsmix gedeckt wird. Die lokale Stromerzeugung geht also nicht direkt in die Analyse mit ein. Im Sinne einer Verursacherbilanz werden die Emissionen der Strom- und Wärmeerzeugung den Sektoren des Energieverbrauchs zugeordnet.

Abbildung 1-1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen Münchens im Zielszenario bis 2035 und bis 204X nach Sektoren und Wirkungsbeiträgen



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Das hier ermittelte Emissionsniveau im Basisjahr 2018 liegt um etwa 14 % höher als die Ergebnisse des Treibhausgas-Monitorings der LHM für 2018 (LHM 2022). Dort wurden auf Basis der Software „Klimaschutz-Planer“ Emissionen von 5,4 t CO₂-Äquivalent (CO₂e) pro Kopf der Bevölkerung berechnet. Dies hat mehrere methodische Gründe, die von den Fachgutachter*innen und dem RKU gemeinsam analysiert wurden (siehe dazu Kapitel 4.3.6).

Wie die Abbildung zeigt, ist es im Zielszenario bis zum Jahr 2035 zwar möglich, die Emissionen gegenüber der Ausgangssituation von 2018 um etwa zwei Drittel zu verringern. Dennoch verbleiben voraussichtlich Emissionen von knapp 3 Mio. t CO₂e pro Jahr, was etwa 1,75 Tonnen pro Kopf der Bevölkerung entspricht. Das Ziel einer vollständigen Klimaneutralität oder das vom Stadtrat als Ziel definierte Emissionsniveau von 0,3 Tonnen CO₂e pro Kopf und Jahr kann aller Voraussicht nach bis 2035 durch Maßnahmen auf dem Stadtgebiet Münchens nicht erreicht werden. Das Zielniveau der Pro-Kopf-Emissionen wird jedoch im Zielszenario für das Jahr 204X etwa erreicht.

Falls das gesetzte Ziel bereits 2035 rechnerisch erreicht werden soll, müssten umfangreiche Maßnahmen der Treibhausgas-Kompensation ergriffen werden.

Die Abbildung 1-1 zeigt auch, wie sich die Emissionsreduktionen im Zielszenario auf die vier Sektoren und auf verschiedene Minderungsbeiträge verteilen. Hierzu wurde eine Dekomposition der Beiträge der Entwicklung der Nachfrage in den Sektoren, der Veränderung der eingesetzten Technologien und der Dekarbonisierung der Erzeugung von Fernwärme in München und der bundesweiten Stromerzeugung durchgeführt.

- Sowohl in der Periode bis 2035 wie auch ab dann bis 204X wird die größte Minderung vom Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen (W&D) beigesteuert. Dieser Sektor, zu dem der in München starke Bereich von Gewerbe, Handel und Dienstleistungen ebenso gehört wie die Betriebe der Industrie und die staatlichen Einrichtungen (mit Ausnahme der Stadtverwaltung), hat auch über den gesamten betrachteten Zeitraum hinweg den größten Anteil an den Emissionen der Stadt: im Ausgangsjahr 2018 liegt dieser bei 44 % und sinkt bis 204X auf 35 %.
- Innerhalb des Sektors Wirtschaft und Dienstleistungen stammt der mit Abstand größte Beitrag zur Emissionsminderung aus der Umstellung von fossilen Energien auf Strom und der bis 204X weit vorangeschrittenen Umstellung der bundesweiten Stromerzeugung auf erneuerbare Energien. Die effiziente Nutzung von Energie und die Entwicklung einer klimaneutralen Fernwärme für die Nichtwohngebäude spielen ebenfalls eine relevante Rolle.
- Bis 2035 kommt der zweitgrößte Minderungsbeitrag von den privaten Haushalten, gefolgt vom Sektor Verkehr. Dies korrespondiert mit den Anteilen dieser beiden Sektoren an den Emissionen im Ausgangsjahr 2018 (private Haushalte 31 %, Verkehr 22 %). Nach 2035 ist der Minderungsbeitrag des Verkehrs größer als derjenige der privaten Haushalte.
- Bei den privaten Haushalten führen vor allem die energetische Sanierung der Gebäude und die Umstellung der Heizung auf klimaneutrale Fernwärme oder unmittelbar mit Strom betriebene Wärmepumpen zu Emissionsminderungen. Da für die künftige Beheizung in den Szenarien die Energieträger Fernwärme und Strom eine große Rolle spielen, ist deren Dekarbonisierung vor allem bis 2035 wichtig für die Verminderung der Emissionen. Dazu gehört untrennbar die Verdrängung von Heizungen mit Heizöl und Erdgas durch klimaneutrale Alternativen, die in der Abbildung 1-1 als Technologiewechsel dargestellt ist.
- Im Sektor Verkehr führen vor allem der Wechsel der Antriebstechnologien und die in den Szenarien angenommenen Verschiebungen im Modal Split zu Emissionsminderungen. Aufgrund des zeitlichen Vorlaufs für den erforderlichen Ausbau der Kapazitäten im schienengebundenen Nahverkehr dominiert in der Phase bis 2035 die Wirkung der Umstellung von Verbrennungsmotoren auf die Elektromobilität, die durch viele weitere Maßnahmen zur Stärkung des Umweltverbunds und zur Reduktion der (motorisierten) Verkehrsnachfrage begleitet wird. Zwischen 2035 und 204X kann ein größerer Anteil des Verkehrs auf den ÖPNV verlagert werden. Der Verkehr wird weitgehend elektrifiziert. Dabei hat die starke Reduktion der spezifischen Emissionen der bundesweiten Stromerzeugung bereits bis 2035 einen großen Effekt.
- Deutlich zu sehen ist auch, dass die im Bereich der Stadtverwaltung erzielbaren Minderungen im Vergleich zu den Gesamtemissionen der Stadt relativ gering sind. Dies korrespondiert mit der Ausgangslage im Jahr 2018, in der die Stadtverwaltung einen Anteil von weniger als 3 % der gesamten Emissionen verursacht. Im Vergleich zu den Emissionen im Jahr 2018 wird in der Stadtverwaltung im Zielszenario bis 2030 eine Reduktion um etwa 60 % erreicht, bis 2035 sogar

um mehr als 80 %. Dabei spielen ebenfalls die Effizienz der Gebäude und deren Beheizung mit klimaneutraler Fernwärme oder mit strombetriebenen Wärmepumpen eine große Rolle. Dementsprechend ist der Umbau der Strom- und Fernwärmeerzeugung auch für die Emissionsbilanz der Stadtverwaltung von hoher Bedeutung. Das Zielszenario beschreibt für die Stadtverwaltung eine sehr ambitionierte Entwicklung, dennoch wird die Klimaneutralität der kommunalen Einrichtungen nicht so schnell erreicht wie beabsichtigt.

Die in diesem Bericht entwickelten Zielszenarien zeigen, dass die sehr anspruchsvollen Ziele einer Klimaneutralität der Gesamtstadt bis 2035 und der Stadtverwaltung bereits bis 2030 mit Maßnahmen der Energieeinsparung und der Umstellung auf erneuerbare Energien voraussichtlich nicht so schnell wie angestrebt erreichbar sind. Dennoch ist es sehr wichtig, dass die Emissionen in allen relevanten Sektoren so schnell wie möglich reduziert werden. Zu beachten ist dabei, dass für die Zielstellung des Klimaschutzabkommens von Paris eine Minimierung der in den kommenden Jahrzehnten insgesamt ausgestoßenen Treibhausgase wichtiger ist als das konkrete Jahr, in dem der Zustand der Klimaneutralität erreicht wird (sog. Budgetansatz). Daher sollte die Stadt an ihren ambitionierten Zielen festhalten und ihre Emissionen durch entschlossenes Handeln schnell reduzieren. Ob und in welchem Umfang zusätzlich auch Maßnahmen der Treibhausgaskompensation durch die Stadt selbst oder durch einzelne Akteure der Stadtgesellschaft ergriffen werden, um die Ziele zumindest rechnerisch zu erreichen, kann unabhängig hiervon entschieden werden.

Der Fokus sollte also auf Maßnahmen zur zügigen Verringerung der Emissionen der Stadt liegen. Dabei sollten auch diejenigen Emissionen mit adressiert werden, die außerhalb des Stadtgebiets anfallen und in den Szenarien aufgrund des verwendeten Bilanzierungsansatzes nicht abgebildet werden. Hierzu gehören vor allem die indirekten Emissionen aus den Bereichen Ernährung und Konsum, die Reisen der Münchnerinnen und Münchner außerhalb des Stadtgebiets, einschließlich der Flugreisen, und die „grauen Emissionen“ durch die Produktion der in die Stadt eingeführten Güter und Vorleistungen (z.B. Baumaterialien). Auch wenn sich entsprechende Minderungsmaßnahmen nicht in der territorial geprägten Treibhausgasbilanz niederschlagen, sollten sie dennoch Teil des städtischen Maßnahmenprogramms sein, denn München hat eine Mitverantwortung für diese, an anderen Orten entstehenden Emissionen. Ebenso sollte der Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugung im Stadtgebiet, vor allem der Photovoltaik, zügig vorangetrieben werden, auch wenn sich dies ebenfalls nicht unmittelbar in der kommunalen Treibhausgasbilanz niederschlägt.

Die in diesem Bericht dargestellten Szenarien wurden zwischen Mai und September 2021 entwickelt. Die Annahmen im Wärmesektor basieren auf der Wärmestudie für München (FfE, Öko-Institut 2021). Als Basis der Analysen wurden im Wesentlichen die Daten des Jahres 2018 verwendet. Die jüngsten Entwicklungen seit dem Februar 2022 konnten in den Szenarien nicht berücksichtigt werden.

1 Herausforderung Klimaneutralität 2035

Seit dem vorindustriellen Niveau sind die globalen Durchschnittstemperaturen bereits um etwa 1,1 Grad Celsius angestiegen (IPCC 2021). Im Klimaschutzabkommen von Paris hat sich die Weltgemeinschaft verpflichtet, die Erhitzung der Erde auf „deutlich unter 2 Grad, möglichst 1,5 Grad“ zu begrenzen. Dieses Ziel muss eingehalten werden, um die bereits eingetretenen Schäden des Temperaturanstiegs zu begrenzen und die Lebensgrundlagen für Menschen und Natur zu erhalten. Angesichts der in den vergangenen Jahren weiterhin angestiegenen globalen Treibhausgasemissionen und der langen Wirksamkeit der Treibhausgase (THG) in der Atmosphäre wird eine drastische Reduktion der Emissionen vor allem in den wohlhabenden Industrieländern des globalen Nordens immer dringlicher.

Auch wenn im Jahr 2020 vor allem aufgrund der wirtschaftlichen Effekte der Corona-Pandemie in Deutschland ein weiterer Rückgang der Emissionen erreicht wurde, droht ohne eine entschlossene Klimaschutzpolitik eine weitere Verschärfung der globalen Emissionsentwicklung. Zugleich bieten die in der Folge der Pandemie aufgelegten Programme zur Stützung der Wirtschaft eine große Chance, Infrastrukturen so zu verändern, dass sie eine klimaneutrale und nachhaltige Zukunft unterstützen können.

Um die von der Klimaforschung abgeschätzten Emissionsbudgets einzuhalten, die im Rahmen des Ziels von Paris voraussichtlich noch in die Atmosphäre gelangen dürfen, müssen die THG-Emissionen schnell gesenkt und in einer Nettobetrachtung auf null gebracht werden. Aus den vorliegenden Szenarioanalysen ist bekannt, dass in bestimmten Bereichen wie der Landwirtschaft voraussichtlich Restemissionen verbleiben werden, die durch negative Emissionen ausgeglichen werden müssen, um netto klimaneutral zu sein.

Der Stadtrat der Landeshauptstadt München (LHM) hat diese Herausforderung angenommen und beschlossen, dass das bisher für 2050 festgelegte Ziel der Klimaneutralität auf das Jahr 2035 vorgezogen werden soll. Das Fachgutachten Klimaneutralität 2035 untersucht, mit welchen Maßnahmen dieses Ziel möglichst erreicht werden soll. Entsprechend den Empfehlungen des Vorläufer-Gutachtens wurde Klimaneutralität als Einhaltung einer Grenze von 0,3 Tonnen CO₂-Äquivalenten für die energiebedingten Emissionen pro Kopf der Bevölkerung und Jahr festgelegt. Grundlage für die Bilanzierung dieser Emissionen ist die „Bilanzierungssystematik kommunal (BISKO)“, die u. a. für das Umweltbundesamt entwickelt wurde und auch für die Münchner Treibhausgasbilanzierung angewendet wird (ifeu 2019).

Diese sehr ambitionierte Zielstellung entspricht etwa den Anforderungen, die sich aus dem Klimaziel des Vertrags von Paris für die Industrieländer bei einer gleichmäßigen Verteilung der verbleibenden Emissionsbudgets pro Kopf der Weltbevölkerung ergeben. Ob und wie schnell dieses Ziel erreicht werden kann, hängt wesentlich davon ab, wie schnell die erforderlichen Veränderungsprozesse in München umgesetzt werden können und welche Rahmenbedingungen für das kommunale Handeln in den nächsten Monaten und Jahren seitens des Bundes, der EU und des Freistaats gesetzt werden.

Dieser Bericht stellt verschiedene Szenarien für den künftigen Verlauf der Treibhausgas-Emissionen der LHM vor. Das Kapitel 2 beschreibt die Struktur der Szenarien und die Rahmenannahmen für deren Entwicklung. Kapitel 3 stellt die Annahmen in den einzelnen Sektoren und den sich hieraus jeweils ergebenden sektoralen Energieverbrauch dar. In den Kapiteln 4 und 5 werden die Ergebnisse des Trend- und des Zielszenarios diskutiert. Kapitel 6 fasst die wesentlichen Veränderungen zu den

Szenarien des Fachgutachtens 2017 zusammen und Kapitel 7 gibt einen Ausblick. In Kapitel 9 finden sich zusammenfassende Tabellen der Ergebnisse der Szenarien.

2 Struktur und Rahmenannahmen für die Szenarien

2.1 Struktur und Methodik der Szenarien

Die LHM hat ihr Ziel der Klimaneutralität auf das Jahr 2035 datiert. Dies soll in den Szenarien aufgenommen werden. Zudem sollen die Szenarien auch die längerfristigen Effekte der Transformation langlebiger Infrastrukturen wie Gebäude, Energienetze und Verkehrswege abbilden, die auch bei sehr ambitionierten Annahmen nicht bis 2035 abgeschlossen sein kann. Daher wurden im Rahmen des Fachgutachtens drei Szenarien ausgearbeitet:

- **Trendszenario 2035** mit einer Beschreibung der bis zu diesem Jahr erwartbaren Entwicklungen im Fall, dass gegenüber den bisher absehbaren Entwicklungen keine wesentliche Veränderung eintritt und insbesondere keine weiter verstärkten Ambitionen beim Klimaschutz umgesetzt werden.
- **Zielszenario 2035** mit einer Beschreibung der unter sehr optimistischen Annahmen und bei Umsetzung sehr weitgehender Maßnahmen als möglich erachteten Entwicklung bis zum definierten Zieljahr für die Klimaneutralität der Landeshauptstadt.
- **Zielszenario 204X** mit einer Erweiterung des Zeithorizonts auf einen Zeitpunkt, bis zu dem die für die Klimaneutralität erforderliche Transformation langlebiger Infrastrukturen weiter vorangeschritten ist. Dabei wird bewusst kein konkretes Jahr angesetzt, da es an der Ambition der Akteure in München und der Veränderung der erforderlichen Rahmenbedingungen vor allem durch den Bund liegen wird, wie schnell die erforderlichen Veränderungen bei Gebäuden, der Energieversorgung und den Verkehrsinfrastrukturen realisiert werden können.

Grundlage der Szenarioberechnung waren Daten des kommunalen Treibhausgas-Monitorings für das Jahr 2018. In Bezug auf die Nachfrage nach Wärme in Gebäuden und deren künftige Deckung basieren die Szenarien auf den Ergebnissen der von den Stadtwerken München (SWM) in Kooperation mit der Landeshauptstadt in Auftrag gegebenen Wärmestudie für München (FfE, Öko-Institut 2021). Diese Studie wurde auf Basis von Daten des Jahres 2017 entwickelt.

Die Bearbeitung der Szenarien erfolgte in den verschiedenen Sektoren des Energieverbrauchs mit unterschiedlicher Methodik. Aus diesem Grund ist es für die stationären Sektoren (Wärme, private Haushalte, Stadtverwaltung sowie Wirtschaft und Dienstleistung) möglich, die Ergebnisse der Szenarien in zeitlichen Schritten von fünf Jahren bis zum Jahr 2050 darzustellen. Im Verkehrssektor wurden dagegen die drei vorstehend genannten Szenarien mit konkretem Bezug auf jeweils ein Jahr separat modelliert. Daher können die Ergebnisse für den Sektor Verkehr und für die Gesamtbetrachtung über alle Sektoren hinweg ausschließlich in den drei Szenarien „Trend 2035“, „Ziel 2035“ und „Ziel 204X“ dargestellt werden. Für die stationären Sektoren im Zielszenario 204X wurden die Daten des Szenariomodells für 2045 verwendet.

Die Abdeckung der Szenarien orientiert sich an den Emissionsbereichen, die entsprechend der „Bilanzierungssystematik kommunal (BISKO)“ in kommunale Treibhausgasbilanzen aufgenommen werden sollen (ifeu 2019). Daher werden hier lediglich die Emissionen erfasst, die beim Einsatz von

Energie auf dem Territorium der Stadt entstehen. Wie im BSKO-Standard empfohlen, werden bei der Erzeugung von Strom die in einem geeigneten Szenario erwarteten durchschnittlichen Emissionen der bundesweiten Stromerzeugung herangezogen, und nicht etwa die lokale Stromerzeugung vor Ort. Die Emissionen der vom Standort des Heizkraftwerks Nord bezogenen Fernwärme werden ebenfalls der Stadt zugeordnet. Die Darstellung der Ergebnisse bezieht sich auf alle Treibhausgase und wird in CO₂-Äquivalenten ausgedrückt.

Aufgrund der Anlehnung an den BSKO-Standard bleiben in den Szenarien indirekte Emissionen z. B. aus dem Verbrauch von Lebensmitteln und Konsumgütern sowie grauen Emissionen unberücksichtigt. Der wesentliche Grund hierfür ist die Vermeidung von Doppelzählungen, denn solche Güter werden in anderen Kommunen oder anderen Ländern hergestellt und die Emissionen dort bilanziert. Zudem liegen auf kommunaler Ebene oft keine oder nur unvollständige Daten über diese Emissionsbereiche vor.

Im Sektor Verkehr folgt die Bilanzierung dem Territorialprinzip, d. h. es werden alle Energieverbräuche erfasst, die auf dem Stadtgebiet stattfinden. Demnach sind sowohl Reisen der Münchnerinnen und Münchner außerhalb des Stadtgebiets (incl. Flugreisen) nicht enthalten, dafür werden auch die Emissionen von Durchreisenden und die des Güterverkehrs durch München erfasst, incl. der auf dem Stadtgebiet verlaufenden Teile von Autobahnen und Bundesstraßen.

Nachrichtlich werden auch die Treibhausgasemissionen der Stadt bei Anwendung eines Territorialmixes für Strom ausgewiesen, in dem die lokale Stromerzeugung berücksichtigt ist.

2.2 Rahmenannahmen für die Entwicklung in München

Entwicklung der Bevölkerung in München

Das Referat für Stadtplanung und Bauordnung der Landeshauptstadt München prognostiziert in seinem Demografiebericht (LHM 2021c; LHM 2021b) für München eine Zunahme der Bevölkerung mit Haupt- oder Nebenwohnsitz in der LHM bis 2035 von +13 % gegenüber 2018 auf 1,79 Mio. und bis 2040 auf 1,85 Mio. (+18 % gegenüber 2018). Unter Berücksichtigung der ab 2030 leicht rückläufigen Bevölkerungsentwicklung in der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung für Bayern für die Jahre 2040 bis 2050 (Destatis 2019) wurde von den Fachgutachter*innen eine Wohnbevölkerung mit Hauptwohnsitz in der LHM von 1,67 Mio. in 2035 und 1,73 Mio. in 2045 abgeschätzt.

Die Einwohnerentwicklung findet laut Auswertung des LHM-Verkehrsmodells regional differenziert statt. Die stärkeren Einwohnerzunahmen sind in den Randbezirken zu verorten. Die mit Abstand größten Zunahmen finden in den großen Neubaugebieten der LHM statt, vor allem in Freiham, außerdem in Ludwigsfeld, Daglfing (Entwicklungsgebiet Nordost) und Trudering-Riem. Für die Berechnung des Verkehrsaufkommens wurden die jeweiligen Zensusdaten der umliegenden Landkreise sowie die restlichen Landkreise in Deutschland mit den prognostizierten Einwohnerzahlen der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung (Länder, Variante 2) fortgeschrieben.

Anzahl der Haushalte in München

Die Zahl der Privathaushalte in München wird auch in den kommenden Dekaden weiter ansteigen. Es wird allerdings angenommen, dass sich der Anstieg über die Jahre bis 2050 abschwächen wird

(vgl. Tabelle 2-1). Die Basis der angenommenen Entwicklung der Haushalte sind die vorstehend genannten Annahmen zur Entwicklung der Bevölkerung sowie die Prognose der Münchner Privathaushalte bis 2030 (LHM 2015), korrigiert auf die tatsächliche Anzahl der Hauptwohnsitze nach Statistisches Amt München (2021). Zudem wird davon ausgegangen, dass sich die Zuwachsrate der privaten Haushalte ab 2035 weiter abschwächt, angelehnt an den Trend, der schon in der Prognose der Münchner Privathaushalte für die Dekade bis 2030 projiziert wird.

Tabelle 2-1: Angenommene Entwicklung der Haushalte in München (Basis: Hauptwohnsitze)

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Anzahl Privathaushalte	825.847	862.405	884.915	903.498	918.858	931.722	942.902

Quelle: Öko-Institut, eigene Annahmen auf Basis von Statistisches Amt München (2021) und LHM (2015)

Wirtschaftsentwicklung in München

Für die Wirtschaftsentwicklung wurde angenommen, dass das BIP pro Kopf in München bis in die 2040er Jahre weiterhin zunimmt und das Wachstum jeweils deutlich über jenem für Deutschland liegt, wie dies laut Münchner Jahreswirtschaftsbericht 2020 (RAW 2020) auch schon in der Vergangenheit der Fall war. Insgesamt wird von einer langfristig wachsenden Wirtschaftsentwicklung in München und Deutschland ausgegangen. Die durch die Corona-Pandemie hervorgerufene negative Wirtschaftsentwicklung im Jahr 2020 wird durch Nachholeffekte in den Folgejahren aufgefangen, so dass für die Szenarienberechnung von folgenden BIP-Wachstumsraten pro Jahr ausgegangen wurde:

Tabelle 2-2: Annahmen in den Szenarien zur Wirtschaftsentwicklung in München

Wachstum BIP pro Jahr	2019 bis 2030	2030 bis 2050
Deutschland	+1,0 %	+1,1 %
München	+1,5 %	+1,6 %

Quelle: Intraplan interne Wirtschaftsprognose für Deutschland und München (Intraplan Consult 2021), basierend auf Wirtschaftsprognosen von ifo, HWWI, IWH, Prognos, OECD und anderen

2.3 Rahmenannahmen für die Entwicklung des Umfelds

Der Erfolg einer kommunalen Klimaschutzpolitik hängt wesentlich von Rahmensetzungen auf den Ebenen von Freistaat, Bund und EU ab. Das ambitionierte Ziel einer Klimaneutralität kann ohne entsprechende Unterstützung nicht allein aus kommunaler Kraft gelingen. Für die Umsetzung des Zielszenarios ist es erforderlich, dass vor allem auf Bundesebene die derzeit bestehenden rechtlichen Hemmnisse für ambitionierten Klimaschutz beseitigt werden und zugleich durch gut ausgestattete Förderprogramme und ordnungsrechtliche Vorgaben sowie eine Reform von Steuern, Abgaben und Umlagen vor allem im Bereich der Energieträger die Voraussetzungen für den Erfolg einer stringenten kommunalen Klimapolitik geschaffen werden.

Die energiewirtschaftlichen Eckdaten wie die Entwicklung der spezifischen Emissionen der Stromerzeugung auf Bundesebene wurden für beide Szenarien einheitlich angenommen. Entsprechende Informationen finden sich in den nachfolgenden Kapiteln.

3 Entwicklung des Energieverbrauchs

Die nachfolgenden Kapitel stellen den im Trend- und im Zielszenario erwarteten Endenergieverbrauch in den Sektoren Gebäudewärme, private Haushalte, Stadtverwaltung, Wirtschaft und Dienstleistungen sowie Verkehr dar.

Um eine bessere Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, sind die Verbräuche von gasförmigen Energieträgern wie auch aller anderer Energieträger mit Bezug auf den unteren Heizwert dargestellt.

3.1 Gebäudewärme

Dieser Sektor umfasst den Wärmeverbrauch sämtlicher Gebäude im Stadtgebiet Münchens. Dabei geht es um die Wohngebäude ebenso wie um die nicht für Wohnzwecke genutzten Gebäude (Nichtwohngebäude). Dementsprechend sind die Wärmeverbräuche der Nichtwohngebäude des Sektors Wirtschaft und Dienstleistung hier dargestellt, während das unten folgende Kapitel 3.4 alle anderen Energieverbräuche von Wirtschaft und Dienstleistung abdeckt.

Da für die Stadtverwaltung eigene Ziele für die Minderung der Treibhausgase definiert wurden, wird der Wärmeverbrauch der von der Stadt genutzten Gebäude in Kapitel 3.3 erfasst, er ist in den Ausführungen des Kapitels 3.1 daher nicht enthalten.

3.1.1 Allgemeine Annahmen

Das Szenario für den Wärmesektor Münchens baut auf den Ergebnissen der Wärmestudie für München auf, die parallel zum Fachgutachten bearbeitet wurde (FfE, Öko-Institut 2021). Nachfolgend werden nur die wichtigsten Annahmen zusammengefasst, für Details wird auf diese Studie verwiesen.

- Für das **Trendszenario** des vorliegenden Berichts wurde das in der Wärmestudie München entwickelte Referenzszenario übernommen. Dieses zeichnet sich durch einen nur moderaten Anstieg der energetischen Sanierungsraten und -tiefen der Gebäude aus. Bei den Heizungstechnologien werden im Gebäudebestand relativ geringe Wechselraten zur Fernwärme und zu Wärmepumpen unterstellt. Neue Heizkessel werden nicht mehr eingesetzt. Somit wird ein Großteil der abgängigen Heizungen durch moderne Erdgaskessel ersetzt. Neubauten werden ab dem Jahr 2025 im Standard des KfW-Effizienzhauses 55 errichtet. Im Bereich der Fernwärmeerzeugung ist das Trendszenario bereits durchaus ambitioniert, denn es enthält alle bisherigen Planungen der SWM zum Ausbau der tiefen Geothermie im Rahmen der Fernwärmevision 2040. Die Erzeugungsleistung der Geothermie wird von den bis Ende des Jahres 2021 erwarteten 90 MW_{th} bis zum Jahr 2035 auf ca. 375 MW_{th} ausgeweitet. Die Kraft-Wärme-Kopplung wird nach der geplanten Stilllegung des Kohle-Heizkraftwerks ausschließlich mit Erdgas betrieben.
- Für das **Zielszenario** des vorliegenden Berichts wurde das Szenario „Fokus Fernwärme“ der Wärmestudie übernommen. Hier wurde eine deutlich ansteigende Sanierungsrate unterstellt, die ab 2030 bei über 2 % p.a. liegt und nach 2035 noch weiter ansteigt. Ein wesentlicher Grund für

den schrittweisen Anstieg ist, dass die personellen Kapazitäten bei ausführenden Firmen und Planenden beschränkt sind und erst weiter ausgebaut werden müssen, bevor hohe Sanierungsraten möglich erscheinen. Unter diesen ambitionierten Annahmen können bis 2035 etwa 25 % der Gebäude saniert werden, bis 2050 über 60 %. Zugleich wird die Sanierungstiefe deutlich ambitionierter als im Trendszenario angesetzt: Im Durchschnitt über alle sanierten Gebäude mit Ausnahme der denkmalgeschützten Objekte wird ab 2025 der Standard des KfW-Effizienzhauses 70 erreicht, bei Ein- und Zweifamilienhäusern ab 2030 der Standard KfW-55. Um den Wärmeverbrauch außerhalb der mit Fernwärme versorgten Gebäude möglichst rasch zu senken, werden in diesen Gebieten auch für Mehrfamilienhäuser besonders ambitionierte Sanierungen durchgeführt, so dass bereits ab 2025 im Durchschnitt der KfW-55-Standard erreicht wird. Neubauten außerhalb des Fernwärmegebiets werden im Zielszenario ab dem Jahr 2023 im Standard KfW-40 errichtet. Ab dem Jahr 2030 erfolgen alle Neubauten als Passivhäuser.

Die Fernwärme wird im Zielszenario deutlich verdichtet und auch in weitere Gebiete der Stadt mit hohen Wärmedichten ausgebaut. Zusammen mit der verstärkten energetischen Sanierung außerhalb der Fernwärmegebiete wird so erreicht, dass der Anteil der Fernwärme an der Deckung der gesamten Wärmenachfrage der Stadt von derzeit etwa 35 % bis 2035 auf 50 % und bis 2050 auf über 70 % ansteigt. Zugleich wird die Fernwärmeerzeugung (mit Ausnahme verbleibender Emissionen aus der Abfallverbrennung) bis 2035 nahezu und etwa ab 2040 vollständig klimaneutral realisiert. Hierzu gehört ein weiter verstärkter Ausbau der tiefen Geothermie auf eine Leistung von ca. 580 MW_{th} sowie die Errichtung von Wärmepumpen und Power-to-Heat-Kesseln und Heizkraftwerken zur Nutzung von regional anfallenden Holzhackschnitzeln. Eine wichtige Maßnahme im Zielszenario ist die Umstellung der bisher mit Erdgas betriebenen Heizkraftwerke und Heizwerke der Fernwärmeerzeugung auf Wasserstoff ab dem Jahr 2035.

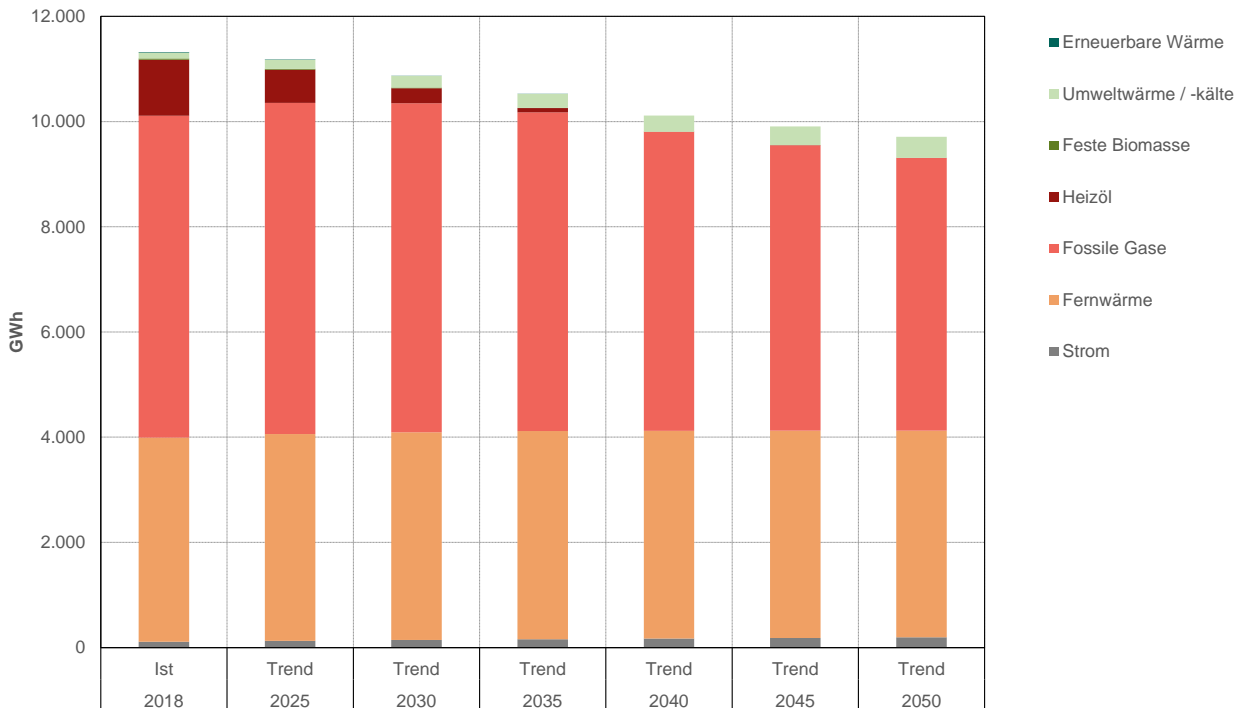
Im dezentral versorgten Bereich der Stadt werden sanierte Gebäude vorwiegend mit Wärmepumpen ausgestattet. Falls Heizungsanlagen ersetzt werden müssen, bevor eine energetische Sanierung des Objekts möglich ist, werden nach Bedarf übergangsweise Hybrid-Heizungen eingesetzt, die aus einer Wärmepumpe und einem mit Gas betriebenen Spitzenlast-Kessel bestehen.

An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die neueren Entwicklungen seit dem Februar 2022 in den hier dargestellten Szenarien nicht mehr berücksichtigt werden konnten.

3.1.2 Entwicklungen im Trendszenario

Abbildung 3-1 zeigt die Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Trendszenario für alle Gebäude in München aufgeteilt nach Energieträgern. Neben einem moderaten Rückgang des gesamten Endenergieverbrauchs infolge von Effizienzanstrengungen sind folgende Trends offensichtlich: ein nur langsamer Rückgang der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas sowie ein schwacher Anstieg der Nutzung von Umweltwärme durch strombetriebene Wärmepumpen. Gleichzeitig bleiben die absoluten Beiträge der Fernwärme am Endenergieverbrauch nahezu konstant – relativ gesehen steigt der Fernwärme-Anteil leicht an.

Abbildung 3-1: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aller Gebäude für Wärme im Trendszenario nach Energieträgern



Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021)

Vom Ausgangsjahr 2018 bis zum Jahr 2050 reduziert sich der Endenergieverbrauch der Gebäudewärme (ohne Stadtverwaltung) insgesamt um rund 1.600 GWh, was einem Rückgang um 14 % entspricht. Im Jahr 2035 liegt der Endenergieverbrauch um 7 % unterhalb des Werts von 2018.

Die eingesetzte Menge an Erdgas reduziert sich nur moderat von etwa 6.100 GWh auf rund 5.200 GWh im Jahr 2050 und macht dann immer noch mehr als 50 % des Endenergieverbrauchs aus. Der Einsatz von Heizöl lag 2018 noch bei fast 1.100 GWh, wird aber ab 2040 keine nennenswerte Bedeutung mehr haben.

Die Nutzung der Umweltwärme durch dezentrale Wärmepumpen steigt von 110 GWh im Jahr 2018 auf 260 GWh im Jahr 2035 und schließlich etwa 400 GWh im Jahr 2050 an. Korrespondierend hiermit steigt der Einsatz von Strom in der Raumwärme leicht auf 160 GWh in 2035 bzw. 195 GWh im Jahr 2050.

Die Nutzung von Fernwärme bleibt zwischen 2018 und 2050 in absoluten Werten etwa konstant bei ca. 3.900 GWh pro Jahr. Relativ gesehen steigt ihr Anteil leicht von 34 % im Ausgangsjahr auf 41 % bis 2050 an. Der weitere Fernwärmeausbau kann also den zurückgehenden Fernwärme-Absatz in besser sanierten Gebäuden etwa kompensieren.

Während die vorstehend genannten Werte für eine bessere Lesbarkeit leicht gerundet sind, zeigt die nachfolgende Tabelle die exakten Werte im Trendszenario.

Tabelle 3-1: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aller Gebäude für Wärme im Trendszenario nach Energieträgern

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Trend					
GWh							
Strom	110	129	144	157	170	182	194
Fernwärme	3.880	3.930	3.949	3.960	3.951	3.942	3.930
Fossile Gase	6.122	6.297	6.256	6.058	5.684	5.426	5.184
Heizöl	1.065	630	286	81	3	2	1
Feste Biomasse	25	19	12	6	0	0	0
Umweltwärme / -kälte	111	171	219	264	309	356	403
Erneuerbare Wärme	11	8	6	3	0	0	0
Summe	11.323	11.184	10.872	10.528	10.116	9.909	9.713

Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021)

3.1.3 Entwicklungen im Zielszenario

Für das Zielszenario zeigt Abbildung 3-2 die Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern für alle Gebäude in München. Neben einem deutlichen Rückgang des gesamten Endenergieverbrauchs infolge von verstärkten Effizienzanstrengungen stehen im Zielszenario folgende Trends heraus: ein wesentlich stärkerer Rückgang der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas im Vergleich zum Trendszenario, ein deutlich ansteigender Beitrag der Fernwärme und ein verstärkter Anstieg der Umweltwärme.

Abbildung 3-2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aller Gebäude für Wärme im Zielszenario nach Energieträgern



Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021)

Vom Ausgangsjahr 2018 reduziert sich der Endenergieverbrauch der Gebäudewärme bis zum Jahr 2035 insgesamt um etwa 18 % und bis zum Jahr 2050 um knapp 37 %.

Der Anteil von Erdgas fällt von knapp 54 % im Jahr 2018 auf 32 % in 2035. Im Jahr 2050 wird Erdgas als Endenergieträger so gut wie nicht mehr genutzt. Heizöl leistet auch im Zielszenario ab 2040 keinen nennenswerten Beitrag mehr zum Endenergieverbrauch.

Die Nutzung der Fernwärme steigt hingegen aufgrund einer ambitionierten Verdichtungs- und Ausbaustrategie von 3.900 GWh im Jahr 2018 auf 4.900 GWh im Jahr 2035 und 5.300 GWh im Jahr 2050 deutlich an. Damit steigt der Fernwärmeanteil im Wärmemarkt auf 53 % im Jahr 2035 und knapp 74 % im Jahr 2050.

Die Nutzung der Umweltwärme durch dezentrale Wärmepumpen steigt im Zielszenario bis zum Jahr 2035 auf ca. 930 GWh und bis 2050 auf ca. 1.350 GWh. Parallel dazu steigt auch der Anteil von Strom am Endenergieverbrauch für Gebäudewärme moderat von ca. 1 % im Jahr 2018 auf ca. 7 % im Jahr 2050.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Daten des Zielszenarios im Detail.

Tabelle 3-2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs aller Gebäude für Wärme im Zielszenario nach Energieträgern

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist				Ziel		
	GWh						
Strom	110	160	291	387	429	458	499
Fernwärme	3.880	4.120	4.563	4.890	5.038	5.143	5.282
Fossile Gase	6.122	5.720	4.339	3.014	1.899	1.036	64
Heizöl	1.065	553	223	57	2	1	0
Feste Biomasse	25	19	12	6	0	0	0
Umweltwärme / -kälte	111	265	640	931	1.080	1.189	1.334
Erneuerbare Wärme	11	8	6	3	0	0	0
Summe	11.323	10.844	10.075	9.288	8.449	7.827	7.178

Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021)

Die Abbildung 3-3 zeigt den Endenergieverbrauch der Gebäudewärme für beide Szenarien nach Sektoren aufgeteilt. Infolge der höheren Sanierungsaktivitäten im Zielszenario sinkt darin der Endenergieverbrauch deutlich stärker als im Trendszenario. Die Senkung des Endenergieverbrauchs schreitet in den beiden Sektoren Haushalte und Wirtschaft und Dienstleistungen relativ gesehen gleichermaßen voran.

Abbildung 3-3: Vergleich des Trend- und Zielszenarios beim Endenergieverbrauch der Gebäudewärme aufgeteilt nach Sektoren



Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021)

3.2 Private Haushalte

In diesem Abschnitt wird der Energieverbrauch der privaten Haushalte jenseits des Wärmeverbrauchs der Wohngebäude beschrieben. Dabei handelt es sich um den Verbrauch an Strom für verschiedene Anwendungen sowie von Gas als Energieträger zum Kochen. Der Energieverbrauch für die Trinkwarmwasserbereitung gehört dagegen zum Wärmeverbrauch der Gebäude. Nicht enthalten ist zudem der Stromverbrauch der Elektromobilität, auch wenn die Fahrzeuge teilweise zuhause aufgeladen werden. Dieser Bedarf wird im Kapitel Verkehr berücksichtigt.

3.2.1 Allgemeine Annahmen

Zur Abbildung des Stromverbrauchs der privaten Haushalte in den Szenarien ab 2020 wurde zunächst der typische Bestand an Stromverbrauchern in Haushalten in Deutschland mit den spezifischen Verbräuchen der verschiedenen Geräte verschnitten und mit der Haushaltsanzahl der LHM multipliziert (vgl. Kapitel 2.2). Nicht enthalten ist hier der Strom, der in Wärmeanwendungen zum Heizen (vor allem über Wärmepumpen und Nachtspeicheröfen) verwendet wird. Dieser wird in Kapitel 3.1 betrachtet. Der Bedarf für Kochgas wurde analog nach der gleichen Methodik ermittelt.

Folgende Annahmen und Datenquellen wurden verwendet:

- Die Basis der Berechnungen ist die **Geräteausstattung** in Haushalten deutschlandweit (Anzahl Geräte pro Haushalt) aus dem Projektionsbericht der Bundesregierung für 2019 (BReg 2019).

Dies beinhaltet große elektrische Haushaltsgeräte wie z. B. Waschmaschinen, IKT-Endgeräte wie z. B. Fernseher und auch die Beleuchtung. Die Fortschreibung der Geräteausstattung aus dem Projektionsbericht reicht allerdings nur bis 2035. Deshalb wurde für die Jahre danach der Trend des vorherliegenden Fünfjahresabschnitts fortgeschrieben und mit dem Faktor 0,9 multipliziert, um eine leichte Abschwächung der Zunahme abzubilden.

- Für das Trendszenario werden bis 2035 die **durchschnittlichen Verbräuche** der Geräte ebenfalls aus dem Projektionsbericht 2019 verwendet. Ab dem Jahr 2040 wird angenommen, dass diese nochmals sinken, und zwar wird der Trend des vorhergehenden Fünfjahresabschnitts fortgeschrieben und wiederum mit dem Faktor 0,9 multipliziert.
- Im Zielszenario werden die spezifischen Energieverbräuche aller Geräte ab 2025 pauschal um 10 % abgesenkt (**Effizienz-Faktor**). Zudem wird bei der Geräteausstattung gegenüber dem Trendszenario ein **Suffizienz-Faktor** eingeführt, so dass ab 2025 im Zielszenario 1 % weniger Geräte verwendet werden als im Trendszenario. Dieser Suffizienz-Faktor steigt 2030 auf 2 % an und danach linear auf 6 % im Jahr 2040 und schließlich 10 % im Jahr 2050. Das bedeutet, dass im Jahr 2050 10 % weniger Geräte als im Trendszenario eingesetzt werden.
- Die Annahmen zur Entwicklung der Haushaltszahlen in der LHM bis 2050 wurden in Kapitel 2.2 beschrieben.

3.2.2 Entwicklungen im Trendszenario

Im Ergebnis für das Trendszenario steigt der Stromverbrauch der privaten Haushalte zwischen den Jahren 2018 und 2035 um 150 GWh und bis 2050 um weitere 80 GWh pro Jahr an, was einer Zunahme von etwa 14 % bis 2050 entspricht (vgl. Tabelle 3-3). Der spezifische Stromverbrauch je Haushalt bleibt über den betrachteten Zeitraum mit etwa 2.000 kWh nahezu konstant. Das Wachstum des Stromverbrauchs wird durch den angenommenen Anstieg der Zahl der privaten Haushalte in der LHM verursacht. Die Tabelle 3-3 stellt zudem den angenommenen kontinuierlichen Rückgang des Erdgasverbrauchs beim Kochen dar.

Tabelle 3-3: Entwicklung des Stromverbrauchs (ohne Strom für Gebäudewärme) sowie des Gasverbrauchs für Kochen der privaten Haushalte im Trendszenario (in GWh pro Jahr)

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Strom	1.665	1.750	1.779	1.815	1.847	1.872	1.892
Fossile Gase	54	40	29	21	15	11	8
Summe	1.718	1.790	1.808	1.836	1.862	1.883	1.900

Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von Breg (2019), LHM (2015)

3.2.3 Entwicklungen im Zielszenario

Im Zielszenario bleibt der Stromverbrauch der privaten Haushalte trotz der angenommenen Bevölkerungszunahme bis 2035 etwa konstant und sinkt dann bis 2050 leicht ab (vgl. Tabelle 3-4). Der spezifische Verbrauch je Haushalt sinkt dabei im gleichen Zeitraum von gut 2.000 kWh pro Jahr im Jahr 2018 auf unter 1.900 kWh im Jahr 2035 und etwa 1.750 kWh im Jahr 2050. Zwischen 2018

und 2050 bedeutet dies einen Rückgang um mehr als 13 %. Hier machen sich die angenommenen Entwicklungen bei der Effizienz der Geräte und der Suffizienz (mit der leicht reduzierten Anzahl von Geräten je Haushalt) bemerkbar. Zudem wird angenommen, dass der Gasverbrauch des Kochens stark rückläufig ist und ab 2040 kein Gas mehr zum Kochen eingesetzt wird.

Tabelle 3-4: Entwicklung des Stromverbrauchs (ohne Strom für Gebäudewärme) sowie des Gasverbrauchs für Kochen der privaten Haushalte im Zielszenario (in GWh pro Jahr)

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Strom	1.665	1.700	1.702	1.696	1.684	1.666	1.644
Fossile Gase	54	30	14	5	0	0	0
Summe	1.718	1.729	1.716	1.701	1.684	1.666	1.644

Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von Breg (2019), LHM (2015), LHM (2015)

3.3 Stadtverwaltung

Abweichend vom Ziel der LHM für die Gesamtstadt hat sich der Stadtrat das besonders ambitionierte Ziel der klimaneutralen Stadtverwaltung bis 2030 gesetzt, wobei hier nicht der (territorial bezogene) BSKO-Ansatz als Bemessungsgrundlage verwendet werden soll, sondern der Carbon Footprint nach dem „GHG Corporate Standard“.¹ Mit „Stadtverwaltung“ werden hier die Kernverwaltung, die städtischen Liegenschaften, Eigen- und Regiebetriebe sowie Bildungseinrichtungen wie städtische Schulen, Kitas sowie staatliche Schulen beschrieben, für welche die Landeshauptstadt München als Sachaufwandsträger zuständig ist (vgl. Arqum 2020, S. 11–13). Nicht einbezogen sind die städtischen Wohnungsgesellschaften sowie andere Beteiligungsgesellschaften der Stadt.

3.3.1 Allgemeine Annahmen

3.3.1.1 Gebäudewärme der Stadtverwaltung

Die Berechnungen der Szenarien für die Gebäudewärme der Stadtverwaltung basieren größtenteils auf der Studie des Fraunhofer IBP zum kommunalen Gebäudebestand (Fraunhofer IBP noch nicht veröffentlicht). Auftraggeber der Studie war das Baureferat auf Basis eines Beschlusses des Stadtrats vom 18.12.2019. Die IBP-Studie betrachtet knapp 700 Liegenschaften, welche mit einer Fläche von knapp 3 Mio. m² rund 90 % der Gebäudefläche im Eigentum der Stadtverwaltung ausmachen. Um die restlichen 10 % an stadteigenen Gebäudeflächen abzubilden (ca. 0,3 Mio. m²), wird der in der IBP-Studie ausgewiesene Energieverbrauch mit einem Aufschlag von 10 % versehen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass das Kommunalreferat zusätzliche 250 Gebäude besitzt, die bisher nicht in der Gebäudedatenbank des Baureferats erfasst sind. Unter der Annahme, dass jedes dieser Gebäude im Mittel 200 m² beheizte Fläche aufweist, was in Summe 50.000 m² entspricht, wurde auch diese Fläche der Gesamtfläche der stadteigenen Gebäude zugeschlagen. Der Stadtverwaltung sind darüber hinaus noch die angemieteten Gebäude bzw. Flächen zuzurechnen,

¹ Vgl. die Website <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>. Bei dieser Bilanzierungsmethode werden auch vorgelagerte Emissionen (Scope 2 und ggf. Scope 3) berücksichtigt. Andererseits kann z. B. der Bezug von Ökostrom als Beitrag zur Emissionsminderung angerechnet werden, was im BSKO-Standard bewusst nicht zugelassen wird.

die sich nicht im Eigentum der Stadt befinden.² Hierzu wurden den Fachgutachter*innen Daten des Kommunalreferats und des Referats für Bildung und Sport zur Verfügung gestellt. Tabelle 3-5 gibt einen Überblick über die verschiedenen stadt eigenen und angemieteten Gebäude bzw. Flächen, die in den Szenarien für die Stadtverwaltung berücksichtigt wurden. Weitere von der Stadt angemietete Gebäude, die anderen Trägern (z. B. von Kindertageseinrichtungen) überlassen werden, sind in den Szenarien für die Stadtverwaltung nicht berücksichtigt.

Tabelle 3-5: Übersicht zu den städtischen Liegenschaften sowie den angemieteten Gebäuden der LHM

	Stadteigen oder angemietet	Anzahl Gebäude	Nutzflächen [m ²]
IBP-Studie	stadteigen	knapp 700	2.987.000
Zusätzliche Gebäude in der Gebäudedatenbank des Baureferats	stadteigen		298.700
Weitere Gebäude des Kommunalreferats	stadteigen	250	50.000
Angemietete Flächen des Kommunalreferats	angemietet		120.000
Angemietete Flächen des Referats für Bildung und Sport	angemietet		103.000
Summe stadteigene Gebäude			3.335.700
Summe angemietete Flächen			223.000
Summe stadteigene + angemietete Flächen			3.558.700

Quelle: Öko-Institut, eigene Annahmen und Berechnungen auf Basis von Baureferat, Kommunalreferat, Referat für Bildung und Sport der LHM und Fraunhofer IBP (noch nicht veröffentlicht)

Die Sanierungsraten für die stadteigenen Gebäude wurden aus der IBP-Studie für das dortige Szenario 1 (Trend/Referenz, 2 % Sanierungsrate nach dortiger Definition) und Szenario 2 (4 % Sanierungsrate nach dortiger Definition) in die Szenarien des Fachgutachtens übernommen. Alle stadteigenen Gebäude werden mit diesen Sanierungsraten energetisch ertüchtigt. Die angemieteten Flächen werden hingegen mit den Sanierungsraten aus der Wärmestudie für die Gesamtstadt fortgeschrieben (FfE, Öko-Institut 2021).

Da die IBP-Studie nur bis 2030 reicht, wurde die energetische Sanierung der Gebäude für die hier dargestellten Szenarien bis zum Jahr 2050 bzw. bis zu dem Zeitpunkt fortgeschrieben, wenn alle Gebäude ambitioniert saniert sind.

Die Energieträgerverteilung aus der IBP-Studie wird in den hier berechneten Szenarien nur im Ausgangsjahr berücksichtigt. Für die Zieljahre der Szenarien wird auf die Energieträgerverteilung der Wärmestudie zurückgegriffen, um die Szenarien wie bei den anderen Verbrauchssektoren konsistent mit der Wärmestudie zu halten. Hierbei werden der im Vergleich zur Gesamtstadt höhere Anteil der städtischen Liegenschaften an der Fernwärmeversorgung berücksichtigt und im

² Die angemieteten Gebäude sind durch die Stadtverwaltung zwar nur mittelbar beeinflussbar (z. B. was mögliche Sanierungsaktivitäten angeht), sie tragen aber durch ihren Energieverbrauch mit zu den Emissionen der Stadtverwaltung bei.

Zielszenario ein ambitionierter Gas-Ausstieg bei den städteigenen Gebäuden angesetzt: So sinkt der Anteil von Erdgas am Endenergieverbrauch von knapp 40 % im Jahr 2018 im Zielszenario bis zum Jahr 2030 auf knapp 27 %, bis 2035 dann auf 14 %. Ab 2040 wird kaum noch Erdgas in Gebäuden der Stadt eingesetzt. Die Energieträgerverteilung der von der Stadtverwaltung angemieteten Gebäude entspricht derjenigen der Nichtwohngebäude aus der Wärmestudie. Hier wird kein schnellerer Gasausstieg angesetzt, da die Stadtverwaltung nicht die Eigentümerin der Gebäude ist.

Der auf Basis der oben beschriebenen Daten und Annahmen ermittelte Endenergieverbrauch für Gebäudewärme für das Ausgangsjahr 2017 (dem Basisjahr der IBP-Studie und der Wärmestudie) für die gesamte Stadtverwaltung inkl. angemieteter Gebäude beläuft sich auf 366 GWh. Dies stimmt gut mit dem im Klimaschutzplaner der LHM angegebenen Wert überein (bei Anwendung einer Witterungsberichtigung).

3.3.1.2 Stromverbrauch, Antriebsenergie und Prozesswärme

Neben der Gebäudewärme sind es v. a. der Stromverbrauch ohne Heizstrom sowie der städtische Fuhrpark und die Anlagen der Stadtentwässerung (MSE), also Klärwerk(e), Klärschlammverbrennungsanlage (KVA) und die Deponie, die die energetisch bedingten THG-Emissionen der Stadtverwaltung bestimmen.

Der Stromverbrauch der Stadtverwaltung entsteht im Wesentlichen durch

- Beleuchtung, IT-Technologien, Lüftung, Steuerung und Elektrogeräte in Verwaltungsgebäuden, Schulen und Kitas sowie in sonstigen kommunalen Gebäuden,
- die Infrastruktur wie z. B. (Ab-) Wassereinrichtungen (auch z. B. Pumpstrom), Abfallsammlungs- und Beseitigungsinfrastruktur der AWM, das Klärwerk der MSE (Gut Großblappen auf Münchner Stadtgebiet, mit Teilversorgung aus Eigenerzeugung aus Klärgas), der Klärschlammverbrennung und der Deponie,³
- Straßenbeleuchtung und Ampeln sowie
- bislang in geringem Maße den Antrieb bei E-Mobilität und Wärmeerzeugung bei Heizungen (z. B. Wärmepumpen).

Die folgenden, den zukünftigen städtischen Stromverbrauch erhöhenden Einflussfaktoren wurden bei der Erstellung der Szenarien berücksichtigt:

- Die steigende Einwohnerzahl Münchens (von 1,47 Mio. im Jahr 2018 auf 1,62 Mio. im Jahr 2030, entspricht einem Plus von 9,1 %, sowie 1,83 Mio. im Jahr 2050, entspricht einem Plus von mehr als 20 % im Vergleich zu 2018) und in der Folge mehr Kitas und Schulen, mehr zu reinigendes Abwasser, mehr Service-Angebote für die Bürger*innen und mehr Personal in der Stadtverwaltung,
- zunehmende Digitalisierung (v. a. in Schulen sowie für E-Government),

³ Bei den Anlagen der Münchner Stadtentwässerung MSE (Klärwerk, KVA, Deponie) wird eine Bruttobetrachtung vorgenommen, d. h. die Eigenerzeugung von Strom und Wärme aus Klärgas wird als Brennstoffbedarf berücksichtigt, beim Strom wird dafür nur der Nettobedarf (ohne den eigenerzeugten Strom) gezählt.

- Umstellung der Fahrzeugflotte von Verbrennungs- auf batterieelektrische Motoren

Annahmen im Trendszenario: Bis 2030 Umstellung aller Pkw und leichten Nutzfahrzeuge (LNF) sowie eines Teils der in 2020 bestehenden Lkw und Arbeitsmaschinen auf batterieelektrische Antriebe.

Annahmen im Zielszenario: Hier wird über die weitgehende Elektrifizierung der Fahrzeuge hinaus davon ausgegangen, dass mit einem weit vor 2030 wirkenden Mobilitätsmanagement die Anzahl der Fahrzeuge (trotz einer steigender Zahl an Einwohner*innen) gesenkt werden kann und nach 2030 auch nicht weiter erhöht wird, indem einzelne Fahrzeuge besser unter Organisationseinheiten geteilt und hierdurch besser ausgelastet werden und Fahrten vermieden oder verlagert werden (z. B. durch Kombination mehrerer Touren, Videokonferenzen, verstärkte Nutzung von E-Bikes und E-Lastenrädern).

Als den künftigen Stromverbrauch senkende Faktoren wurden berücksichtigt:

- Steigende und bis 2030 noch zunehmende Energieeffizienz von Stromanwendungen z. B. bei der Beleuchtung (für beide Szenarien minus 16 % bis 2050); bei der Energieeffizienz von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen wurde im Zielszenario eine stärkere Zunahme unterstellt als im Trendszenario (minus 57 % bzw. minus 33 %).
- Zunehmende Inanspruchnahme von Telearbeit und Homeoffice v. a. als Folge der während der Corona-Pandemie gemachten Erfahrungen (gilt für den Zeitraum bis etwa 2030 für die Kernverwaltung, minus 14 % 2020 bis 2050 mit Schwerpunkt 2020-2030, in beiden Szenarien).
- Besondere Anstrengungen zur Umrüstung der Straßenbeleuchtung und der Innenraumbeleuchtung in Verwaltungsgebäuden und Bildungseinrichtungen bis 2030 (Annahme im Trendszenario: -9 %; Zielszenario: -22 % zzgl. weiterer Maßnahmen).
- Weitere, breit gestreute Klimaschutzmaßnahmen (Annahme Trend: -9 %; Annahme Ziel: -17 %).

Wichtige weitere Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch der Stadtverwaltung sind in beiden Szenarien zudem:

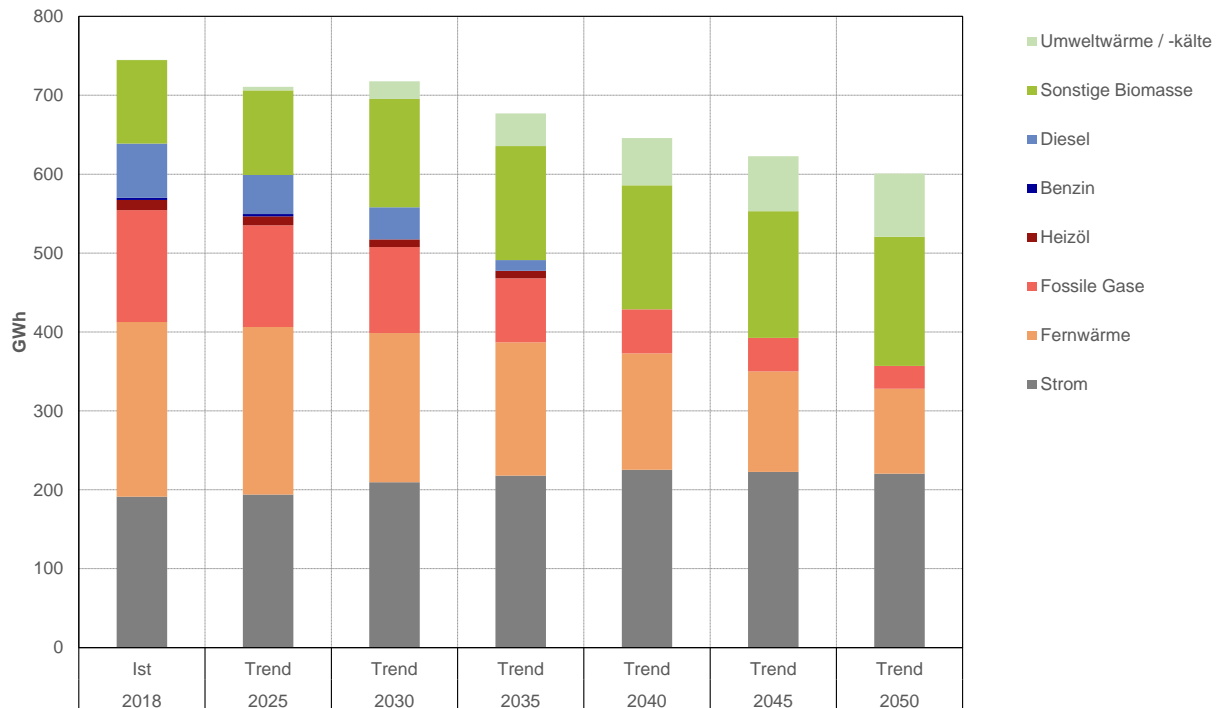
- Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz des Klärwerks Gut Großlappen durch die im Jahr 2020 fertiggestellte Erneuerung der biologischen Reinigungsstufe und die für etwa 2028 erwartete Inbetriebnahme der neuen Klärschlammverbrennungsanlage; gleichzeitig wird ein zusätzlicher Stromverbrauch für die vierte Reinigungsstufe erwartet⁴.
- Keine Ausweitung der Umstellung auf CNG- oder LPG-betriebene Lkw bzw. Arbeitsmaschinen ab 2025 und spezifischer Verbrauchsrückgang nach 2030 sowie Effizienzsteigerung der Fahrzeugantriebe (mit Einfluss auch auf fossile Brennstoffe).

3.3.2 Entwicklungen im Trendszenario

Der Endenergieverbrauch der Stadtverwaltung sinkt im Trendszenario von 2018 bis 2030 nur um knapp 4 %, da die zusätzlichen Einrichtungen im Klärwerk Energieeinsparungen in anderen Bereichen fast ausgleichen. Bis 2045 sinkt der Endenergieverbrauch um 19 %.

⁴ Da das Klärwerk Gut Marienhof nicht auf städtischem Grund, sondern außerhalb Münchens liegt, wurde es in der den Szenarien zugrundeliegenden Territorialbilanz nicht erfasst.

Abbildung 3-4: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Stadtverwaltung im Trendszenario nach Energieträgern



Anmerkung: In „Sonstige Biomasse“ sind Klärgas für Kraft und Wärme aus dem Klärwerk 1 und der Klärschlammverbrennungsanlage enthalten, ab 2035 auch ein EE-basiertes Substitut für Zündöl im Klärwerk.

Quelle: Öko-Institut und Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021), Fraunhofer IBP (noch nicht veröffentlicht); MSE (2020a), RKU (2021)

Die bedeutendsten heutigen Energieträger (Fernwärme, Strom, Erdgas, Biomasse und Diesel) behalten diese Rolle im Trendszenario auch 2030. Eine differenzierte Betrachtung auf die einzelnen Energieträger ergibt folgendes Bild:

- Der Stromverbrauch steigt von 2018 bis 2030 um knapp 10 % und bis 2045 um etwa 16 % an. Der Anstieg bis 2030 ist v. a. auf die zusätzliche Reinigungsstufe im Klärwerk und den Einsatz von Wärmepumpen zur dezentralen Gebäudebeheizung zurückzuführen. Der weitere Anstieg nach 2030 ist vor allem durch die weiter verstärkte Nutzung von Wärmepumpen bedingt. Der Stromverbrauch für den städtischen Fuhrpark spielt im Trendszenario eine begrenzte Rolle (6 GWh in 2030 und 18 GWh in 2045).
- Der Verbrauch an Fernwärme geht infolge der Sanierungsaktivitäten zwischen 2018 und 2030 um knapp 15 % zurück. Dieser Trend setzt sich bis in die 2040er Jahre fort, im Jahr 2045 hat sich der absolute Verbrauch an Fernwärme gegenüber dem Ausgangsjahr um 43 % reduziert.
- Der Erdgasverbrauch geht bis 2030 bereits deutlich um 23 % zurück. Bis zum Jahr 2045 ist ein weiterer deutlicher Rückgang zu verzeichnen (minus 70 % gegenüber 2018).
- Zugleich steigt der Einsatz von Klärgas und Klärschlamm um 30 % bis zum Jahr 2030 und um mehr als 50 % bis zum Jahr 2045.

- Der Dieselverbrauch des städtischen Fuhrparks reduziert sich im Trendszenario bis 2030 bereits um etwa 40 %, bis 2040 wird mit einem völligen Ausstieg aus der Nutzung fossiler Treibstoffe gerechnet.

Tabelle 3-6: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Stadtverwaltung im Trendszenario nach Energieträgern

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend
	Ist	Trend					
	GWh						
Strom	191	194	210	218	225	223	221
Fernwärme	221	213	189	169	147	127	108
Fossile Gase	142	129	109	81	56	43	29
Heizöl	13	11	10	10	0	0	0
Benzin	3	3	0	0	0	0	0
Diesel	69	50	41	14	0	0	0
Sonstige Biomasse	106	107	137	144	157	160	164
Umweltwärme / -kälte	0	5	22	42	60	70	80
Summe	745	711	718	677	646	623	601

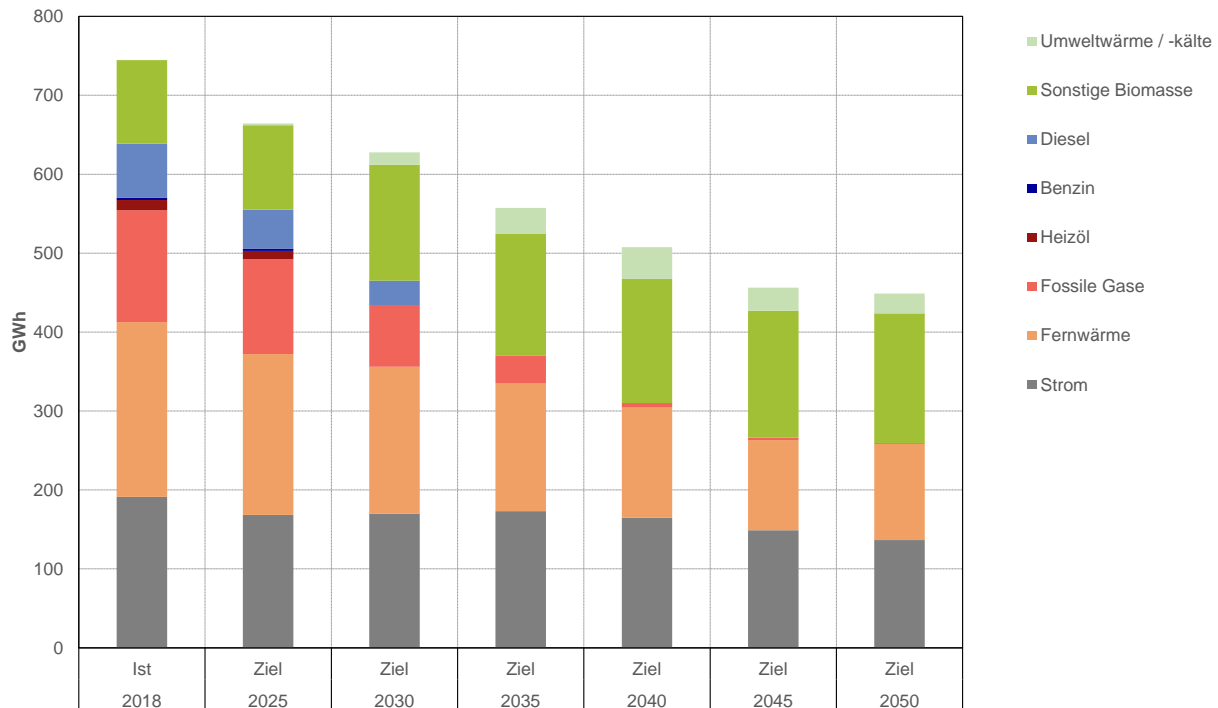
Anmerkung: In „Sonstige Biomasse“ sind Klärgas für Kraft und Wärme aus dem Klärwerk 1 und der Klärschlammverbrennungsanlage enthalten, ab 2035 auch ein EE-basiertes Substitut für Zündöl im Klärwerk.

Quelle: Öko-Institut und Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021), Fraunhofer IBP (noch nicht veröffentlicht); MSE (2020a), RKU (2021)

3.3.3 Entwicklungen im Zielszenario

Im Zielszenario sinkt der gesamte Endenergieverbrauch der Stadtverwaltung bis 2030 um 16 %, bis 2045 ist eine Reduktion um knapp 40 % erreichbar. Aus Abbildung 3-5 wird deutlich, dass dies v. a. auf die Minderung der für Treibhausgas-Emissionen relevanten fossilen Energieträger (v. a. Gas, Diesel und Benzin) zurückzuführen ist: Deren Einsatz wird zwischen 2018 und 2030 bereits um über 50 % reduziert, bis 2045 dann fast auf Null.

Abbildung 3-5: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Stadtverwaltung im Zielszenario nach Energieträgern



Anmerkung: In „Sonstige Biomasse“ sind Klärgas für Kraft und Wärme aus dem Klärwerk 1 und der Klärschlammverbrennungsanlage enthalten, ab 2035 auch ein EE-basiertes Substitut für Zündöl im Klärwerk.

Quelle: Öko-Institut und Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021), Fraunhofer IBP (noch nicht veröffentlicht); MSE (2020a), RKU (2021)

Der Verbrauch an Erdgas sinkt von 2018 bis 2030 bereits um 45 % und kann bis 2045 auf nahezu Null reduziert werden. Ausschlaggebend ist hier insbesondere, dass bis 2030 bereits etwa 40 % des städtischen Gebäudebestandes energetisch saniert werden (vgl. Szenario 2 der IBP-Studie mit einer jährlichen Sanierungsrate von 4 %). Dieser Trend wird fortgeschrieben, so dass im Jahr 2045 alle städteigenen Gebäude saniert worden sind.

Der Anteil der Fernwärme an der Wärmeversorgung der städtischen Liegenschaften liegt bereits im Ausgangsjahr 2018 bei 60 %. Dieser Anteil erhöht sich im Zielszenario bis 2030 auf 66 % und bis 2045 auf 73 %. Aufgrund der energetischen Sanierung der Gebäude sinkt der absolute Verbrauch an Fernwärme dennoch zwischen 2018 und 2030 um 16 % und bis 2045 sogar um fast 50 %. Da ein hoher Anteil der Gebäude an die Fernwärme angeschlossen werden kann, spielt Umweltwärme im Zielszenario nur eine moderate Rolle.

Der Einsatz von Klärgas und Klärschlamm entwickelt sich im Zielszenario ähnlich wie im Trendszenario, allerdings wird das fossile Zündöl im Klärwerk bereits ab dem Jahr 2030 durch eine erneuerbare Alternative ersetzt, die hier dem Klärgas zugeschlagen wird. Hieraus resultiert ein Zuwachs bei Klärgas und Klärschlamm gegenüber 2018 um 40 % bis zum Jahr 2030 und um über 50 % bis zum Jahr 2045.

Die Verwendung von Diesel kann bis 2030 um 55 % reduziert werden, indem zunächst Dieselbetriebene Pkw und im weiteren Verlauf auch Lkw durch Elektrofahrzeuge ersetzt werden. Im

gleichen Zeitraum wird auch der Verbrauch an Benzin auf Null gesenkt. Bis 2035 wird der Dieserverbrauch auf Null reduziert.

Tabelle 3-7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs der Stadtverwaltung im Zielszenario nach Energieträgern

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel
	Ist	Ziel					
	GWh						
Strom	191	168	170	173	165	149	136
Fernwärme	221	204	186	162	139	114	122
Fossile Gase	142	120	78	35	6	3	1
Heizöl	13	10	0	0	0	0	0
Benzin	3	3	0	0	0	0	0
Diesel	69	49	31	0	0	0	0
Sonstige Biomasse	106	107	147	154	157	161	164
Umweltwärme / -kälte	0	2	16	33	40	29	25
Summe	745	664	628	557	508	456	449

Anmerkung: In „Sonstige Biomasse“ sind Klärgas für Kraft und Wärme aus dem Klärwerk 1 und der Klärschlammverbrennungsanlage enthalten, ab 2030 auch ein EE-basiertes Substitut für Zündöl im Klärwerk.

Quelle: Öko-Institut und Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021), Fraunhofer IBP (noch nicht veröffentlicht); MSE (2020a), RKU (2021)

Beim Stromverbrauch der Stadtverwaltung kann im Zielszenario die Verbrauchsreduktion in klassischen Anwendungen die Effekte des zusätzlichen Einsatzes von Strom in neuen Feldern (vor allem im Fuhrpark und in geringerem Maße auch im Wärmesektor) überkompensieren. Bis 2030 sinkt der Stromverbrauch um etwa 11 % gegenüber 2018, bis 2045 nochmals um weitere 11 %. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Entwicklung des Stromverbrauchs nach Einsatzbereichen.

Tabelle 3-8: Entwicklung des Stromverbrauchs der Stadtverwaltung im Zielszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel
	GWh						
Netto-Strombedarf MSE gesamt	16	9	19	18	18	17	17
Strom Straßenbeleuchtung	29	20	13	11	10	9	8
Strom Kommunale Verwaltungsgebäude (ohne Heizstrom)	60	52	46	43	41	39	36
Strom Schulen und Kindertagesstätten (Kitas) (ohne Heizstrom)	55	52	47	43	40	36	32
Sonstige kommunale Gebäude und Infrastruktur	33	33	31	27	24	20	17
Fahrzeug-Strom	0	1	9	19	19	18	18
Strom für Gebäudewärme	0	1	6	12	14	10	9
Summe	191	168	170	173	165	149	136

Quellen: Öko-Institut und Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021), Fraunhofer IBP (noch nicht veröffentlicht), MSE (2020a), MSE (2020b) und RKU (2021)

Hier werden im Zielszenario die folgenden Entwicklungen erwartet:

- Im Bereich der Abwasserreinigung kann der Nettostromverbrauch zunächst durch die Renovierung der biologischen Reinigungsstufe und die Inbetriebnahme der neuen Klärschlammverbrennungsanlage gesenkt werden, dieser steigt aber schon bis 2030 aufgrund des Einbaus der neuen 4. Reinigungsstufe im Klärwerk wieder deutlich an.
- Bei der Straßenbeleuchtung und dem Verbrauch der verschiedenen Typen an kommunalen Gebäuden (ohne Heizung und Warmwasser) kann der Stromverbrauch kontinuierlich gesenkt werden. Bei den Gebäuden sind die Einsparungen dabei am größten.
- Der größte Zuwachs wird im Bereich des Fuhrparks erwartet. Der Stromverbrauch für elektrisch betriebene Fahrzeuge liegt im Zielszenario im Jahr 2030 bei 5 % und im Jahr 2045 bei 12 % des gesamten Stromverbrauchs der Stadtverwaltung.
- Ein immer noch deutlicher, aber in der absoluten Höhe deutlich kleinerer Verbrauchszuwachs wird im Bereich der Gebäudewärme erwartet. Die dezentral installierten Wärmepumpen verursachen im Jahr 2030 gut 3 % und im Jahr 2045 knapp 7 % des gesamten Stromverbrauchs der Stadtverwaltung, wobei der Stromverbrauch aufgrund weiter fortschreitender Effizienz der Gebäude und weiteren Anschlüssen an die Fernwärme nach dem Jahr 2040 wieder etwas rückläufig ist.

3.4 Wirtschaft und Dienstleistungen

In diesem Abschnitt „Wirtschaft und Dienstleistungen“ wird der Energieverbrauch für Prozesse der Sektoren Industrie und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) behandelt. Nicht enthalten sind hier der Niedertemperaturverbrauch an Wärme in den Nicht-Wohngebäuden und der Wirtschaftsverkehr. Diese können in den Kapiteln 3.1 und 3.5 nachvollzogen werden. Öffentliche Einrichtungen sind als Teil des GHD-Sektors hier mit einbezogen, mit Ausnahme der Stadtverwaltung der LHM, die in Kapitel 3.3 behandelt wurde.

3.4.1 Allgemeine Annahmen

Die Wirtschaft Münchens ist verglichen mit anderen deutschen Großstädten besonders stark dienstleistungsorientiert. Stark THG-emittierende Grundstoffindustrien sind nicht vertreten. Die meisten der dort ansässigen DAX-notierten Konzerne, die auch im „Klimapakt“ vertreten sind, haben große Verwaltungsstandorte in München, teilweise den Hauptsitz des Unternehmens. Hohe Energieverbräuche in Produktionsanlagen, deren Erzeugung in eigenen Anlagen auch Berücksichtigung im Europäischen Emissionshandel findet, haben derzeit nur die BMW Group, MAN und MTU Aerospace (sowie die Stadt-eigene SWM). Darüber hinaus verfügt die Industrie in München kaum über produzierendes Gewerbe, das mit Hochtemperaturprozessen arbeitet, und erreicht dadurch bei gleichzeitig hoher Wertschöpfung ein relativ niedriges energetisches Gesamtniveau. Es gibt keine Grundstoffindustrie wie Stahlerzeugung oder Zementproduktion mit sehr hohen Temperaturanforderungen an die Prozesswärme. Aufgrund dessen ist die Herausforderung zur Dekarbonisierung über Elektrifizierung deutlich geringer als in vergleichbaren deutschen Millionenstädten mit ähnlicher Wertschöpfung des Industriesektors. Aufgrund des überproportionalen Verwaltungsanteils großer Industrieunternehmen in München (hoher Anteil an Hauptverwaltungen bei großen Unternehmen) erweist es sich nicht als sinnvoll, auf

Durchschnittsdaten der betreffenden Industriezweige auf Bundesebene zurückzugreifen. Im GHD-Sektor ist zugleich die hohe Zahl an Kleingewerbetreibenden relevant.⁵

Bei der Betrachtung der Entwicklung der Energieverbräuche und daraus abgeleitet der THG-Emissionen ist zu berücksichtigen, dass die Validität der Ausgangswerte mit Unsicherheit behaftet ist. Für das Szenario wurden zu diesem Sektor Zahlen aus dem THG-Monitoring der LHM und speziell zum Industriesektor des Bayerischen Landesamtes für Statistik herangezogen. Da es sich hierbei oftmals nicht um exakt erfasste Daten, sondern um Schätzungen, Interpolationen, Herunterbrechen von auf höherer Ebene aggregierter Daten auf die kommunale Ebene und ähnliche durchaus übliche statistische Herangehensweisen handelt, wurden überdies Einzeldaten größerer Unternehmen über veröffentlichte Daten aus den Emissionserklärungen der Unternehmen im Rahmen des EU-Emissionshandels und Umwelterklärungen im Rahmen von EMAS (u. a. BMW Group Standort München, MAN, MTU, Städt. Kliniken) und Nachhaltigkeitsberichte (z. B. von SWM) oder vergleichbare Berichte ähnlicher Institutionen (z. B. Nachhaltigkeitsbericht der Universität Hamburg zur Beurteilung der THG-Emissionen Münchner Hochschulen) herangezogen. Für den hier beschriebenen Sektor „Wirtschaft und Dienstleistungen“, in dem auf Prozesse abgehoben und somit der Wärme- und Stromverbrauch des Niedertemperatursektors (Nicht-Wohngebäude) genauso wie der Wirtschaftsverkehr ausgeklammert werden, wurden die Ausgangswerte für 2017/18 durch Abgleich mit aktuellen Primärdaten der SWM aus der Wärmestudie (FfE, Öko-Institut 2021), THG-Monitoring-Daten der LHM (RKU 2021) sowie Daten zum Verarbeitenden Gewerbe des Bayerischen Landesamtes für Statistik (Bayerisches Landesamt für Statistik 2021) zugrunde gelegt. Da eine trennscharfe Abgrenzung der Bereiche „Industrie“ und „GHD“ bei der vorhandenen Datenlage nicht valide ist, wurden die Entwicklungen zwar getrennt berechnet, sie werden aber im folgenden Text für beide Bereiche gemeinsam dargestellt. Wichtige Unterschiede werden qualitativ erläutert.

Bei der Entwicklung des Trend- und des Zielszenarios wurden zu diesem Sektor Einschätzungen und Entwicklungen aus Studien herangezogen, welche den Raum der gesamten Bundesrepublik Deutschland umfassen, v. a. die RESCUE-Studie des UBA (UBA 2019)⁶, die dena-Leitstudie (Deutsche Energie-Agentur (dena) 2018) sowie die im Auftrag von Agora Energiewende erstellten Studien mit den Zeithorizonten 2050 bzw. 2045 (Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende 2020; Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende 2021).

Als wesentliche Treiber zum Wachstum des Energieverbrauchs wurden berücksichtigt:

- Ein Produktionswachstum und daraus erwachsender Anstieg der Bruttowertschöpfung von 1,5 % p. a. 2018/35 und 1,6 % p. a. ab 2035.⁷ Der Dienstleistungssektor vergrößert sich allgemein entsprechend der generellen Entwicklung von Volkswirtschaften; es wird davon ausgegangen, dass auch zukünftig keine energieintensiven (Grundstoff-) Industrien (Zement-, Stahlproduktion etc.) in München angesiedelt werden. Ein möglicher Einbruch durch globale Wirtschaftsentwicklungen (wie die Verlagerung von verarbeitendem Gewerbe aus München nach Asien, Verringerung des deutschen Exportüberschusses und mögliche Einflüsse auf die Industriestrukturen Münchens) sowie räumliche und sektorale Verlagerungen innerhalb

⁵ Das RAW der LHM spricht von 70.000 der 90.000 Unternehmen in München; laut Unternehmensstatistik der IHK sind es knapp 75.000.

⁶ Hierbei wurden die Szenarien GreenLate für das Trendszenario und Green-E1 für das Zielszenario als Orientierung herangezogen.

⁷ Der etwas niedrigere Wert für den Zeitraum 2018-2035 im Vergleich zum Wert für 2035-2045 ergibt sich aus der Berücksichtigung des V-Effekts der Corona-Pandemie. Die 5-Jahres-Zwischenwerte wurden durch Interpolation errechnet.

Deutschlands oder Produktdiversifizierungen wie beispielsweise die Umstellung von der Fahrzeugproduktion auf Mobilitätsdienstleistungen wurden bei der Erstellung der Szenarien nicht abgebildet. Stattdessen wurden bisherige Tendenzen fortgeschrieben wie z. B. ein Wachstum der führenden Branchen (Dienstleistungen, Gesundheit und Sozialwesen, Handel, Kfz-Handel und Verkehr, IKT, Hotellerie). Aufgrund der Heterogenität der Branchen konnte jedoch keine exakte Quantifizierung vorgenommen werden, vielmehr erfolgte nur eine grobe Näherung. Dabei wird angenommen, dass Umstellungen von fossilen Brennstoffen auf Strom immer dann vorgenommen werden, wenn der Betrieb damit absehbar günstiger ist (aufgrund externer Vorgaben wie z. B. steigender CO₂-Kosten oder interner wie steigender Energieproduktivität durch Elektrifizierung). Dabei wurden bei der Industrie v. a. aufgrund der (Umsatz-) Größe der Unternehmen schnellere Umstrukturierungen unterstellt als im Sektor GHD (gleiche Annahmen für Ziel- und Trendszenario).

- Als spezifischer Treiber für die Entwicklung des Stromverbrauchs kommt die Elektrifizierung bislang noch mit fossilen Brennstoffen (v. a. Erdgas) betriebener Prozesse hinzu. In den Szenarien wird unterstellt, dass zur Minderung der systemischen Verluste zur Prozesswärmeversorgung vor allem Power-to-Heat-Techniken zum Einsatz kommen. Brennstoffe wie erneuerbares Gas werden nur dort eingesetzt, wo technisch eine Substitution der fossilen Energien nicht durch Strom möglich ist. Für die Notstromversorgung von Krankenhäusern wurde angenommen, dass hier fossiles Erd- oder Flüssiggas durch lagerbare erneuerbare Gase ersetzt werden. Prozesswärme über die Fernwärmeversorgung zu transportieren, scheidet in München aus, da das Fernwärmenetz nur noch in wenigen zentralen Bereichen der Stadt Dampf-betrieben wird und das Temperaturniveau sukzessive abgesenkt wird. Gleichfalls wird unterstellt, dass sich die Verteilung des Prozesswärmeverbrauchs auf die verschiedenen Temperaturniveaus bis 2050 nicht wesentlich ändert und kein neuer Prozesswärmeverbrauch im Temperaturbereich über 500 °C entsteht. Für Prozesswärme-Anwendungen unter 500°C wird in den Szenarien unterstellt, dass hierfür kein erneuerbares Gas benötigt wird.
- Insbesondere im GHD-Sektor bewirkt die fortschreitende Digitalisierung eine (im Gegensatz zur Industrie nachholende) Zunahme des Stromverbrauchs.⁸

Dämpfend auf den Energieverbrauch wirken folgende Faktoren:

- Klimaschutzmaßnahmen v. a. der EU und des Bundes, in geringerem Maße des Landes Bayern und der LHM (auf allen Regierungsebenen im Zielszenario wesentlich stärker als im Trendszenario); die so ausgelösten Dekarbonisierungs-Anforderungen führen zur Umrüstung zunächst der Erdöl-, dann der Gasanwendungen, die im Trendszenario bei einigen Marktakteuren noch als notwendige Übergangstechnologie angesehen werden: Hier wird von einem Ende des Erdöleinsatzes in Neuanlagen erst ab etwa 2040 ausgegangen, das sich auf Bestandsanlagen erst langsam auswirkt (mit Ende erst nach 2050). Im Zielszenario wird dagegen von einem Ende der Erdöl- und Gasnutzung in Neuanlagen ab 2035 ausgegangen, im Bestand ab 2045.
- Ein weiterer Faktor ist hier die Steigerung der Energieproduktivität (durch Anreize bzw. Vorgaben zur drastischen Hebung der Energieeffizienzpotenziale und entsprechende Innovationen bei der Umstellung bislang fossil auf nunmehr elektrisch betriebene Prozesse), die aufgrund der

⁸ Hier wird durch verstärkte Nutzung von Homeoffice insbesondere aufgrund der während der Corona-Pandemie gemachten Erfahrungen bis 2030 mit leichten Reduktionen gerechnet. Größere Effekte werden hier nur im Verkehrssektor angenommen (vgl. Kap. 3.5).

entschlosseneren Klimaschutzvorgaben durch EU und Bund im Zielszenario deutlich höher ausfällt.

Treiber für die Dekarbonisierung in Industrie und GHD sind:

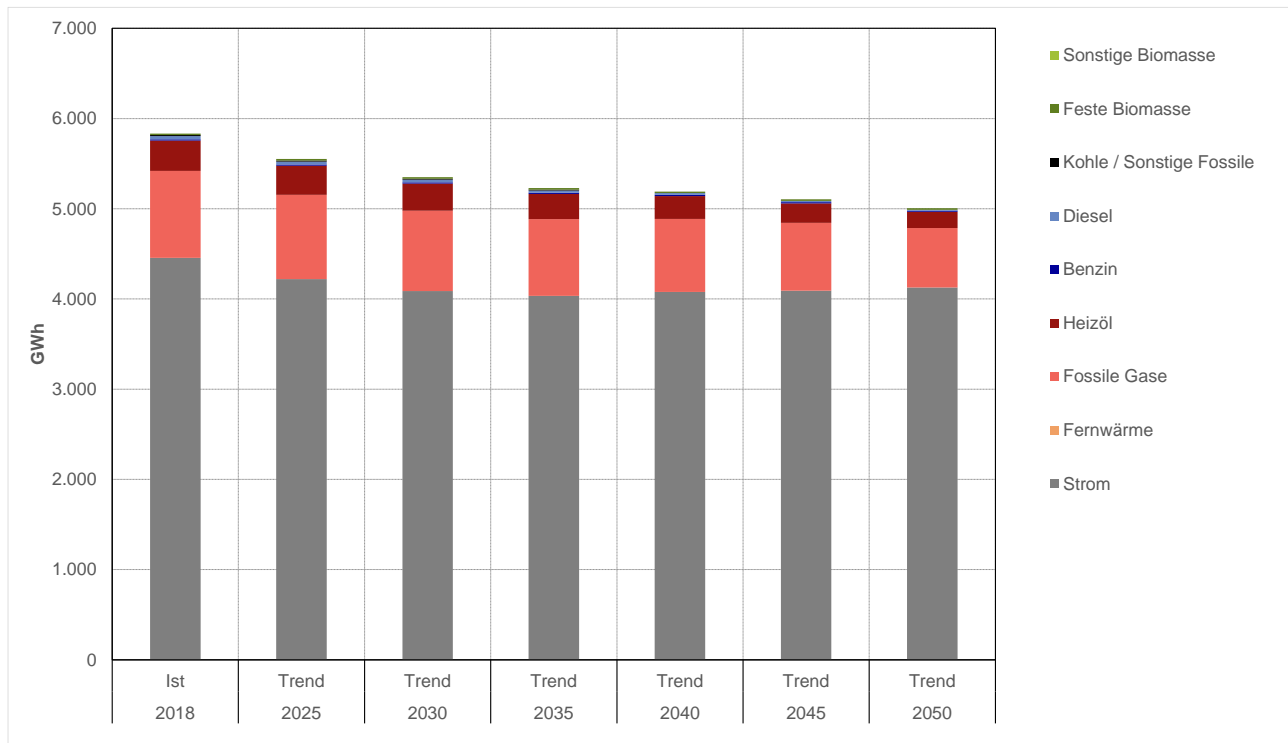
- Kostensteigerungen für fossile Energieträger (u. a. bedingt durch steigende CO₂-Preise aufgrund EU-ETS, BEHG und weitere sich verändernde Rahmenbedingungen),
- kostengünstigere nicht-fossile Technologiealternativen (v. a. strombasiert),
- Dekarbonisierung des bundesdeutschen Strommixes,
- Erwartungen der Kund*innen hinsichtlich Nachhaltigkeit und Klimaschutz sowie
- (weitere) regulatorische Vorgaben und Vereinbarungen auf nationaler Ebene mit der Industrie.

Die Dekarbonisierung erfolgt im GHD-Sektor generell langsamer als in der Industrie, weil sich viele der kleineren Unternehmen schwerer tun, das Kapital aufzubringen, um ihre Prozesse zu elektrifizieren bzw. ihre elektrischen Anlagen zu modernisieren.

3.4.2 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Trendszenario

Der Endenergieverbrauch für Prozesse in den Sektoren Industrie und GHD geht im Trendszenario bis 2035 von gut 5.800 GWh um 10 % auf etwa 5.200 GWh zurück und sinkt auch danach weiter leicht ab. Wie Abbildung 3-6 zeigt, wird der größte Teil des Verbrauchs (mehr als 75 %) bereits im Ausgangsjahr 2018 durch Strom abgedeckt. Da in diesem Szenario kaum einschränkende Maßnahmen für fossile Energieträger gegenüber der Wirtschaft vollzogen werden und Erdgas noch als „Übergangstechnologie“ eher positiv konnotiert wird, rentiert sich ein Umstieg von fossilen Brennstoffen auf Strom kaum. Allerdings gibt es hier bereits deutliche Unterschiede zwischen großen, global agierenden Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes und den kleineren Unternehmen und den unter GHD mit erfassten öffentlichen Institutionen. Da der GHD-Bereich wesentlich größer ist als der Industrie-Bereich, beeinflussen Veränderungen dort die kumulierten Werte für beide Sektoren auch wesentlich stärker.

Abbildung 3-6: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Prozesse in Industrie und GHD (ohne Gebäudewärme, Wirtschaftsverkehr und Stadtverwaltung) im Trendszenario



Quelle: Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021), RKU (2021), Bayerisches Landesamt für Statistik (2021), UBA (2019), Deutsche Energie-Agentur (dena) (2018), Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2020), Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2021).

Die jenseits des Einsatzes von Strom bestehenden Anforderungen zur Dekarbonisierung der Prozesse werden im GHD-Bereich insgesamt langsamer umgesetzt als im verarbeitenden Gewerbe und dann vor allem von größeren Unternehmen. Bei den vielen kleineren KMU erfolgt die Substitution fossiler Brennstoffe mit großer Verzögerung, weil Energieeinsatz und Klimarelevanz für diese Akteure oftmals weniger beachtenswerte betriebswirtschaftliche Themen sind. Insgesamt sinkt der Stromverbrauch für Prozesse in Industrie und GHD im Trendszenario bis 2035 um 9 % (bezogen auf 2018) und steigt danach bis 2050 wieder leicht an. Im Jahr 2050 liegt der Anteil von Strom am Endenergieverbrauch für Prozesse in Industrie und GHD bei 82 %.

Der Gasverbrauch sinkt bis 2035 um 12 % und bis 2050 um 31 % gegenüber dem Wert von 2018. Der Heizölverbrauch sinkt noch etwas schneller ab, wobei in der Industrie im Trendszenario ab 2045 kein Heizöl mehr in Prozessen eingesetzt wird. Der Anteil fossiler Energieträger liegt im Jahr 2018 bei gut 23 % und sinkt bis 2035 nur leicht. Nach 2035 geht der fossile Anteil weiter zurück und liegt im Jahr 2050 noch bei 17 %.

Während sich bei Prozessanwendungen in der Industrie Strom und Gas noch etwa die Waage halten, dominiert im GHD-Sektor bereits heute Strom den Endenergieverbrauch sehr deutlich. Hier werden Effizienzgewinne und Einsparungen aufgrund von Klimaschutzanstrengungen zwar realisiert, aber wegen der Digitalisierungsanforderungen und des Wachstums der führenden Branchen (Dienstleistungen, Gesundheit und Sozialwesen, Handel, Kfz-Handel und Verkehr, IKT, Hotellerie) teils wieder aufgebracht. Homeoffice-Erfahrungen aus der Corona-Krise führen durch

Umstrukturierungen der Arbeitsprozesse gerade im GHD-Bereich zu zeitweiligen (bis etwa 2030), in einzelnen Sparten erheblichen Einsparungen im Stromsektor.

Tabelle 3-9: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Prozesse in Industrie und GHD (ohne Gebäudewärme, Wirtschaftsverkehr und Stadtverwaltung) im Trendszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend
GWh							
Strom	4.455	4.220	4.088	4.035	4.078	4.092	4.126
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0
Fossile Gase	964	935	892	851	810	751	660
Heizöl	337	323	300	278	253	216	179
Benzin	13	13	13	13	13	13	13
Diesel	35	32	30	25	20	15	10
Kohle / Sonstige Fossile	13	12	11	10	0	0	0
Feste Biomasse	17	17	17	17	17	17	17
Sonstige Biomasse	0	0	0	0	0	0	0
Summe	5.834	5.551	5.349	5.229	5.191	5.105	5.006

Quelle: Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE; Öko-Institut (2021), RKU (2021), Bayerisches Landesamt für Statistik (2021), UBA (2019), Deutsche Energie-Agentur (dena) (2018), Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2020), Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2021).

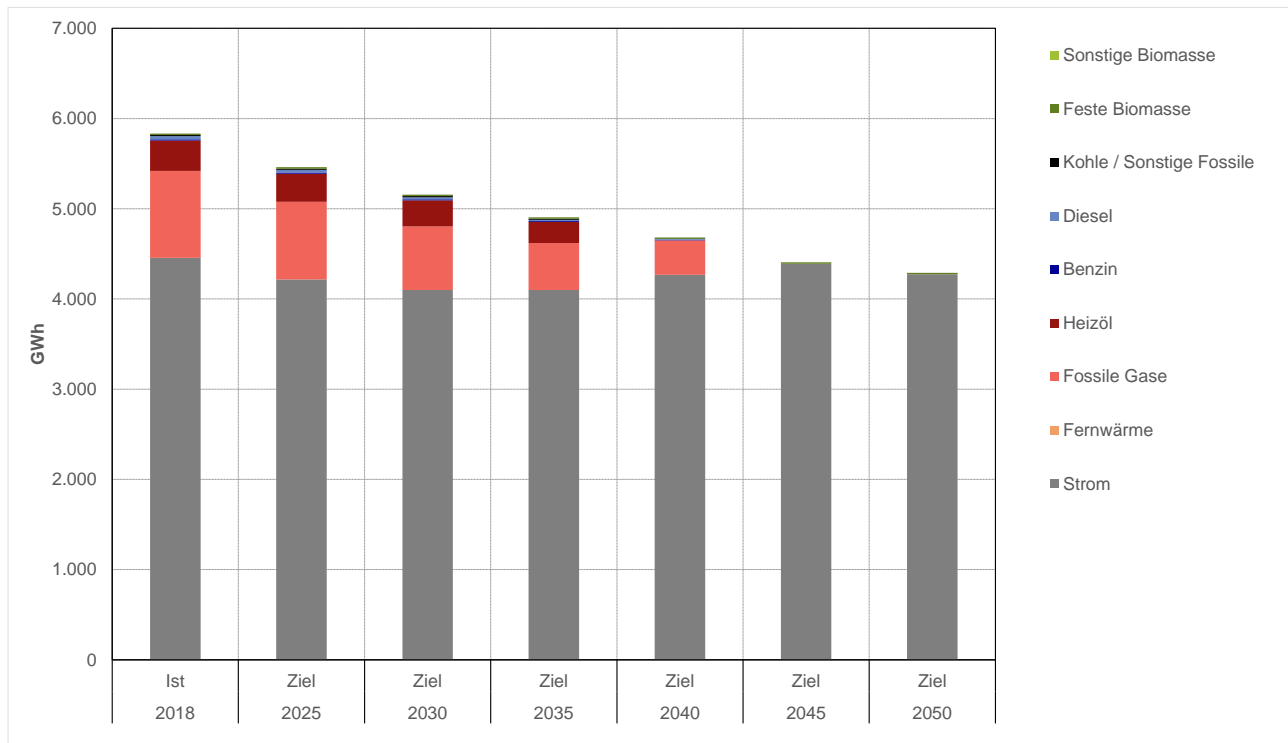
3.4.3 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Zielszenario

Im Zielszenario kann der Endenergieverbrauch für Prozesse im Bereich Wirtschaft und Dienstleistungen von 5.800 GWh in 2018 bis 2035 um 16 % und bis 2045 um 24 % reduziert werden. Insbesondere die frühzeitige Ankündigung und damit Planbarkeit stark steigender CO₂-Kosten führt zur Umrüstung zunächst der Erdöl-, dann der Gasanwendungen.

Der Stromverbrauch sinkt zunächst bis 2035 von ca. 4.500 GWh auf ca. 4.100 GWh (minus 8 %) und steigt dann aufgrund der zunehmenden Substitution auch im GHD-Bereich wieder etwas an. Der Gasverbrauch sinkt von ca. 960 GWh im Jahr 2018 bis 2035 um 46 %. In diesem Szenario werden spätestens im Jahr 2045 keine fossilen Energieträger mehr für Prozesse in Wirtschaft und Dienstleistungen eingesetzt; Heizöl und die weniger bedeutende Kohle werden bereits bis 2040 substituiert.

In der Münchner Industrie gibt es kaum Prozesse mit Hochtemperaturbedarf jenseits 500° C. Dies erleichtert die Elektrifizierung und dabei insbesondere den durch energiepolitische Anreize (v. a. steigende CO₂-Kosten) beschleunigten Umstieg von Erdgas auf Strom. Gas- und Ölanwendungen für Prozesse werden bis 2035 im Zielszenario in der Industrie auf gut ein Drittel des Ausgangswertes reduziert, der Endenergieverbrauch kann um etwa 20 % bis 2035 und um 35 Prozent bis 2045 verringert werden. Technische Innovationen, Verbesserungen bei der Energieeffizienz und Systemoptimierungen vor allem bei Querschnittstechnologien (Elektromotorsysteme wie Pumpen, Ventilatoren, Kälte, Druckluft etc. sowie Beleuchtung) bewirken, dass der Stromverbrauch der Industrie nur moderat ansteigt.

Abbildung 3-7: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Prozesse in Industrie und GHD (ohne Gebäudewärme, Wirtschaftsverkehr und Stadtverwaltung) im Zielszenario



Quelle: Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021), RKU (2021), Bayerisches Landesamt für Statistik (2021), UBA (2019), Deutsche Energie-Agentur (dena) (2018), Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2020), Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2021).

Im GHD-Sektor dominiert bereits heute Strom deutlich den Energieverbrauch bei Prozessanwendungen. Anforderungen zur Dekarbonisierung führen auch hier (wegen der vielen eher kleinen Unternehmen erst verzögert) zur Gas-Umrüstung (bis 2035 minus 30 %), bis Mitte der 2040er Jahre wird dann auch hier die Dekarbonisierung erreicht. Eine Ursache hierfür sind die voraussichtlich stark steigenden Netzkosten für Gas, die auf verbleibende Kunden umgelegt werden.⁹ Der gesamte Endenergieverbrauch für Prozesse im Sektor GHD geht bezogen auf den Ausgangswert bis 2035 im Zielszenario um ca. 15 % zurück, bis 2045 sogar um etwa 23 %. Effizienzgewinne und Klimaschutzanstrengungen werden hier nur teilweise durch Wachstum der führenden Branchen (Dienstleistungen, Gesundheit und Sozialwesen, Handel, Kfz-Handel und Verkehr, IKT, Hotellerie) und Digitalisierungsanforderungen kompensiert. Homeoffice-Erfahrungen aus der Corona-Krise führen gerade in diesem Sektor zeitweilig (bis etwa 2030) zu erheblichen Einsparungen im Stromsektor.

⁹ Durch den insbesondere im Gebäudebereich erfolgenden starken Rückbau der Gasheizungen verteilen sich die Kosten für den Betrieb und Unterhalt der Gasnetze auf immer weniger Endkunden, so dass die Nutzung von Gas für die verbleibenden Kunden zunehmend unwirtschaftlich wird. Entsprechend Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2021), S. 17 wird erwartet, dass der Betrieb der Verteilnetze für Erdgas nicht aufrechterhalten wird, sobald nur noch wenige Kunden bedient werden.

Tabelle 3-10: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Prozesse in Industrie und GHD (ohne Gebäudewärme, Wirtschaftsverkehr und Stadtverwaltung) im Zielszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel
	GWh						
Strom	4.455	4.217	4.099	4.099	4.267	4.390	4.274
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0
Fossile Gase	964	859	704	521	382	0	0
Heizöl	337	312	290	233	0	0	0
Benzin	13	13	12	10	8	0	0
Diesel	35	30	22	14	7	0	0
Kohle / Sonstige Fossile	13	12	12	12	0	0	0
Feste Biomasse	17	17	16	16	16	16	16
Sonstige Biomasse	0	0	0	0	0	0	0
Summe	5.834	5.460	5.156	4.905	4.681	4.406	4.290

Quelle: Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FrE, Öko-Institut (2021), RKU (2021), Bayerisches Landesamt für Statistik (2021), UBA (2019), Deutsche Energie-Agentur (dena) (2018), Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2020), Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (2021).

3.5 Verkehr

Um den zukünftigen Endenergieverbrauch und somit die Treibhausgas-Emissionen im Verkehr für die Szenarien berechnen zu können, müssen zunächst die zukünftigen Fahrleistungen jedes Verkehrsmittels bestimmt werden. Diese werden über ein Verkehrsmodell berechnet, in dem eine Reihe von Annahmen und Prognoseprämissen berücksichtigt werden, die im Vorfeld im Fachgutachterteam, mit der Auftraggeberin sowie weiteren Expert*innen abgestimmt wurden.

Da die Berechnungen mit dem Verkehrsmodell sehr aufwändig sind, konnten im Verkehrssektor anders als in den anderen Sektoren des Energieverbrauchs nur das Ausgangsjahr 2018, das Jahr 2035 im Trend- und im Zielszenario sowie das Jahr 204X im Zielszenario berechnet werden.

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Prognoseprämissen und Annahmen beschrieben, die in das Verkehrsmodell Eingang gefunden haben. Danach werden die Ergebnisse aus den Berechnungen des Verkehrsmodells erläutert.

3.5.1 Allgemeine Annahmen und Prognoseprämissen

Die Entwicklung des Verkehrs in einer Stadt wird von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren beeinflusst. Die hierzu in den Szenarien getroffenen Annahmen werden im Folgenden skizziert.

Wesentliche Faktoren sind die Entwicklung der Einwohnerzahl und der Wirtschaft in München und seinem Umland. Die entsprechenden Annahmen sind in Kapitel 2.2 dargestellt.

Sowohl die erwartete Bevölkerungszunahme als auch das Wirtschaftswachstum führen zunächst zu einer Zunahme des Verkehrs. Das Wirtschaftswachstum wirkt dabei in zweifacher Hinsicht: zum einen nimmt der Personenverkehr bei höherem BIP pro Einwohner (entspricht höherem Einkommen pro Kopf) zu, zum anderen steigt der Güterverkehr mit zunehmendem BIP. Für das Trend- und das Zielszenario 2035 wurden jeweils dieselben Annahmen bzgl. Einwohner- und Wirtschaftsentwicklung getroffen, für das Zielszenario 204X wurden diese Annahmen bis 2045 wie in Kapitel 2.2 erläutert fortgeschrieben.

Motorisierung

Die Motorisierung, d. h. die Anzahl der Pkw pro 1.000 Einwohner, hat einen unmittelbaren Einfluss auf das Verkehrsgeschehen: Je höher die Pkw-Dichte in einer Stadt, desto höher ist die durch den motorisierten Individualverkehr (MIV) erbrachte Verkehrsleistung einerseits und desto höher ist tendenziell auch der Anteil des MIV am Gesamtverkehr andererseits.

In München steigen der Pkw-Bestand (KBA 2020) und die Pkw-Dichte kontinuierlich an, wenn auch auf etwas niedrigerem Niveau und langsamer als im gesamtdeutschen Durchschnitt. Da bisher keine Trendumkehr sichtbar ist, wird für das Trendszenario 2035 mit einer weiter steigenden Pkw-Dichte gerechnet. Für das Zielszenario wird dagegen ein weiterer Anstieg bis etwa 2030 und danach aufgrund geänderter Rahmenbedingungen ein Rückgang angenommen, so dass die Pkw-Dichte in München im Jahr 2035 wieder auf dem Niveau von 2020 liegt, für das Zielszenario 204X sogar 10 % unter dem Niveau von 2020.

Tabelle 3-11: Annahmen in den Szenarien zur Entwicklung der Pkw-Dichte in München

Pkw pro 1.000 EW	2020	Trendszenario 2035	Zielszenario 2035	Zielszenario 204X
München	498	538 +0,6 % p.a. 2030/2018; +0,35 % p.a. 2035/2030	498 (=2020)	448 (-10 % ggü. 2020)

Quelle: Intraplan, eigene Annahmen

Antriebsartenmix

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass die Ladeinfrastruktur für E-Fahrzeuge parallel zum Bestand wächst, die derzeit noch vorhandene Reichweitenproblematik zunehmend durch den Technologiefortschritt an Bedeutung verliert, das Schnell-Laden zum Standard wird und somit die E-Mobilität bis in die 2040er Jahre kontinuierlich zunimmt. Die Fortführung der Förderung von E-Fahrzeugen auf aktuellem Niveau wird weiterhin angenommen, jedoch maximal bis 2035, wenn sowohl für das Trend- als auch das Zielszenario angenommen wird, dass keine fossil angetriebenen Pkws mehr neu zugelassen werden dürfen.

Während 2018 der Anteil von rein strombetriebenen Pkw in München (KBA 2020) nahe Null lag, werden für das Trendszenario 2035 bereits 25 %, für das Zielszenario 2035 45 % und für das Zielszenario 204X 90 %, jeweils bezogen auf die Fahrleistung in München, angenommen.

Tabelle 3-12: Annahmen zur Entwicklung der Anteile der Pkw-Antriebsarten in München (bezogen auf Fahrleistung)

	2018	2035		204X
	Analyse	Trendszenario	Zielszenario	Zielszenario
Benzin	52 %	44 %	32 %	6 %
Diesel	47 %	28 %	20 %	4 %
Gas*	1 %	3 %	2 %	1 %
Strom	0 %	25 %	45 %	90 %

*Gas: CNG, LPG und LNG

Quelle: Intraplan, eigene Annahmen

Entwicklung von Kraftstoffkosten, CO₂-Bepreisung und Strompreisen

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass sowohl bei Verbrennungs- als auch bei strombetriebenen Motoren die steigende Effizienz zu kontinuierlich sinkendem Verbrauch führt, diese Effizienzgewinne jedoch durch zunehmendes Gewicht und/oder stärkere Motorisierung teilweise aufgehoben werden.

Die bereits in Kraft getretene CO₂-Bepreisung von 25 €/t im Jahr 2021, was einem Zuschlag von rund 7 ct/l inkl. MWSt. für Benzin und Diesel entspricht, und 55 €/t im Jahr 2025 wird für das Trendszenario 2035 fortgeführt und weiter erhöht, so dass hier für 2035 eine CO₂-Bepreisung von 100 €/t (Preisstand 2020) angenommen wird. Für das Zielszenario 2035 wird dagegen mit 157 €/t und für das Zielszenario 204X mit 175 €/t (alle Angaben Preisstand 2020) eine deutlich höhere CO₂-Bepreisung angesetzt.

Für Benzin und Diesel wird auch ohne Berücksichtigung dieser CO₂-Bepreisung ein real steigender Preis pro Liter für alle Szenarien angenommen, durch die Effizienzgewinne würde der Preis pro Kilometer jedoch konstant bleiben. Der geschilderte CO₂-Aufschlag führt dennoch zu einer zunehmenden Verteuerung pro gefahrenem Kilometer.

Für Trend- und Zielszenario 2035 wird ein Rückgang des Strompreises von 0,235 €/kWh in 2018 auf 0,185 €/kWh (Preisstand 2018) angenommen, da EEG-Umlage (6 ct/kWh) und Stromsteuer entfallen und langfristig lediglich mit moderat steigenden Großhandelspreisen gerechnet wird. Für das Zielszenario 204X werden dagegen wieder stärker steigende Großhandelspreise angenommen, so dass hier von einem Preis von 0,215 €/kWh (Preisstand 2018) ausgegangen wird.

Weitere Nutzerkosten MIV: Pkw-/Lkw-Maut, Parkgebühren

Für den Pkw-Verkehr wird für das Zielszenario 204X eine entfernungsabhängige Pkw-Maut auf Autobahnen sowie eine City-Maut im Stadtgebiet der LHM (d. h. innerhalb des Autobahnringes; vgl. hierzu ifo Institut, 2020) angenommen. Für 2035 wird weder im Trend- noch im Zielszenario von einer Bepreisung des fließenden Pkw-Verkehrs ausgegangen.

Die derzeit bestehende Lkw-Maut auf Bundesstraßen und Autobahnen wird mit real konstanter Preisentwicklung für das Trendszenario 2035 fortgeschrieben. Für die Zielszenarien 2035 und 204X

wird mit einer Verteuerung der Lkw-Maut durch eine zusätzliche Umweltkomponente gerechnet, die durch eine angenommene Anpassung der EU-Gesetzgebung ermöglicht wird.

Für das Trendszenario 2035 wird davon ausgegangen, dass die derzeit in Pilotgebieten testweise eingeführte Erhöhung der Tagesgebühr von 6 € auf 10 € in den Parklizenzengebieten innerhalb des Mittleren Rings flächendeckend umgesetzt wird. Zusätzlich wird das Bewohnerparken moderat im Rahmen der angenommenen künftigen Regelung für Kommunen erhöht, d. h. der gesetzlich zulässige Rahmen wird voll ausgeschöpft bei gleichzeitiger Ausweitung der Lizenzgebiete auf weitere Münchner Stadtteile.

Für die beiden Zielszenarien 2035 und 204X wird dagegen von einer Änderung des § 10 ZustV ausgegangen, wodurch dann eine deutliche Erhöhung der Parkgebühren zulässig wird. Daher wird für beide Zielszenarien die Anhebung der Parkgebühren in der Innenstadt von derzeit maximal 2,50 €/h auf 5,00 €/h und eine Tagesgebühr von 20 € angenommen. Gleichzeitig wird von einer Anpassung des Gebührenrahmens für Bewohnerparkausweise (GebOST) von derzeit maximal 30,70 €/Jahr auf 300 €/Jahr ausgegangen bei damit einhergehender Ausweitung der Lizenzgebiete auf das ganze Stadtgebiet.

ÖPNV

Die derzeit in Abstimmung befindliche MVV-Verbundraumerweiterung auf acht weitere Landkreise wird für alle drei Szenarien vorausgesetzt. Für die Trend- und Zielszenarien wird mit einer real konstanten Preisentwicklung im MVV-Gebiet gerechnet.

Die großen Ausbau-Maßnahmen im U- und S-Bahn-Verkehr können mit Ausnahme der bereits im Bau befindlichen zweiten S-Bahn-Stammstrecke sowie der U5-West bis Pasing erst für das Zielszenario 204X angenommen werden. Die geplanten Maßnahmen zum Tram- und Express-Buslinien-Ausbau sowie zur Beschleunigung des ÖPNV werden dagegen bereits im Zielszenario 2035 komplett umgesetzt sein. Die aktuell bereits in der Detailplanung bzw. in Planfeststellung befindlichen Tram-Projekte (West-/Nordtangente sowie 23 Nord) werden bereits für das Trendszenario 2035 als umgesetzt angenommen.¹⁰

¹⁰ Zum aktuellen Stand von Bau bzw. Planung vgl. <https://www.mvg.de/ueber/mvg-projekte/bauprojekte.html> und <https://www.2.stammstrecke-muenchen.de/>.

Tabelle 3-13: Annahmen in den Szenarien zur Realisierung größerer Ausbau-Maßnahmen im U- und S-Bahn-Verkehr

ÖPNV-Infrastruktur	Trendszenario 2035	Zielszenario 2035	Zielszenario 204X
2. S-Bahn-Stammstrecke	✓	✓	✓
Tram-West-/Nordtangente, Tram 23 Nord	✓	✓	✓
Weiterer Tram-Ausbau: Y-Nord, Ramersdorf-Neuperlach, Südtangente, Wasserburger LS, Solln, Daglfing, Freiham	✗	✓	✓
Bau U5-West bis Pasing	✗	✓	✓
Weiterer U-Bahn-Ausbau: U9-Entlastungsspanne, U5-West bei Freiham, U5-Ost, U4-Ost	✗	✗	✓
Weiterer S-Bahn-Ausbau: Süd-Ring, Nord-Ring, eigene Trassen im Gesamtnetz, Ertüchtigung Knoten	✗	✗	✓
Maßnahmenbündel NVP Beschleunigung Bus und Tram, Sonderfahrstreifen, Priorisierung an Lichtsignalanlagen, Ausbau Express-Buslinien etc.	Teilweise Umsetzung	Komplette Umsetzung	

Quelle: Intraplan, eigene Annahmen

Weitere Maßnahmen zur Taktverdichtung, Beschleunigung des Bus- und Tramverkehrs, Digitalisierung von Angeboten, Informationen und Betriebsoptimierung sowie zur multimodalen Verknüpfung werden für das Trendszenario 2035 als zum Teil und für das Zielszenario 2035 als komplett umgesetzt angenommen.

Radverkehr

Die Landeshauptstadt München will die Forderungen aus den Bürgerbegehren „Radentscheid“ und „Altstadt-Radlring“ (LHM o. J.) bis 2025 weitgehend umsetzen.

Für das Trendszenario 2035 wird daher angenommen, dass der derzeit in Bau bzw. Planung befindliche „Altstadt-Radlring“ und der Radschnellweg in den Münchner Norden umgesetzt sind, zudem drei weitere Radschnellwege. Das innerstädtische Radwegenetz wird zu einem großen Teil, jedoch noch nicht vollständig und durchgehend ausgebaut sein. Erst für das Zielszenario 2035 wird von einem durchgängigen innerstädtischen Radwegenetz ausgegangen, bei dem alle Gefahrenstellen beseitigt sind und bei dem auch MIV-Fahrstreifen sowie MIV-Parkplätze zugunsten des Radverkehrs umgewidmet sind. Ebenso werden die einheitliche und lückenlose Radwegbeschilderung sowie adäquate Fahrradabstellanlagen erst im Zielszenario 2035 flächendeckend zur Verfügung stehen. Für das Zielszenario 2035 wird von insgesamt sieben fertig gestellten Radschnellwegen ins Münchner Umland ausgegangen.

Weitere Annahmen zu Maßnahmen im Bereich Verkehr

Für Maßnahmen aus dem Bereich Sharing und Pooling sowie Bewusstseinsbildung wird angenommen, dass diese bereits für das Trendszenario 2035 umgesetzt sind. Einzig die Förderung der Digitalisierung von Arbeitsplätzen in Hinblick auf Homeoffice-Möglichkeiten wird nur für das Zielszenario 2035 als komplett ausgereizt angenommen. Hier wird in Anlehnung an aktuelle

Verkehrsanalysen (Intraplan Consult 2021) eine Verkehrsreduzierung von 8 % beim Fahrtzweck Arbeit durch Homeoffice angenommen.

Für den Bereich Güter- und Wirtschaftsverkehr wird angenommen, dass im Trendszenario 2035 ein städtisches Güterverkehrskonzept erstellt und eine städtische Koordinierungsstelle zum Güterverkehr eingerichtet sind und zudem alternative Antriebskonzepte im Wirtschaftsverkehr gefördert werden. Die komplette Umsetzung nachhaltiger Logistik- und Transportkonzepte, insbesondere die Einrichtung dezentral verteilter Standorte für Güterverteilzentren bzw. Micro-Depots ggf. für Lastenfahrräder wird nur für die Zielszenarien 2035 und 204X angenommen.

Die Umsetzung einer integrierten Siedlungs- und Verkehrsentwicklung und hier insbesondere die geeignete verkehrliche Anbindung neuer Stadtviertel wird aufgrund der langen Planungszeiten erst für das Zielszenario 204X angenommen. Andere Maßnahmen der Stadtplanung und Siedlungsentwicklung wie die konsequente Integration von Klimaschutzkriterien hinsichtlich nachhaltiger Mobilität in Bebauungsplänen und städtebaulichen wie landschaftsplanerischen Wettbewerben sowie Reduzierung des Stellplatzschlüssels und die Einführung weiterer Mobilitäts- und Parkkonzepte (Quartiersgaragen bzw. sogar privatautofreie Neubaugebiete) werden für das Zielszenario 2035 angenommen. Bereits in Planung oder Umsetzung befindliche Maßnahmen wie Förderung der Nahmobilität und Mobilitätsstationen werden für das Trendszenario 2035 zugrunde gelegt.

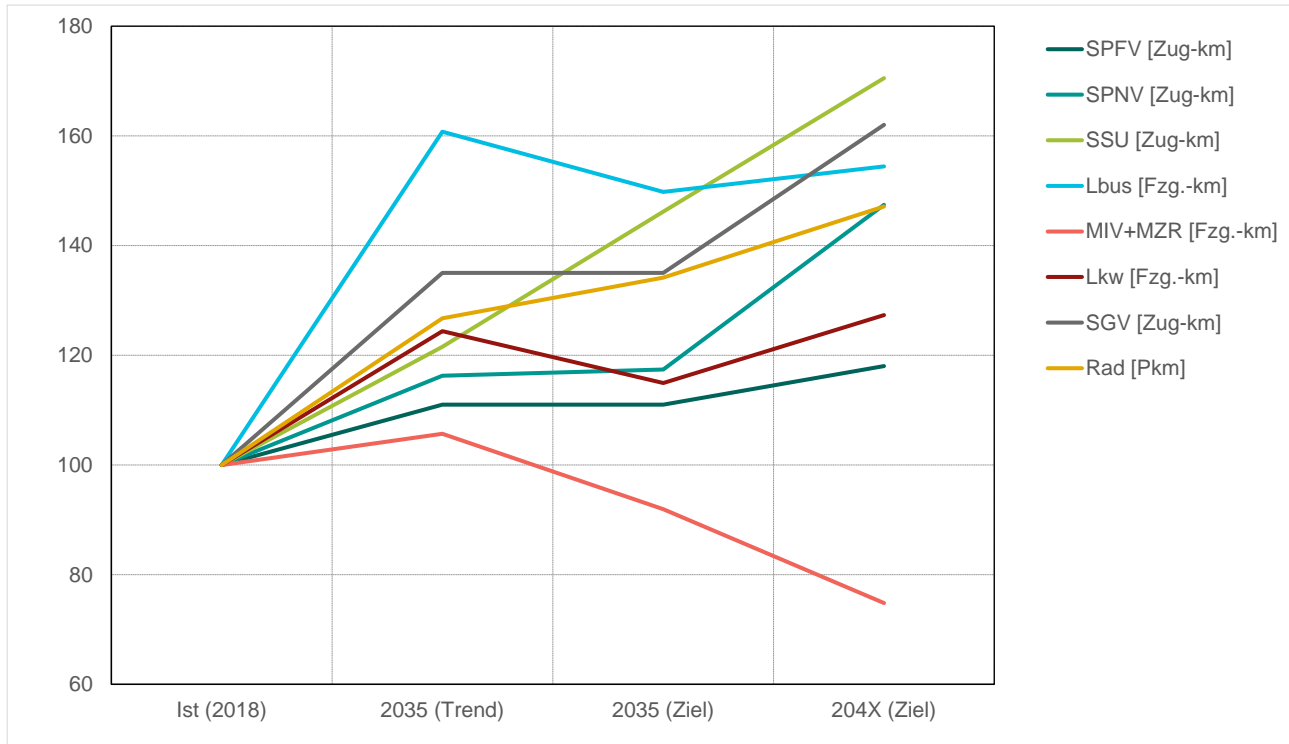
Für das Trendszenario 2035 wird eine flächendeckende Fahrzeuergreifung (inkl. Fahrräder) und damit einhergehende Verkehrssteuerung inkl. lastabhängiger Steuerung von Lichtsignalanlagen angenommen, um den Verkehr so klimafreundlich wie möglich abzuwickeln. Zudem wird davon ausgegangen, dass HOV-Lanes (High-Occupancy-Vehicles) bzw. Umweltspuren eingerichtet sind, um die Besetzungsgrade in den Fahrzeugen zu erhöhen und den Umweltverbund weiter zu priorisieren.

Eine genaue Auflistung aller Maßnahmen und der zugehörigen Umsetzungsgrade in den Szenarien kann dem Anhang entnommen werden.

3.5.2 Entwicklung der Fahrleistung pro Verkehrsmittel sowie des Modal Split

Die Entwicklung der Fahrleistung pro Verkehrsmittel wurde für die verschiedenen Szenarien mit Hilfe von Verkehrsmodellen berechnet. Unter den oben geschilderten Prämissen nimmt die Fahrleistung aller Verkehrsmittel des Umweltverbunds demnach stark zu, während die Fahrleistung des MIV in beiden Zielszenarien deutlich unter den Ausgangswert von 2018 fällt.

Abbildung 3-8: Entwicklung der Fahrleistung im Stadtgebiet der LHM nach Verkehrsmitteln (indiziert; 2018 = 100)



Erläuterung der Abkürzungen:

- SPFV: Schienenpersonenfernverkehr (Fernverkehrszüge)
- SPNV: Schienenpersonennahverkehr (S-Bahn und Nahverkehrszüge)
- SSU: Straßenbahn und U-Bahn
- Lbus: Linienbus
- MIV+MZR: Motorisierter Individualverkehr (Pkw) und Motorisierte Zweiräder (Motorräder)
- SGV: Schienengüterverkehr

Quelle: Intraplan, eigene Berechnungen

Der angenommene ÖPNV-Ausbau führt zu einer Steigerung der Fahrleistung von Tram und U-Bahn (SSU) um 70 % im Zielszenario 204X gegenüber 2018 und beim Schienenpersonennahverkehr, der neben Nahverkehrszügen insbesondere die S-Bahn umfasst, um 47 %. Dagegen wird der Zuwachs beim Linienbusverkehr (im Trendszenario 2035 +60 % gegenüber 2018) in den Zielszenarien durch den verstärkten Ausbau bei Tram und U-Bahn (SSU) sowie S-Bahn (SPNV) gebremst („nur noch“ jeweils rund +50 % gegenüber 2018).

Auch die Fahrleistung des Radverkehrs nimmt durch die angenommenen Maßnahmen stark zu (+34 % im Zielszenario 2035 und +47 % im Zielszenario 204X gegenüber 2018).

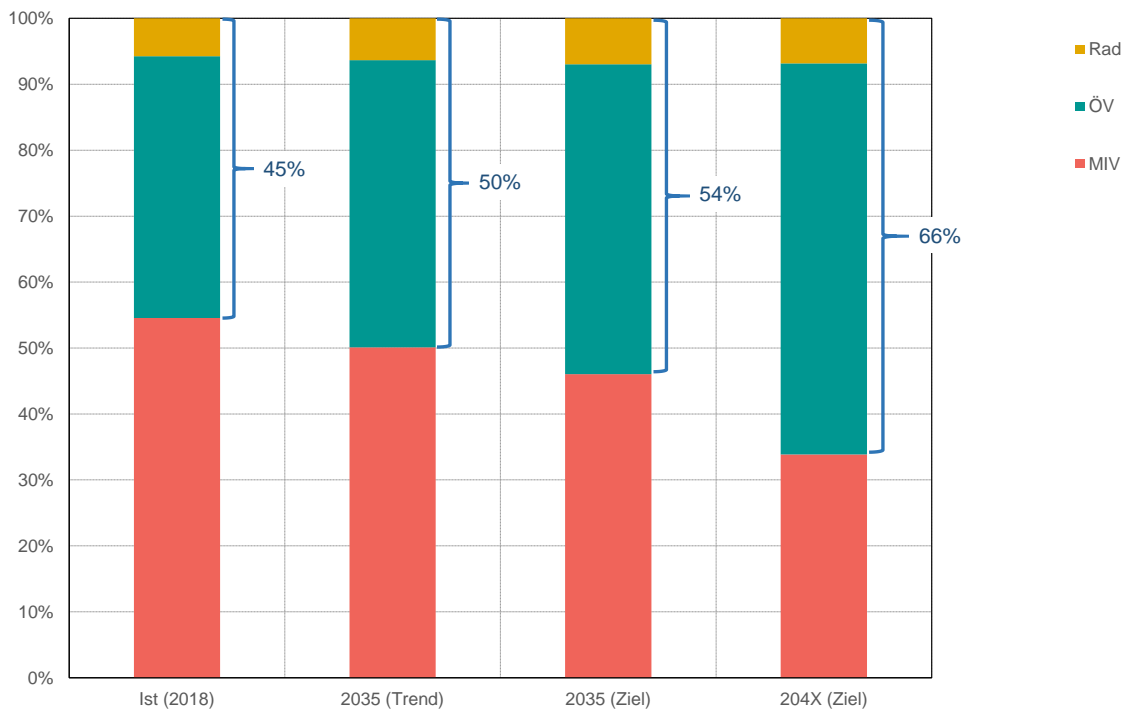
Die Fahrleistung von Pkws und motorisierten Zweirädern nimmt im Trendszenario 2035 leicht zu (+6 %), fällt aber in den beiden Zielszenarien deutlich unter den Wert von 2018 (-8 % bzw. -25 %). Der MIV ist somit das einzige Verkehrsmittel mit einer rückläufigen Fahrleistung in den beiden Zielszenarien.

Der Lkw-Verkehr nimmt bis 2035 um 25 % (Trendszenario) bzw. 15 % (Zielszenario) gegenüber 2018 zu. Für das Zielszenario 204X ist aufgrund des Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstums mit

einer weiteren Zunahme zu rechnen. Dies spiegelt sich auch in der Zunahme des Schienengüterverkehrs wider (Zunahme im Szenario 204X 62 %), der zwar steilere Wachstumskurven in der indizierten Fahrleistung aufweist, insgesamt im städtischen Güter- und Wirtschaftsverkehr aber eine untergeordnete Rolle spielt.

Betrachtet man die Entwicklung des Modal Split im Personenverkehr auf Basis dieser Veränderungen bei den Fahrleistungen der einzelnen Verkehrsmittel, so zeigt sich, dass der Anteil des motorisierten Individualverkehrs (in Pkm) von 55 % im Jahr 2018 auf 50 % (2035 Trend) bzw. 46 % (2035 Ziel) und schließlich deutlich auf 34 % im Zielszenario 204X zurückgeht. Der Umweltverbund (Öffentlicher Personennahverkehr und Radverkehr) kann seinen Anteil dagegen von 45 % im Jahr 2018 über 50 % (Trendszenario 2035) bzw. 54 % (Zielszenario 2035) auf 66 % im Zielszenario 204X deutlich ausbauen. Es gilt zu beachten, dass der Modal Split hier auf die Verkehrsleistung (d. h. die zurückgelegte Anzahl an Personenkilometern) bezogen wird, da nur so eine Umrechnung in den Endenergieverbrauch und somit die THG-Emissionen erfolgen kann. Im Unterschied hierzu wird in der verkehrspolitischen Diskussion oft von dem auf die Anzahl der Wege bezogenen Modal Split gesprochen, der jedoch keinen Rückschluss auf die erbrachte Verkehrsleistung zulässt.

Abbildung 3-9: Anteile des Modal Split im Personenverkehr (bezogen auf die Verkehrsleistung in Personenkilometer) mit Anteil des Umweltverbundes



Quelle: Intraplan, eigene Berechnungen

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass eine deutliche Verlagerung vom MIV auf den ÖPNV erzielt werden kann, wenn die ÖPNV-Kapazitäten bis in die 2040er Jahre entsprechend den Annahmen für das Zielszenario ausgebaut und durch entsprechende Push-Pull-Maßnahmen begleitet werden. Unter Push-Maßnahmen werden dabei jene Maßnahmen verstanden, die den MIV unattraktiver

machen (z. B. Intensivierung der Parkraumbewirtschaftung), und unter Pull-Maßnahmen jene, die den Umweltverbund attraktiver machen (z. B. Absenkung des Tarifniveaus im ÖPNV).

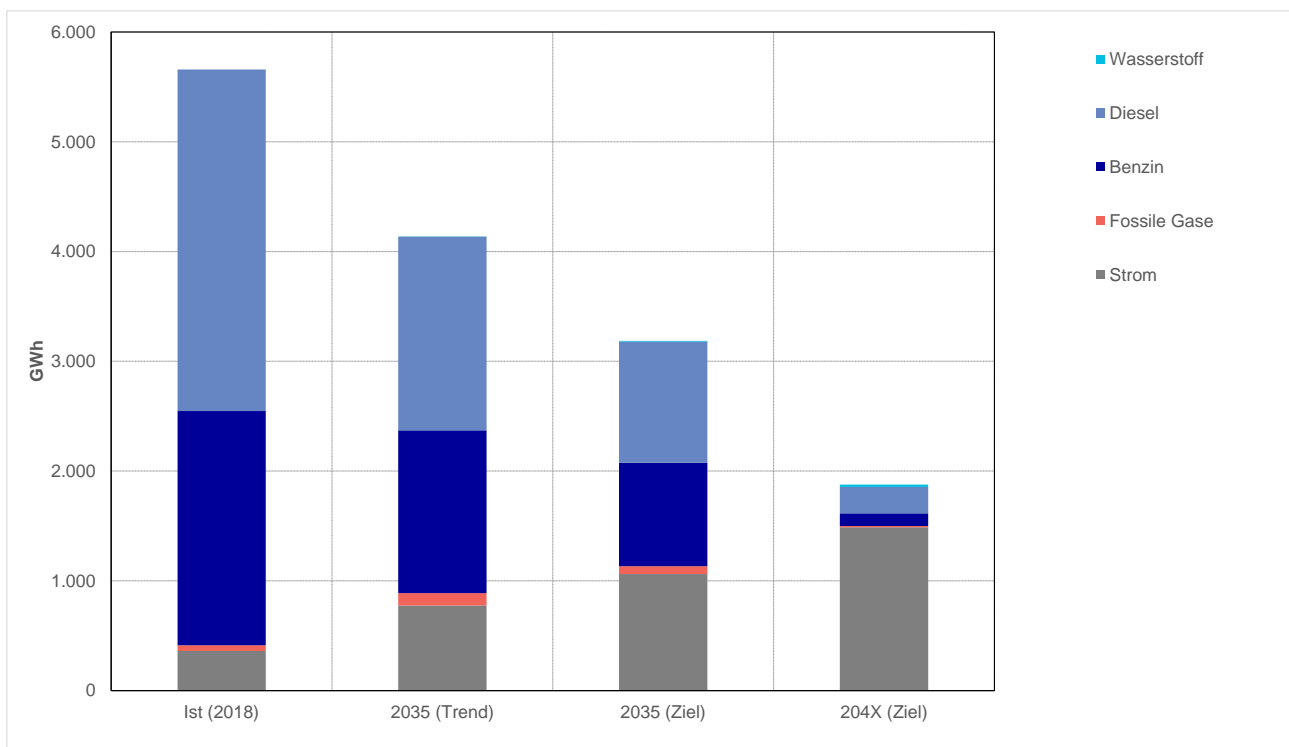
3.5.3 Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehr

Der gesamte Endenergieverbrauch im Verkehr nimmt von 5.700 GWh im Ausgangsjahr 2018 im Trendszenario 2035 auf 4.100 GWh ab, dies entspricht einem Rückgang um 27 %. Im Zielszenario 2035 erhöht sich der Rückgang des Energieverbrauchs auf knapp 44 % mit dann noch 3.200 GWh. Im weiteren Verlauf bis zum Zielszenario 204X sinkt der Verbrauch nochmals deutlich auf 1.900 GWh, was einer Reduktion von 67 % gegenüber dem Jahr 2018 entspricht. Pro Kopf der Bevölkerung bedeutet dies einen Rückgang von 3,8 MWh 2018 auf 2,5 MWh (Trendszenario 2035) bzw. 1,9 MWh (Zielszenario 2035) und schließlich 1,1 MWh pro Jahr im Zielszenario 204X.

Dass es trotz einer insgesamt weiter ansteigenden Fahrleistung zu diesen deutlichen Rückgängen kommt, liegt an den Veränderungen im Modal Split und dem in den Szenarien stark steigenden Anteil batterieelektrischer Pkw (siehe Tabelle 3-12), die einen wesentlich niedrigeren Endenergieverbrauch aufweisen als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

Bei den eingesetzten Energieträgern reduziert sich der Anteil fossiler Quellen deutlich: während dieser 2018 noch bei rund 94 % liegt, sinkt er im Trendszenario 2035 auf 81 % und im Zielszenario 2035 auf 66 %. Im Zielszenario 204X liegt er noch bei 20 %.

Abbildung 3-10: Energieverbrauch des Verkehrs im Stadtgebiet nach Energieträgern



Quelle: Intraplan, eigene Berechnungen

4 Zusammenfassung des Trendszenarios

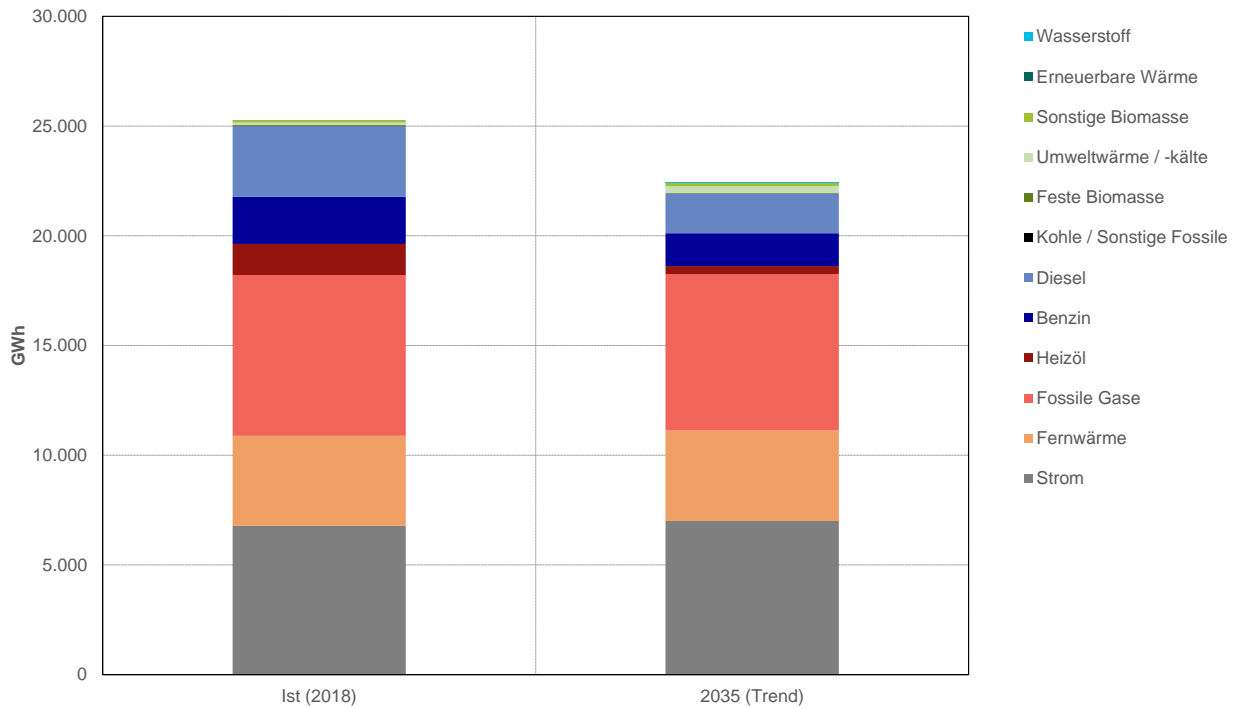
In diesem Kapitel wird zunächst der Endenergieverbrauch aller Sektoren im Trendszenario zusammenfassend dargestellt. Hieran schließt sich eine Betrachtung der lokalen Erzeugung von Strom und Fernwärme an. Auf dieser Basis erfolgt dann die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen. Die Darstellung fokussiert sich auf den Vergleich des Basisjahres 2018 mit dem Trendszenario für das Jahr 2035. Bei den stationären Sektoren des Energieverbrauchs werden zudem Zeitreihen bis 2050 dargestellt (vgl. zur Methodik Kapitel 2.1).

In Kapitel 9 finden sich zusammenfassende Tabellen der Ergebnisse für die Szenarien Trend und Ziel.

4.1 Entwicklung des gesamten Endenergieverbrauchs

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Endenergieverbrauch im Trendszenario 2035 im Vergleich zum Basisjahr 2018 in einer Aufschlüsselung nach Energieträgern. Demnach geht der gesamte Verbrauch nur moderat um etwa 11 % zurück. Bei den Energieträgern ergeben sich unterschiedliche Entwicklungen: Der Verbrauch der fossilen Energieträger geht insgesamt um 24 % zurück, dies betrifft jedoch insbesondere Heizöl (minus 74 %) und die fossilen Kraftstoffe Benzin und Diesel (minus 38 %). Der Verbrauch von Erdgas (fossilen Gasen) kann dagegen nur minimal um 3 % reduziert werden. Der Einsatz von Strom und Fernwärme steigt leicht an. Bei Fernwärme und Erdgas wird die Reduktion durch die moderat verbesserte Effizienz der Gebäude, durch die Substitution von mit Heizöl betriebenen Heizungsanlagen und die zusätzliche Nachfrage in Neubauten also etwa ausgeglichen. Demgegenüber werden im motorisierten Verkehr deutliche Veränderungen hin zur Elektromobilität erwartet.

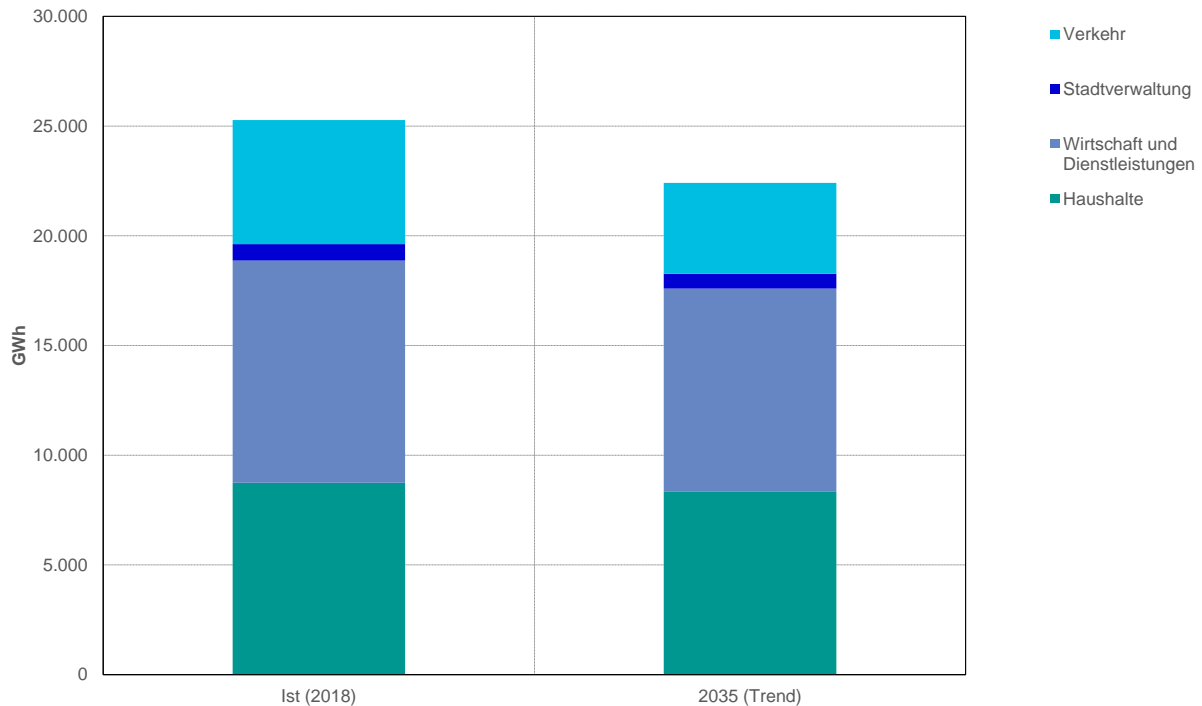
Abbildung 4-1: Gesamter Endenergieverbrauch nach Energieträgern (Trendszenario 2035 im Vergleich zum Ist 2018)



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

In Abbildung 4-2 ist die Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf die Sektoren der Energienachfrage dargestellt. Dabei wurde die in Kapitel 3.1 dargestellte Gebäudewärme den Verbrauchssektoren der privaten Haushalte, Wirtschaft und Dienstleistungen und Stadtverwaltung zugeordnet, um die Vergleichbarkeit mit anderen Szenarien zu verbessern. Der viele Branchen umfassende Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen hat im Basisjahr 2018 mit 40 % den größten Anteil am Endenergieverbrauch. Der Anteil der Stadtverwaltung liegt bei 3 %. Im Trendszenario ist der relative Rückgang des Verbrauchs im Sektor Verkehr mit 27 % am größten, im Sektor der privaten Haushalte geht der Verbrauch dagegen nur um etwa 4 % zurück. Bei Wirtschaft und Dienstleistungen und der Stadtverwaltung liegt der Rückgang bei 9 %.

Abbildung 4-2: Gesamter Endenergieverbrauch nach Sektoren (Trendszenario 2035 im Vergleich zum Ist 2018)



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

4.2 Stromverbrauch und lokale Erzeugung von Strom und Fernwärme

4.2.1 Methodik und Annahmen

In diesem Kapitel wird für beide Szenarien beschrieben, wie die Erzeugung von Strom und Fernwärme im Stadtgebiet modelliert wurde. Hierbei werden drei Kategorien von Stromerzeugungsanlagen unterschieden:

- Großanlagen mit einer Leistung von 10 und mehr MW_{el},
- kleinere mit fossilen Brennstoffen oder mit Biomasse betriebene Stromerzeugungsanlagen mit einer Leistung <10 MW_{el} (einschl. kleine KWK-Anlagen bzw. BHKW) sowie
- weitere Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (ohne Biomasse-KWK).

Bei den Großanlagen (ab 10 MW_{el}) handelt es sich um die Heizkraftwerke der SWM einschließlich der Abfallverbrennung am Standort Nord. Die Annahmen für die Entwicklung dieser Anlagen wurden aus der Wärmestudie (FfE, Öko-Institut 2021) übernommen. Als Basisjahr der Betrachtungen liegen für diese Anlagen Daten des Jahres 2017 zugrunde. Für das Trendszenario sind folgende Annahmen relevant:

- Bei den großen Heizkraftwerken wird der Kohleblock Nord 2 vor dem Modell-Stützjahr 2030 stillgelegt und durch eine neue Anlage ersetzt. Hierfür wird die aktuell geplante, mit Gas betriebene „GuD3“ am Standort Nord angenommen. Die Heizkraftwerke am Standort Süd werden

nach der aktuellen Modernisierung weiter betrieben. Ab dem Jahr 2030 wird für alle drei gasbetriebenen Heizkraftwerke Erdgas als Energieträger eingesetzt.

- Die Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung ergibt sich aus den Modellergebnissen der Wärmestudie für das dortige Referenzszenario. Aufgrund des Ausbaus der Geothermie und der angenommenen Veränderungen bei den Preisen für Energie und CO₂-Emissionsrechte sinkt die KWK-Stromerzeugung demnach bis zum Jahr 2035 gegenüber dem Jahr 2017 um etwa ein Viertel und steigt dann bis 2045 wieder leicht an.
- Zudem erzeugen die Heizkraftwerke in den Zeiträumen, in denen dies betriebswirtschaftlich sinnvoll ist, auch Strom ohne Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung und stützen damit das deutsche Stromsystem. Basierend auf Szenariorechnungen der SWM wurde hier ein gegenüber dem Jahr 2017 leicht ansteigender Trend angenommen.

Für die kleineren mit fossilen Brennstoffen oder Biomasse betriebenen Stromerzeugungsanlagen unter 10 MW_{el} (einschließlich BHKW) sowie für PV-Anlagen und Wasserkraftwerke wurden Ausgangsdaten aus dem von der Bundesnetzagentur geführten Marktstammdatenregister entnommen. Überdies wurde auf Daten aus dem Emissionshandelsregister¹¹ zurückgegriffen und auf Umwelterklärungen entsprechend EMAS einzelner Münchner Unternehmen insbesondere zur Validierung der Input-/Output-Daten zu Energieträgern (u. a. Jahresbetriebsstunden und genutzte Leistung). Zur Validierung der Nutzung erneuerbarer Energieträger wurden zudem öffentlich zugängliche Daten der SWM herangezogen (z. B. zu Vergütungskategorien nach EEG).

Bei der zukünftigen Entwicklung des Einsatzes dieser Anlagen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Gas-befeuerte kleine KWK >1 MW_{el} wird im Trend-Szenario bis 2030 durch ebensolche Gas-befeuerte Anlagen ersetzt, allerdings werden deren jährliche Vollbenutzungsstunden (VBH) ab 2025 reduziert (v. a. wegen des steigenden CO₂-Preises), für kleine BHKW <1 MW_{el} gilt das Gleiche, sie werden nur noch wärmegeführt betrieben. Die VBH werden 2020 mit 4.000, 2030 mit 3.500 und 2035 mit 3.000 h angesetzt.

Im Ziel-Szenario gehen alle kleineren KWK-Anlagen <10 MW_{el} bis 2035 sukzessive vom Netz. Es erfolgt kein Ersatz- oder Zubau (Ausnahme: Notstromaggregate z. B. in Krankenhäusern). Die Zukunft der Gas-Verteilnetze ist unsicher, daher wird im Zielszenario nicht in teure KWK-Anlagen investiert werden.

- Erdöl-befeuerte Anlagen >1 MW_{el} scheiden im Trendszenario bis 2040 aus, Netzersatzanlagen (NEA) bleiben am längsten bestehen und gehen sukzessive bis 2050 vom Netz. Erdöl-befeuerte Notstromaggregate (NSA) in Krankenhäusern werden bis 2045 durch Bio-Methanol o. ä. flüssige und in Tanks speicherbare erneuerbare Energieträger (EE) ersetzt. Die VBH werden für 2020 mit 500, 2030 mit 450 und 2035 mit 400 VBH angesetzt. Für das EE-Substitut werden für 2030 50 und für 2035 100 VBH angesetzt.

¹¹ Am europäischen Emissionshandelssystem (EU-ETS) müssen Großfeuerungsanlagen mit einer Feuerungswärmeleistung über 20 MW_{el} teilnehmen. In München sind dies Anlagen von BMW AG, MAN Truck & Bus AG, MTU Aero Engines AG, SWM Services GmbH. Bis vor einigen Jahren fielen noch Anlagen des Brauereigewerbes, einer Hochschule sowie ein weiteres Industriekraftwerk unter das Regime des EU-ETS.

Im Zielszenario scheiden Erdöl-befeuerte Anlagen >1 MW_{el} bereits bis 2035 aus, NEA bleiben am längsten erhalten und gehen sukzessive bis 2040 vom Netz. Erdöl-befeuerte NSA in Krankenhäusern werden bis 2035 sukzessive durch Bio-Methanol o. a. flüssige EE ersetzt. Die VBH werden für 2030 mit 300 und für 2035 mit 0 angesetzt. Vom EE-Substitut werden 300 VBH für 2030 und 500 VBH für 2035 angesetzt.

Für die Ermittlung der Ausgangsdaten der Stromerzeugung aus EE wurde auf Daten des THG-Monitorings der LHM bzw. der SWM zurückgegriffen. Zur Validierung der Daten zu Biomasse- und PV-Anlagen (insbesondere zur territorialen Abgrenzung der Anlagen auf Münchner Stadtgebiet) wurden zudem Daten aus dem Marktstammdatenregister herangezogen.

Bei der zukünftigen Entwicklung des Einsatzes dieser Anlagen wurden folgende Annahmen getroffen:

- **Wasserkraft** macht heute noch den größten Anteil an der Stromerzeugung durch EE aus. Allerdings ist das Potenzial an Wasserkraftwerken in der Stadt ausgeschöpft, hier wird nur noch mit einer technischen Effizienzsteigerung von 3 % innerhalb von 5-Jahreszeiträumen kalkuliert (für Trend- und Zielszenario).
- Biogener Anteil im **Abfall**: Im Jahr 2017 wurden von den SWM etwa 54 GWh Strom aus dem biogenen Anteil des Restabfalls und aus Klärschlamm erzeugt, im Jahr 2018 waren es 60 GWh (SWM 2020). Sowohl im Trend- als auch im Zielszenario wird davon ausgegangen, dass dieser Wert noch leicht ansteigt. Dahinter steht die auch in der Wärmestudie getroffene Annahme, dass die eingesetzte Abfallmenge insgesamt etwa konstant bleibt, sich der Anteil biogener Fraktionen im Zeitverlauf jedoch leicht auf 60 % bis 2035 und 70 % bis 2045 erhöht.
- **Photovoltaik (PV)** ist die einzige erneuerbare Energiequelle, die in München zur Stromgewinnung noch wesentlich ausgebaut werden kann. Die gut 4.800 EEG-PV-Anlagen, die im Jahr 2018 in München installiert waren, besaßen 2018 eine Gesamtleistung von 63,3 MWp und haben insgesamt etwa 43 GWh Strom ins Netz eingespeist (LHM 2021a).¹² Die SWM fokussieren mit ihrer „Ausbauoffensive Erneuerbare Energien“ nur zu einem kleinen Anteil auf Münchner Stadtgebiet, allerdings sind andere Akteure wie z. B. die Wohnungsbaugesellschaften aktiv: Der Zubau neuer PV-Anlagen lag in München 2020 mit über 600 neu installierten Anlagen bei mehr als 8,6 MWp (vgl. BNetzA 2021). Damit wurden die hohen Ausbauraten der Jahre 2010 und 2011 nach einem Rückgang in den Folgejahren wieder übertroffen. Die knapp 5.000 bis Ende des Jahres 2020 in München installierten PV-Anlagen besaßen eine Gesamtleistung von 73,5 MWp (vgl. BNetzA 2021). Im Trendszenario wird deshalb ein Ausbau von 8 MWp pro Jahr zugrunde gelegt. In beiden Szenarien wird zudem eine technologisch bedingte Steigerung der Erzeugung von 1,5 %/a kalkuliert, da hier die angenommene Effizienzsteigerung von PV-Modulen mit einfließt (vgl. Fraunhofer ISE 2021 und Deutsche Energie-Agentur (dena) 2021).

Einschneidende Veränderungen der ökonomischen, technologischen und rechtlichen Rahmenbedingungen und entsprechende Vorgaben der Bundes- und Landespolitik (z. B. durch Vorgaben zur PV-Pflicht in Neubauten von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden, Bestandsgebäuden, stärkere finanzielle Anreize) sind Grundannahmen für das Zielszenario (vgl. HIC 2020). Angenommen werden zudem technologische Fortschritte bei bauwerksintegrierter und -applizierter PV (BIPV und BAPV) und weiterer integrierter PV (PV-Module mit lichtdurchlässigen

¹² Das entspricht durchschnittlich 682 VBH pro Jahr und damit deutlich weniger als 1.000 VBH, mit denen heute für gewöhnlich für Münchner Verhältnisse gerechnet wird (vgl. Fraunhofer ISE (2021)).

Zellzwischenräumen z. B. für Parkplätze, Road Integrated Photovoltaics), die von der Bundesgesetzgebung und der kommunalen Bauleitplanung aufgegriffen werden (vgl. Deutsche Energie-Agentur (dena) 2021).

Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass fast alle Maßnahmen mehrere Jahre Vorlauf benötigen, um geplant und an die spezifischen Bedingungen der LHM angepasst, beschlossen, von den Zielgruppen wahrgenommen, akzeptiert und implementiert zu werden. Bei der unmittelbaren Umsetzung stellt der Fachkräftemangel ein weiteres Hemmnis dar. Der Ausbau erfolgt im Zielszenario in kalkulierten Phasen und weitestgehend abgestimmt mit der parallel durchzuführenden Sanierung der Gebäude:

- Phase 1 2021-2023: Jährlicher moderater Aufwuchs des PV-Wachstums um 9-12 MWp/a, weil die Maßnahmen der SWM und der LHM greifen, öffentlichkeitswirksame Ankündigung eines zu entwickelnden „Masterplans Solares München“.
 - Phase 2 2024-2028: Stärkerer Anstieg (Zubau 15-60 MWp/a), weil alle neuen Siedlungen (aufgrund von B-Plänen) und viele neue einzelne Gebäude mit PV belegt werden und (städtische) Wohnungsbaugesellschaften ihre energetisch sanierten Mehrfamilienhäuser (MFH) konsequent mit PV bedachen. Ab 2025 wird jeder Neubau mit PV ausgestattet (aufgrund von PV-Festsetzungen in einfachen Bebauungsplänen oder Regelungen auf Bundes-/Landesebene).
 - Phase 3 2029 ff: Ab jetzt wird auch jede Dachrenovierung mit PV ausgestattet, zusätzlich auch einige Fassaden; Massenmarkt für die o. g. Technologien BIPV und BAPV.
 - Phase 4 2035 ff: Konsequente Nachrüstung auch von weiteren bestehenden Dächern und energetisch sanierten Fassaden mit PV.
- Mit etwa 36 GWh/a steht die Erzeugung von Strom aus **Klär gas** an vierter Stelle der EE. Klär gas entsteht als Abfallprodukt aus der Klärschlammbehandlung und ist mengenmäßig v. a. von der quantitativen Entwicklung der in München lebenden, arbeitenden bzw. sich aus anderen Gründen (Tourismus z. B.) aufhaltenden Bevölkerung sowie von technischen Effizienzsteigerungen abhängig. Im Klärwerk Gut Großlappen fällt Klär gas mit einem Primärenergiegehalt von > 90 GWh/a an. Hier werden verschiedene Maßnahmen umgesetzt, die einerseits zu einer Effizienzsteigerung in beiden Szenarien führen, andererseits höheren Stromverbrauch erzeugen (vgl. Kapitel 3.3).¹³
 - **Biomasse** wird derzeit mit 16 GWh genutzt (LHM 2021a): Die Anzahl der im Stadtgebiet installierten Biomasseanlagen lag 2020 bei 10 Anlagen und hat sich damit um eine gegenüber 2018 verringert. Die installierte Leistung dieser Anlagen beträgt 3,6 MW. Die Nutzung von Holz zur Energiegewinnung gilt zwar vordergründig als klimaneutral, weil Holz ein nachwachsender Rohstoff ist, dennoch wird bei der Verbrennung von Stammholz das durch die Photosynthese über Jahre gespeicherte CO₂ wieder freigesetzt. Bis neue Bäume in Jahrzehnten nachgewachsen sind, ist die CO₂-Bilanz negativ.¹⁴ In den Szenarien wird gleichermaßen davon ausgegangen, dass zur

¹³ Das Klärwerk Gut Marienhof liegt nicht auf Münchner Territorium und wird deshalb hier nicht mit betrachtet.

¹⁴ Von der in der EU zu Energiezwecken verwendeten Biomasse ist über 60 % holzbasiert. Unter dem steigenden Brennholzbedarf leiden gegenwärtig insbesondere naturnahe Wälder, in der EU v. a. in Rumänien, Bulgarien und in Skandinavien. Die zusätzlich angelegten „Kurzumtriebsplantagen“ sind

Biomassenutzung nur Restholz aus dem Stadtgebiet infrage kommt und diese Mengen geringer sind als die derzeit verbrannten. Die bestehenden Anlagen werden mit einer Laufzeit von 20 Jahren kalkuliert und dann jeweils aus der Berechnung genommen. Den Berechnungen liegen jeweils 4.000 VBH zugrunde.

- **Windenergie** hat aufgrund der dichten Bebauung nur geringes Potenzial auf dem Stadtgebiet, das mit der Anfang 2021 in Freimann in Betrieb genommenen zweiten Anlage ausgeschöpft ist (Trend- und Zielszenario).
- **Geothermie:** Hier wurde angenommen, dass diese im Stadtgebiet nicht zur Stromerzeugung, sondern vorrangig für die Fernwärme genutzt wird.

4.2.2 Fernwärmeerzeugung und zentrale Kraft-Wärme-Kopplung

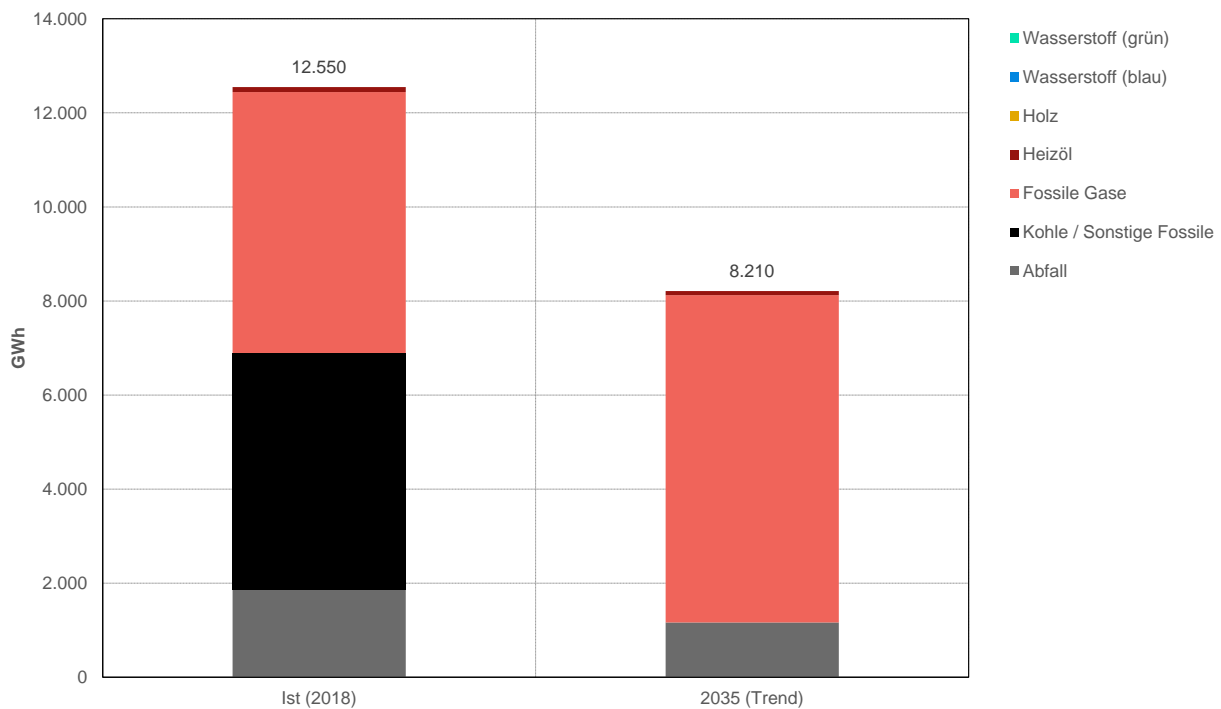
Für den Verlauf der Fernwärmeerzeugung wurden ebenfalls die Ergebnisse der Wärmestudie übernommen (FfE, Öko-Institut 2021). Das dort entwickelte Referenzszenario ist durch folgende Entwicklungen geprägt:

- Die gesamte Fernwärmeerzeugung bleibt wie auch die Nachfrage bis 2035 etwa konstant und ist danach leicht rückläufig.
- Das Trendszenario enthält bereits die Umsetzung der recht ambitionierten Planungen der SWM zum Ausbau der tiefen Geothermie. Im Jahr 2035 erreicht die Geothermie einen Anteil von 41 % der gesamten Fernwärmeerzeugung. Dieser hohe Wert resultiert auch daher, dass unter den getroffenen Annahmen zur Entwicklung der Preise von Energieträgern und CO₂-Emissionsrechten der Einsatz der Heizkraftwerke in diesem Jahr noch etwas stärker zurückgeht, als es aufgrund des Ausbaus der Geothermie zu erwarten gewesen wäre. In den darauffolgenden Jahren wird damit gerechnet, dass sich die Wirtschaftlichkeit der Heizkraftwerke wieder verbessert. Im Jahr 2045 wird sowohl für die Geothermie wie auch für die mit Erdgas betriebene KWK mit einem Anteil von etwa 37 % der Fernwärmeerzeugung gerechnet.
- Der Anteil der Abfallverbrennung an der Fernwärmeerzeugung liegt im Trendszenario konstant bei ca. 17 %. Der verbleibende Anteil von etwa 8-9 % der Erzeugung wird durch Heizwerke abgedeckt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Energieeinsatz zur Erzeugung von Strom und Wärme in der Kraft-Wärme-Kopplung und in Heizwerken in München im Trendszenario. Aufgrund der vorstehend genannten Effekte sinkt dieser Energieeinsatz in 2035 gegenüber dem Stand von 2018 um etwa ein Drittel. Kohle wird dann nicht mehr eingesetzt. Aufgrund des ansteigenden Einsatzes von Erdgas bleibt der Anteil fossiler Energieträger gegenüber dem Jahr 2018 unverändert bei etwa 90 %.

zudem schädlich für die Qualität der Böden sowie für den Wasserkreislauf und bieten keinen Lebensraum für Biodiversität (vgl. JRC (2021)).

Abbildung 4-3: Energieeinsatz zur lokalen Erzeugung von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung und Heizwerken (Trendszenario 2035 im Vergleich zum Ist 2018)



Ohne Eigenstromerzeugung der MSE.

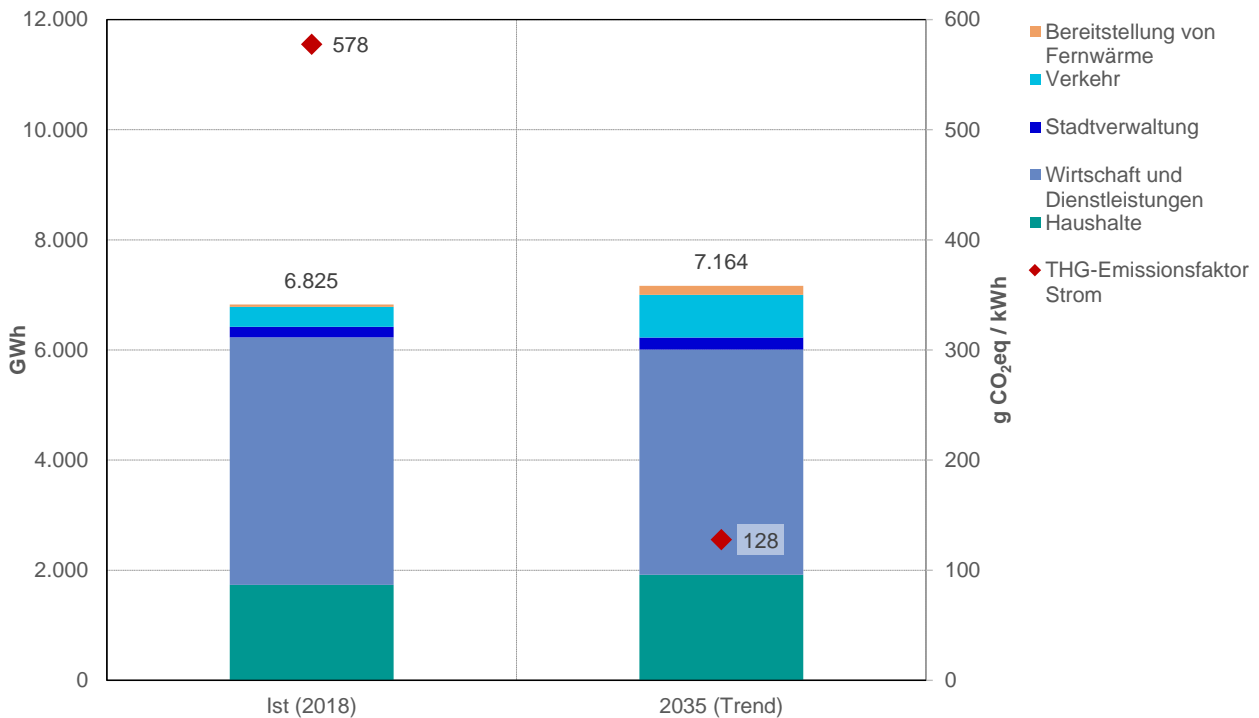
Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan sowie FfE, Öko-Institut (2021)

4.2.3 Gesamter Stromverbrauch

Der Stromverbrauch in der Stadt setzt sich zusammen aus dem unmittelbaren Bedarf der Verbrauchssektoren und dem Bedarf der in der Fernwärme eingesetzten strombasierten Erzeugungsanlagen und der Umwälzpumpen des Fernwärmenetzes. Im Trendszenario steigt der Stromverbrauch der Sektoren private Haushalte, Wirtschaft und Dienstleistungen, Stadtverwaltung und Verkehr bis zum Jahr 2035 mit 3 % leicht gegenüber dem Wert des Jahres 2018 an. Der Stromverbrauch für die Bereitstellung von Fernwärme ist gegenüber diesen Sektoren von untergeordneter Bedeutung.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Stromverbrauch im Basisjahr 2018 und im Trendszenario 2035 nach Sektoren. Der gesamte Verbrauch steigt um 5 % an. Dabei wird im hier besonders bedeutenden Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen aufgrund einer erhöhten Energieeffizienz einerseits und einer moderaten Elektrifizierung von Anwendungen letztlich mit einem leichten Rückgang des Stromverbrauchs gerechnet. In den anderen Sektoren steigt der Stromverbrauch aufgrund einer ebenfalls moderaten Umstellung der Wärmeerzeugung auf Wärmepumpen und der Elektrifizierung im Verkehr leicht an

Abbildung 4-4: Gesamter Stromverbrauch nach Sektoren (Trendszenario 2035 im Vergleich zum Ist 2018)



Der Emissionsfaktor für Strom ist auf der rechten Achse abgetragen.

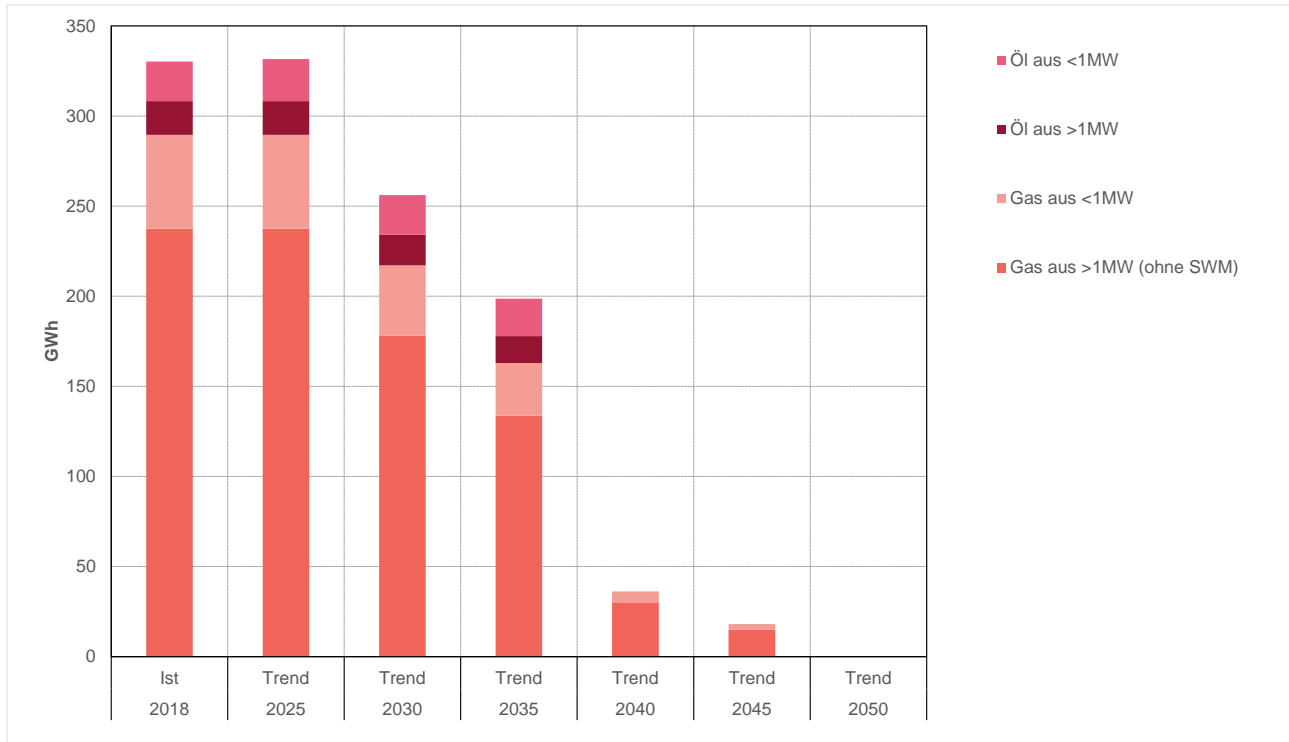
Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Die Abbildung 4-4 zeigt auch die für beide Szenarien einheitlich angenommene Entwicklung des Emissionsfaktors der Stromerzeugung auf Bundesebene (vgl. zur Methodik Kapitel 4.3). Basierend auf einem von den SWM für die Wärmestudie entwickelten Rahmenszenario wird hier von einem Rückgang der spezifischen Emissionen um mehr als 75 % bis zum Jahr 2035 ausgegangen. Diese erwartete Entwicklung und die Perspektive auf eine nahezu emissionsfreie Stromerzeugung im Jahr 2045 sind die Voraussetzung für die in den Klimaschutz-Szenarien verfolgten Strategien einer Elektrifizierung von Anwendungen in den Bereichen Wärme, Verkehr und gewerblichen Prozessen.

4.2.4 Dezentrale Stromerzeugung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die im Trendszenario angenommene Entwicklung der dezentralen KWK-Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen.

Abbildung 4-5: Dezentrale KWK-Stromerzeugung mit fossilen Brennstoffen (ohne große SWM-Anlagen) im Trendszenario



Quelle: Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von Bundesnetzagentur 2021 (<https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht>)

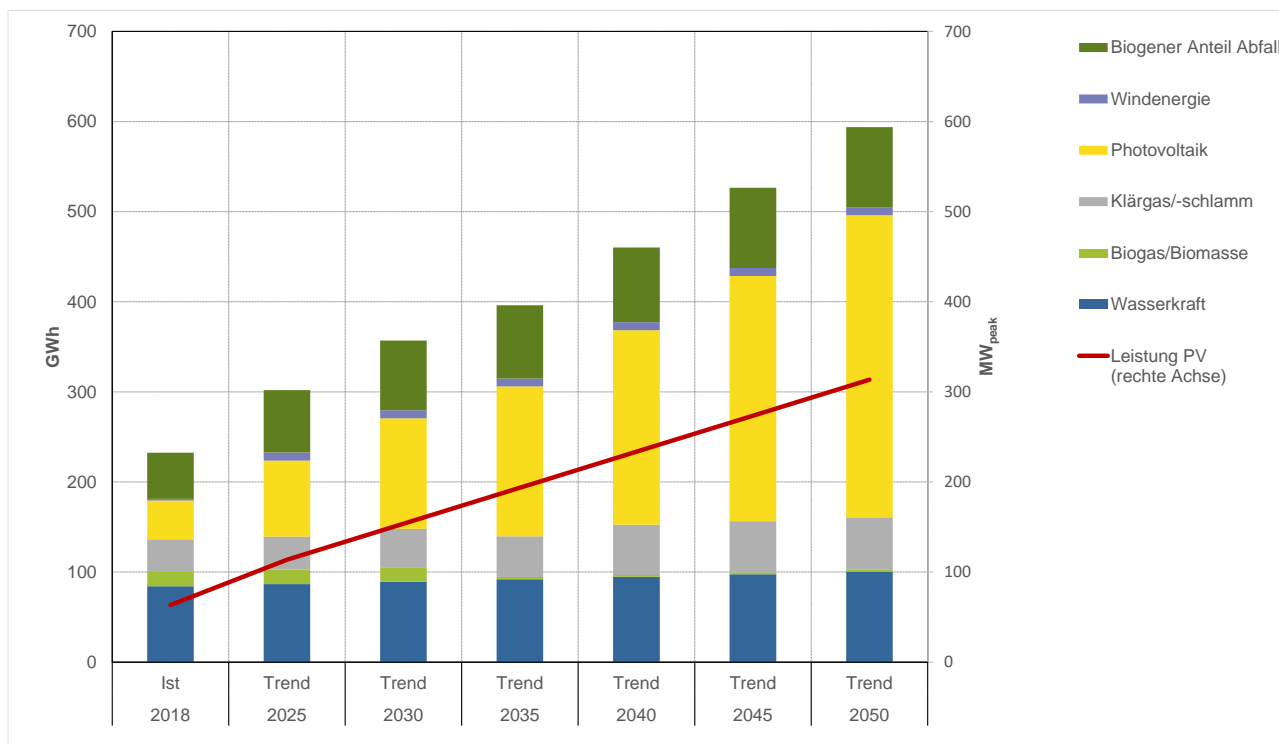
Die dezentrale Stromerzeugung in mit fossilen Brennstoffen betriebenen KWK-Anlagen wird von 330 GWh im Jahr 2018 (davon 238 GWh aus Anlagen zwischen 1 und 10 MW_{el}) bis 2035 im Trendszenario auf etwa 200 GWh sinken (dies entspricht einem Rückgang um 40 %). Zum Vergleich: Der Startwert des Jahres 2018 entspricht knapp 5 % des Stromverbrauchs der Stadt. Bis Mitte des Jahrhunderts gehen diese kleinen Anlagen alle vom Netz, weil sie inzwischen über das BEHG erfasst werden und damit das Signal steigender CO₂-Preise Wirkung entfaltet. Dies führt dazu, dass die Vollbenutzungsstunden im Jahr sukzessive zurückgehen und Anlagenbetreiber entweder zur Fernwärme wechseln oder Wärmepumpen einsetzen. Der Effekt wirkt sich etwas weniger stark auf mit Heizöl betriebene Anlagen aus (2018 etwa 41 GWh, 2035 noch 36 GWh). Hier ist auch der Einsatz von fossilem Zündöl in der Strom-Eigenerzeugung der MSE enthalten. Die anderen, dezentralen Anlagen dienen meist als Netzersatzanlagen bzw. Notstromaggregate. Viele dieser Anlagen werden bis 2040 ausgetauscht und durch andere Technologien ersetzt. Unverzichtbare, häufig Öl-betriebene Notstromaggregate z. B. in Krankenhäusern werden umgerüstet, so dass sie mit flüssigen und dezentral lagerbaren EE (z. B. Bioethanol) betrieben werden können. Der Beitrag zur Gesamtstromerzeugung wird aber aufgrund der geringen Jahresbetriebsstundenzahl sehr gering sein (bis 2050 knapp 0,3 GWh).

Obgleich auch zumeist in KWK betrieben, werden die zur Eigenstromerzeugung genutzten, mit Klärgas betriebenen Anlagen der MSE (36 GWh in 2018) sowie weitere mit Biomasse befeuerte Anlagen (16 GWh in 2018) hier nicht gelistet, da es sich dabei um EE-Anlagen handelt.

Bei der Stromerzeugung aus EE gibt es im Trendszenario einen eindeutigen Wandel (vgl. Abbildung 4-6): Der Gesamtertrag steigt von 232 GWh in 2018 auf 396 GWh in 2035 an und wird sich bis 2050 mit 575 GWh mehr als verdoppeln. Die bedeutendste EE ist heute noch die Wasserkraft. Mittelfristig sind im Trendszenario Photovoltaik und die energetische Abfallverwertung diejenigen Energieträger, die merklich zulegen: Werden die von der LHM und der SWM anvisierten Zubauraten umgesetzt und die Zubaurate von 2020 fortgeschrieben, dann sind auf Münchner Stadtgebiet 2035 194 MWp PV installiert mit einem Ertrag von 166 GWh. Aus der energetischen Abfallverwertung werden weitere 81 GWh gewonnen. 2050 wird mit einem Ertrag von 335 GWh aus PV (bei 314 MWp installierter Leistung) und 89 GWh aus dem biogenen Anteil des Abfalls kalkuliert. Die installierte PV-Leistung ist in Abbildung 4-6 als Linie dargestellt.

Die aus Abfall gewonnene Strommenge steigt, weil der biogene Anteil des Abfalls ansteigt. Die aus Klärgas bzw. Klärschlamm gewonnene Strommenge steigt aufgrund der steigenden Zahl der Einwohnenden und aufgrund von Effizienzsteigerungen kontinuierlich. Das bisher bei der MSE eingesetzte (fossile) Zündöl wird ab dem Jahr 2040 durch einen erneuerbaren Energieträger substituiert. Die aus Biomasse gewonnene Strommenge geht sukzessive zurück, weil bestehende Anlagen so lange nicht erneuert werden, bis keine Biomasse mehr in die Stadtgrenzen eingeführt werden muss und nur noch (bilanziell) innerhalb des städtischen Territoriums anfallendes Restholz genutzt wird.

Abbildung 4-6: Entwicklung des Ausbaus erneuerbarer Energien auf Münchner Stadtgebiet im Trendszenario



Quelle: Hamburg Institut und Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von RKU (2021), MSE (2020a) und MSE (2020b), FfE, Öko-Institut (2021), Fraunhofer ISE (2021), HIC (2020), Bundesnetzagentur Marktstammdatenregister

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Daten der Abbildung 4-6 im Detail.

Tabelle 4-1: Entwicklung des Ausbaus erneuerbarer Energien auf Münchner Stadtgebiet im Trendszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend
GWh							
Wasserkraft	84	87	89	92	95	98	100
Biogas/Biomasse	16	16	15	3	2	2	2
Klärgas/-schlamm	36	37	43	45	56	57	58
Windenergie	2	9	9	9	9	9	9
Photovoltaik	43	84	123	166	216	272	335
Biogener Anteil Abfall	51	69	78	81	83	89	89
Summe	232	302	357	396	460	527	594
MW (Peak)							
Leistung PV	63	114	154	194	234	274	314

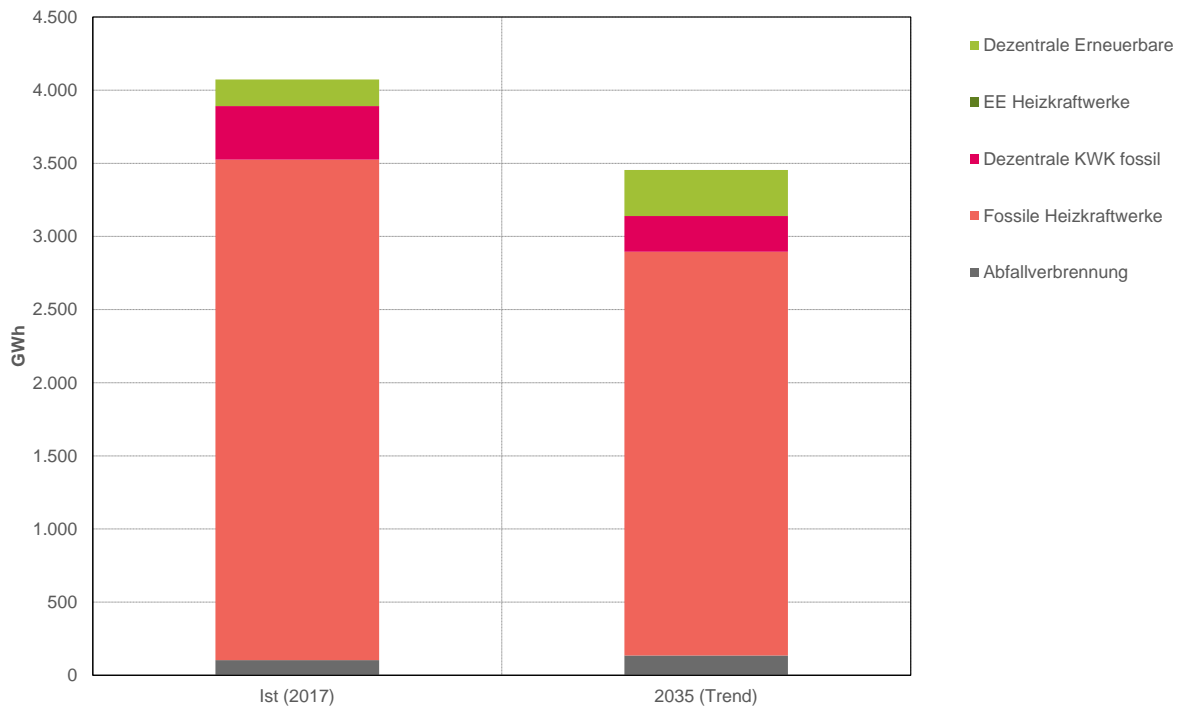
Quelle: Hamburg Institut und Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von RKU (2021), MSE (2020a) und MSE (2020b), FfE, Öko-Institut (2021), Fraunhofer ISE (2021), HIC (2020), Bundesnetzagentur Marktstammdatenregister

4.2.5 Zusammenfassung zur lokalen Energieerzeugung

Die Abbildung 4-7 stellt die Stromerzeugung im Stadtgebiet im Trendszenario im Vergleich zum Ausgangswert des Jahres 2017 dar. In 2017 konnte der Stromverbrauch der Stadt (incl. Verteilverluste) in Höhe von etwa 7.000 GWh zu knapp 60 % aus lokaler Erzeugung gedeckt werden. Von der erzeugten Strommenge stammten jedoch nur etwa 6 % aus erneuerbaren Energien. Im Trendszenario 2035 reduziert sich die Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung sowohl aus den großen Anlagen der SWM wie auch aus dezentralen Anlagen deutlich. Die lokale erneuerbare Stromerzeugung erhöht sich dagegen um knapp 75 %, so dass der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung im Stadtgebiet auf etwa 11 % ansteigt. Im Trendszenario 2035 werden noch gut 45 % des auf etwa 7.400 GWh angestiegenen Stromverbrauchs (incl. Netzverluste) lokal erzeugt. Die hier dargestellten Daten fließen zusammen mit den Emissionen der Erzeugungsanlagen in die Berechnung des Territorialmixes Strom für die Treibhausgasbilanzierung ein.

An dieser Stelle muss erneut darauf hingewiesen werden, dass die neueren Entwicklungen seit dem Februar 2022 in den hier dargestellten Szenarien nicht mehr berücksichtigt werden konnten.

Abbildung 4-7: Stromerzeugung in München im Trendszenario



Incl. der Eigenstromerzeugung der MSE.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan sowie FfE, Öko-Institut (2021)

4.3 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen erfolgt in Anlehnung an die Empfehlungen des BSKO-Standards, der auch die methodische Grundlage für das Treibhausgas-Monitoring der Stadtverwaltung ist (ifeu 2019). Dementsprechend werden die direkten und indirekten Emissionen an CO₂ und anderen Treibhausgasen aus dem Einsatz von Energieträgern im Stadtgebiet in die Bilanzierung einbezogen. Indirekte Emissionen, z. B. aus der Ernährung, dem sonstigen Konsum oder der Nutzung von Produkten im Bau und anderen Teilen der Wirtschaft können bei dieser territorial orientierten Bilanzierung nicht berücksichtigt werden, sofern die betreffenden Produkte nicht in München hergestellt werden. Im Rahmen der Empfehlungen des Fachgutachtens werden diese hier nicht quantifizierten Bereiche dennoch mit adressiert.

Gemäß dem BSKO-Standard wird ein bundesweit einheitlicher Emissionsfaktor für Strom verwendet. Dieser Faktor, auf den die lokale Stromerzeugung keinen Einfluss hat, wurde bereits in Abbildung 4-4 dargestellt. Die spezifischen Emissionen der Fernwärmeerzeugung wurden aus den Ergebnissen der Modellrechnungen der Wärmestudie übernommen. Die nachfolgende Tabelle zeigt die in der Treibhausgasbilanzierung verwendeten Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme.

Tabelle 4-2: THG-Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme im Trendszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend
	g CO ₂ e/kWh						
Strom (Bundesmix)	578	352	241	128	35	17	0
Fernwärme	263	171	134	107	102	96	97
nachrichtlich: Strom (Territorialmix)	658			264			

Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021)

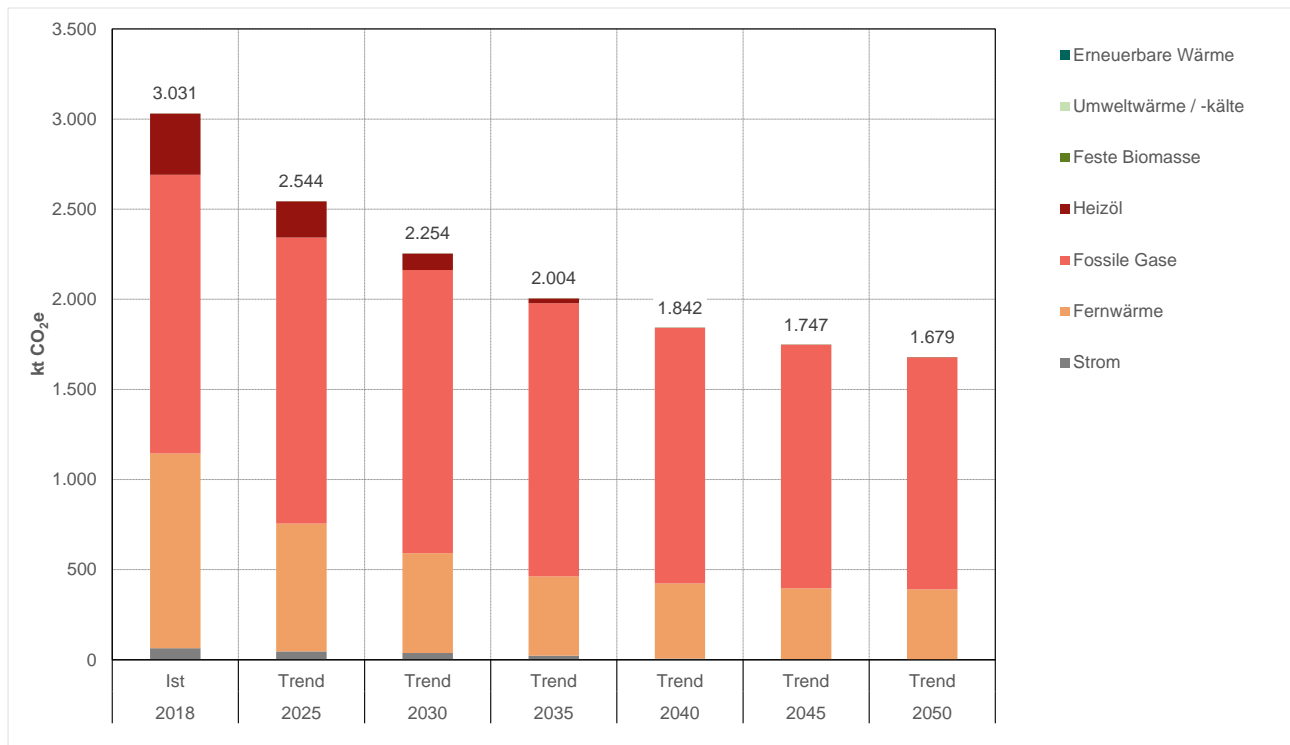
Da der BSKO-Standard als Variante die Ausweisung der Emissionen des Stromverbrauchs einer Kommune auf Basis eines Territorialmixes zulässt, wird dieser Wert hier nachrichtlich für die Jahre ausgewiesen, für die im Rahmen des Fachgutachtens ermittelt wurde.¹⁵ Die Tabelle zeigt, dass der Emissionsfaktor des Territorialmixes im Ausgangsjahr 2018 und im Trendszenario 2035 höher liegt als der bundesweite Emissionsfaktor. Grund hierfür sind die im Vergleich zum gesamten Bundesgebiet höheren spezifischen THG-Emissionen der Stromerzeugung im Stadtgebiet, vor allem aufgrund des Einsatzes von Kohle und Erdgas für die Erzeugung von Strom und Fernwärme in Kraft-Wärme-Kopplung.

4.3.1 Wärme

Die Treibhausgasemissionen des gesamten Wärmesektors (inkl. des Wärmeverbrauchs der Stadtverwaltung) sind in Abbildung 4-8 dargestellt. Sie sinken von etwa 3.000 kt CO₂e im Jahr 2018 über etwa 2.000 kt CO₂e im Jahr 2035 auf unter 1.700 kt CO₂e im Jahr 2050 ab. Die Emissionen aus der Verbrennung von fossilem Erdgas dominieren den gesamten Zeitraum des Trendszenarios. Im Jahr 2035 liegen die auf Erdgas basierenden Emissionen nur 2 % unter dem Wert des Jahres 2018, bis 2050 wird ein Rückgang um knapp 17 % erreicht. Die Emissionen aus Heizöl, die in 2018 noch gut 10 % aller THG-Emissionen bei der Gebäudewärme ausmachen, können bis 2035 auf ein vernachlässigbar geringes Niveau abgesenkt werden. Aufgrund des deutlich sinkenden Emissionsfaktors für Fernwärme sinken die entsprechenden Emissionen bis 2035 um 60 % und bis 2050 um knapp 65 %.

¹⁵ Bei der Berechnung des Territorialmixes wird angenommen, dass der Strombedarf einer Kommune vorrangig durch die lokale Stromerzeugung auf dem Stadtgebiet mit den entsprechenden Emissionen gedeckt wird. Nur das hierbei in der Regel auftretende Defizit wird als Strombezug aus dem vorgelagerten Netz betrachtet und mit den Emissionen des bundesweiten Strommixes bewertet. Diese vereinfachte Betrachtung wird auf Basis der Summenwerte eines Kalenderjahres durchgeführt, die zeitlichen Verläufe von Erzeugung und Nachfrage werden dabei also nicht betrachtet.

Abbildung 4-8: Entwicklung der THG-Emissionen des Wärmesektors (incl. Stadtverwaltung) im Trendszenario



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan sowie FfE, Öko-Institut (2021)

Tabelle 4-3 zeigt die Entwicklung der Treibhausgasemissionen des Wärmesektors im Trendszenario für 2018 sowie ab 2025 in Fünfjahresschritten bis 2050. Die Werte sind in der obigen Abbildung 4-8 grafisch dargestellt.

Tabelle 4-3: Entwicklung der THG-Emissionen des Wärmesektors im Trendszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend
kt CO ₂ e							
Strom	63	46	37	22	7	3	0
Fernwärme	1.081	710	554	441	417	392	391
Fossile Gase	1.547	1.586	1.571	1.516	1.418	1.351	1.287
Heizöl	340	201	91	26	1	1	0
Feste Biomasse	1	0	0	0	0	0	0
Umweltwärme / -kälte	0	0	0	0	0	0	0
Erneuerbare Wärme	0	0	0	0	0	0	0
Summe	3.031	2.544	2.254	2.004	1.842	1.747	1.679

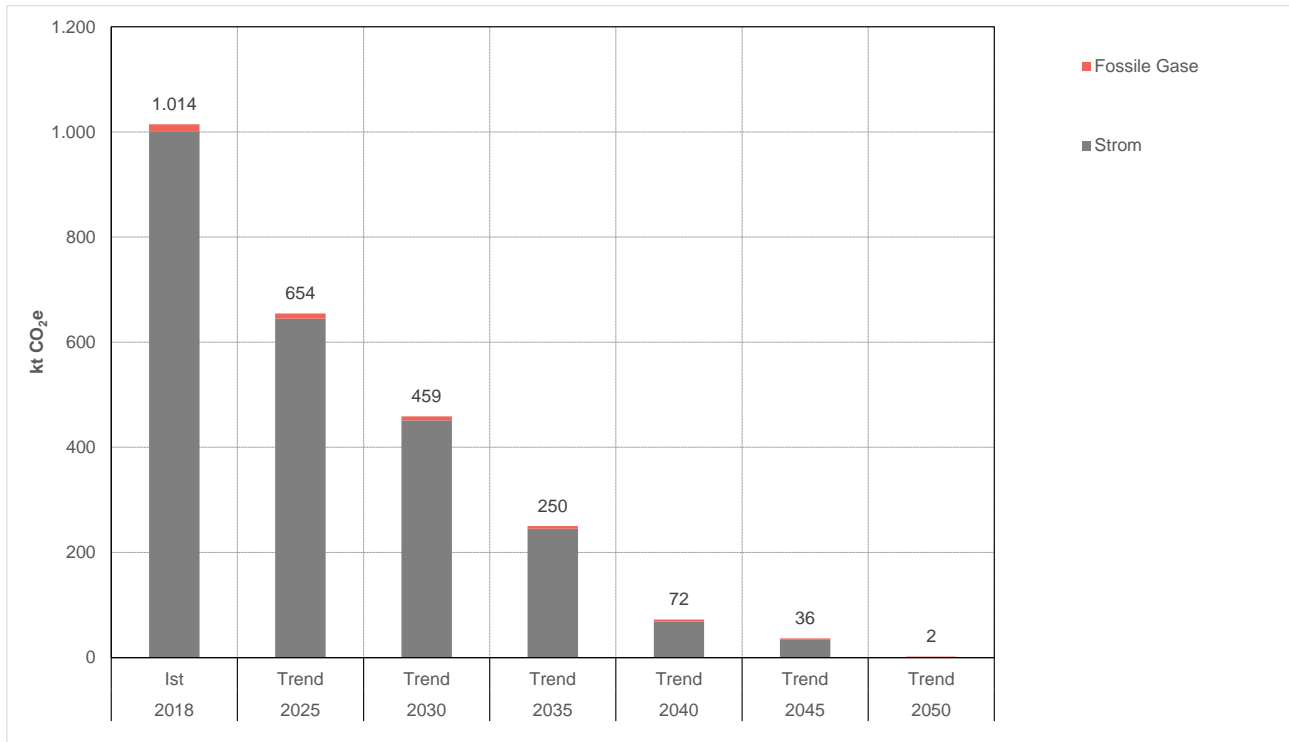
Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan sowie FfE, Öko-Institut (2021)

4.3.2 Strom und Kochgas in privaten Haushalten

Abbildung 4-9 zeigt die Entwicklung der THG-Emissionen des Stromverbrauchs und des Verbrauchs an Gas zum Kochen in privaten Haushalten im Trendszenario. Trotz steigenden Stromverbrauchs bis 2050 (vgl. Kapitel 3.2) sinken die Emissionen aus dem Strombezug stark ab. Dies liegt am

starken Zubau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung auf Bundesebene und einem daher rasch absinkenden Emissionsfaktor für Strom (siehe Tabelle 4-2). Im Jahr 2030 sind die THG-Emissionen des Stromverbrauchs der privaten Haushalte gegenüber heute um mehr als 50 % reduziert, bis 2035 bereits um 75 %. Der Verbrauch an Kochgas ist insgesamt gering und fällt bei der Emissionsbilanz kaum ins Gewicht. Im Zuge des Ausstiegs aus der Nutzung von Erdgas wird sich auch dieser Bedarf deutlich verringern.

Abbildung 4-9: Entwicklung der THG-Emissionen des Verbrauchs privater Haushalte an Strom und Kochgas im Trendszenario

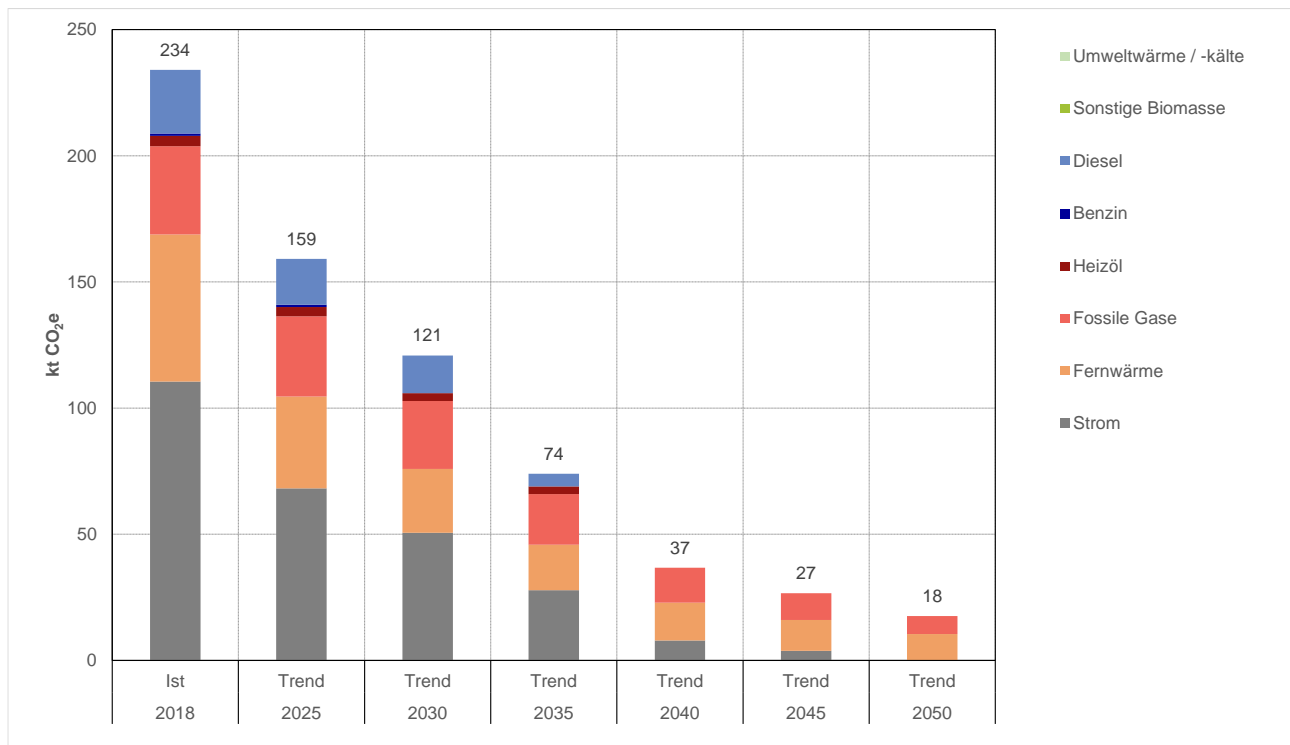


Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

4.3.3 Stadtverwaltung

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Verlauf der Treibhausgasemissionen der Stadtverwaltung im Trendszenario. Um die Überprüfung des separaten Minderungsziels für Treibhausgase der Stadtverwaltung zu unterstützen, werden hier – anders als in den Sektoren der privaten Haushalte und Wirtschaft und Dienstleistungen – die Emissionen aus dem Wärmeverbrauch der Gebäude mit ausgewiesen. Damit kommt es an dieser Stelle zu einer Überschneidung mit den in Kapitel 4.3.1 ausgewiesenen Emissionen aus städtischen Gebäuden – die Daten der einzelnen Sektoren können also nicht einfach addiert werden.

Abbildung 4-10: Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung im Trendszenario



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Die der Stadtverwaltung zuzuordnenden THG-Emissionen betragen im Jahr 2018 234 kt CO₂e und setzen sich im Wesentlichen aus den Emissionen aufgrund des Verbrauchs an Strom, Fernwärme, Erdgas und Diesel zusammen (siehe auch die in Tabelle 4-4 gezeigten Daten). Heizöl und Benzin spielen mit zusammen 5 kt CO₂e nur eine marginale Rolle. Bis 2030 können die THG-Emissionen bereits im Trendszenario fast halbiert werden, wobei hierfür die steigenden Anteile erneuerbarer Energien im bundesdeutschen Strommix und in der Münchner Fernwärmeversorgung eine entscheidende Rolle spielen. Der Ausstieg aus fossilen Energieträgern gelingt in der Stadtverwaltung im Trendszenario bis 2030 bei Benzin, bei Diesel und Heizöl erst bis zum Ende der 2030er Jahre. Reduzierte Anteile fossiler Energieträger gibt es in diesem Szenario auch noch 2050 aufgrund der Erdgasnutzung v. a. zum Heizen in angemieteten Gebäuden.

Tabelle 4-4: Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung im Trendszenario

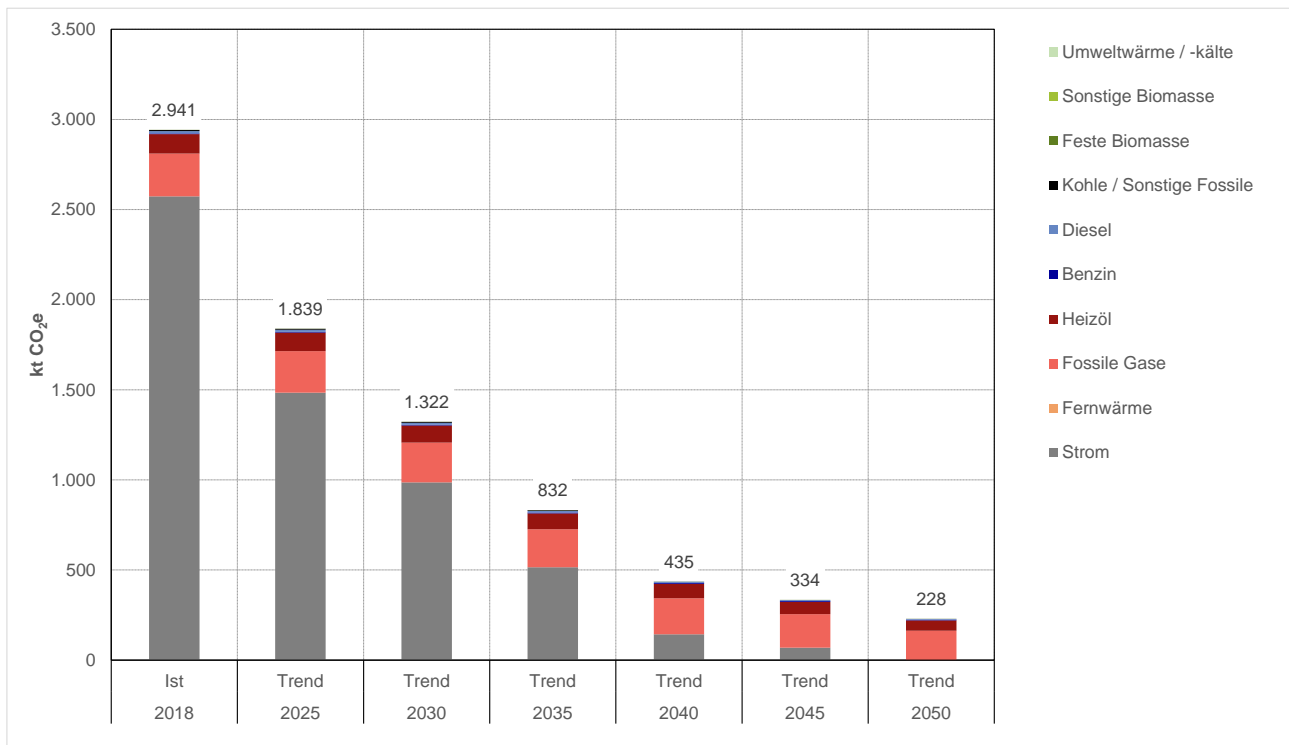
	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend	Trend
	kt CO ₂ e						
Strom	110	68	51	28	8	4	0
Fernwärme	58	36	25	18	15	12	10
Fossile Gase	35	32	27	20	14	11	7
Heizöl	4	4	3	3	0	0	0
Benzin	1	1	0	0	0	0	0
Diesel	25	18	15	5	0	0	0
Sonstige Biomasse	0	0	0	0	0	0	0
Umweltwärme / -kälte	0	0	0	0	0	0	0
Summe	234	159	121	74	37	27	18

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

4.3.4 Wirtschaft und Dienstleistungen

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Verlauf der durch Prozesse bedingten Treibhausgasemissionen im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen. Um Doppelzählungen zu vermeiden, werden die Emissionen der Stadtverwaltung, aus dem Verbrauch an Gebäudewärme sowie dem Wirtschaftsverkehr hier nicht erfasst.

Abbildung 4-11: Entwicklung der THG-Emissionen in Prozessen im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen (ohne Wirtschaftsverkehr, Gebäudewärme und Stadtverwaltung) im Trendszenario



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Die Abbildung zeigt deutlich, dass die Emissionen der Prozesse in diesem Sektor zunächst durch den Stromverbrauch dominiert werden und der Einsatz von Erdgas, Heizöl und Kraftstoffen nur einen kleinen Teil der Emissionen verursacht. Die Daten sind in der Tabelle 4-5 im Detail dargestellt.

Bis 2035 gelingt im Bereich Wirtschaft und Dienstleistungen im Trendszenario bereits eine deutliche Reduktion der THG-Emissionen um mehr als 70 %. Diese Entwicklung ist allerdings fast ausschließlich auf die Änderung des bundesdeutschen Strommixes zurückzuführen. Der Verbrauch an Strom kann im Trendszenario trotz Effizienzgewinnen wegen der erforderlichen Substitution fossiler Energieträger bis 2035 nur um knapp 10 % reduziert werden. Obgleich der Stromverbrauch dann ab 2035 etwa konstant bleibt, gelingt bei Strom aufgrund des bundesweiten Ausbaus der erneuerbaren Energien bis 2050 die Klimaneutralität.

Die THG-Emissionen aus dem Einsatz von Gas und Heizöl gehen im Trendszenario bis 2035 nur moderat zurück. Dies basiert v. a. auf technologischen Effizienzsteigerungen und der Elektrifizierung von Prozessen. Auch bis zum Jahr 2050 verbleibt ein Sockel an Emissionen aus der Nutzung von Erdgas und Heizöl, daher erreicht der Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen im Trendszenario keine Klimaneutralität.

Tabelle 4-5: Entwicklung der THG-Emissionen in Prozessen im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen (ohne Wirtschaftsverkehr, Gebäudewärme und Stadtverwaltung) im Trendszenario

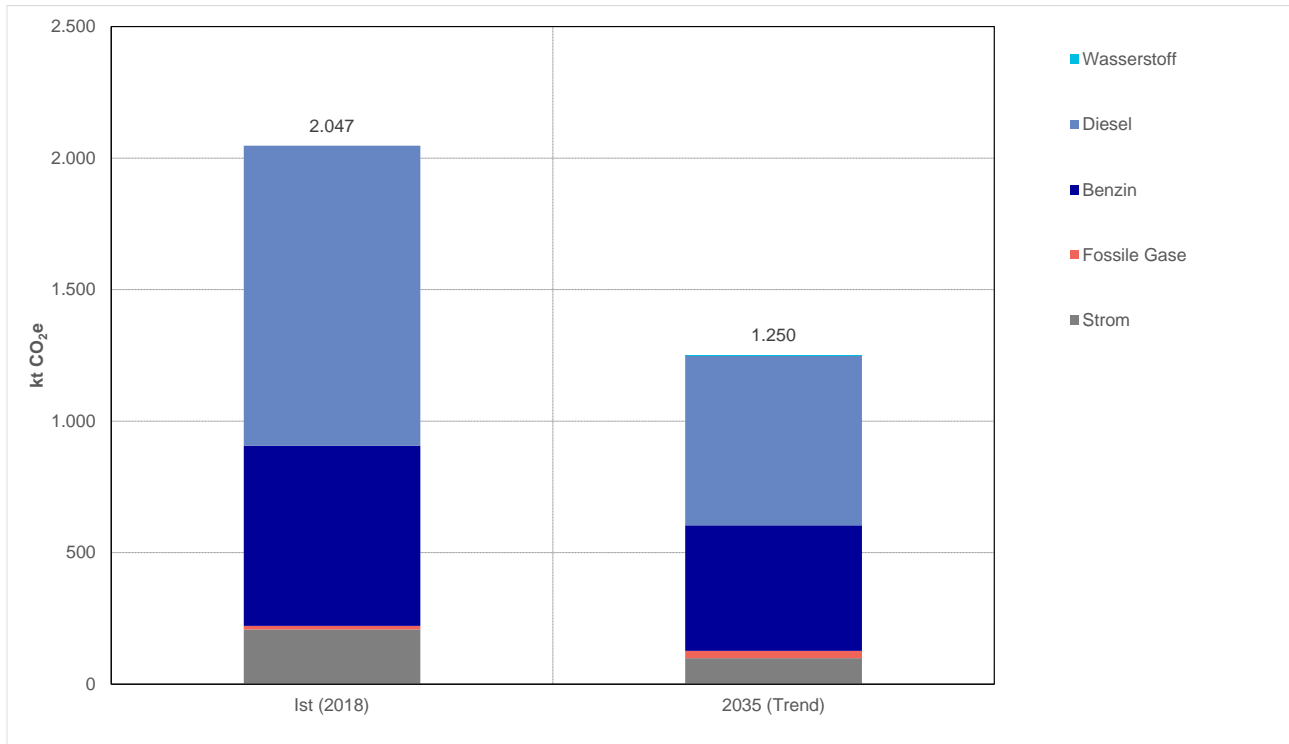
	2018 Ist	2025 Trend	2030 Trend	2035 Trend	2040 Trend	2045 Trend	2050 Trend
	kt CO ₂ e						
Strom	2.573	1.484	986	515	143	69	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0
Fossile Gase	238	231	220	210	200	186	163
Heizöl	107	103	95	89	81	69	57
Benzin	4	4	4	4	4	4	4
Diesel	13	12	11	9	7	5	4
Kohle / Sonstige Fossile	6	5	5	4	0	0	0
Feste Biomasse	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Biomasse	0	0	0	0	0	0	0
Umweltwärme / -kälte	0	0	0	0	0	0	0
Summe	2.941	1.839	1.322	832	435	334	228

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

4.3.5 Verkehr

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Verlauf der Treibhausgasemissionen des Sektors Verkehr im Trendszenario. Aus methodischen Gründen der Modellierung können hier nur das Ausgangsjahr 2018 und das Jahr 2035 dargestellt werden. Zu erkennen ist hier, dass bereits im Trendszenario eine Emissionsreduktion um knapp 40 % erreicht wird. Wesentlicher Treiber hierfür ist der Rückgang des Verbrauchs an Diesel und Benzin in diesem Szenario. Obwohl sich der Stromverbrauch des Verkehrssektors bis 2035 mehr als verdoppelt, können aufgrund des angenommenen hohen Anteils erneuerbarer Energien im Strommix die absoluten Emissionen aus dem Einsatz von Strom im Verkehrssektor halbiert werden.

Abbildung 4-12: Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrssektors im Trendszenario



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Daten der Abbildung im Detail.

Tabelle 4-6: Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrssektors im Trendszenario

	Ist (2018)	2035 (Trend)
kt CO ₂ e		
Strom	208	99
Fossile Gase	13	28
Benzin	686	477
Diesel	1.140	647
Wasserstoff	0	0
Summe	2.047	1.250

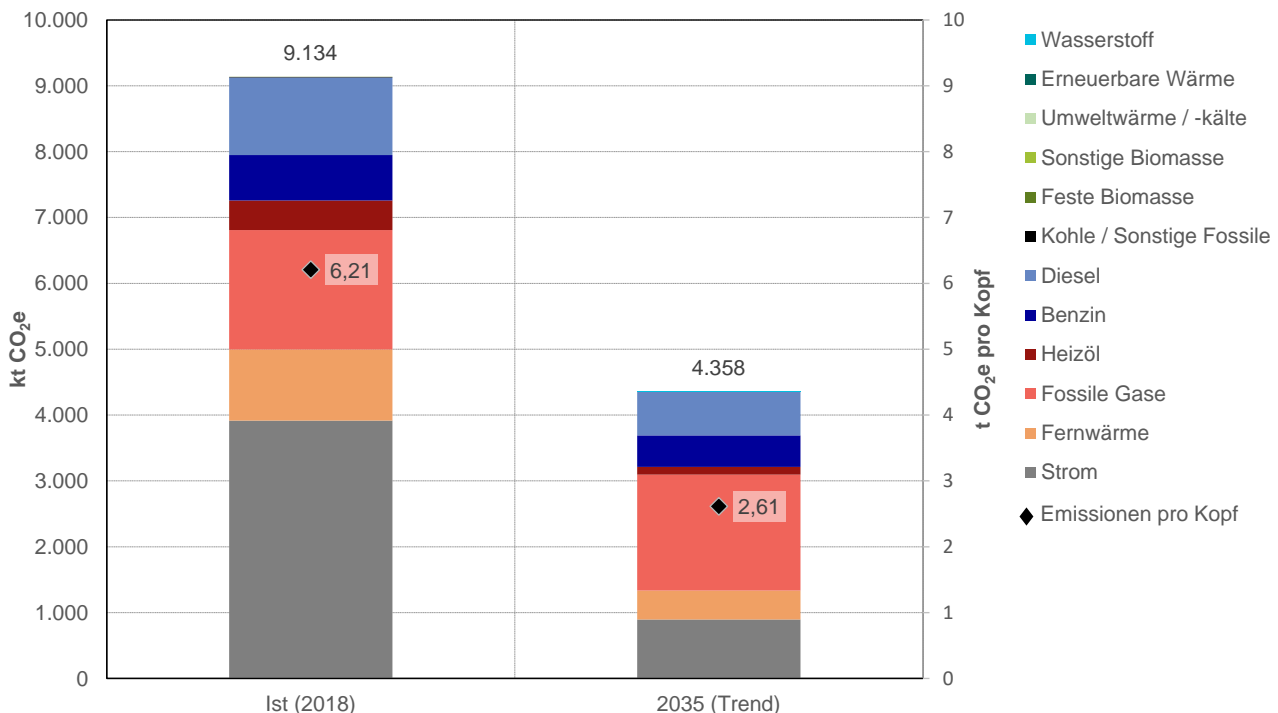
Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

4.3.6 Gesamte Treibhausgasemissionen der Stadt München

In der nachfolgenden Abbildung ist der Verlauf der gesamten Treibhausgasemissionen der Stadt München im Trendszenario 2035 im Vergleich zum Stand des Jahres 2018 dargestellt. Demnach wird bereits im Trendszenario eine Reduktion um 52 % gegenüber dem Jahr 2018 erreicht (von 9,1 Mio. auf 4,4 Mio. t CO₂e). Den größten Beitrag hierzu leistet die angenommene starke Reduktion der spezifischen Emissionen von Strom. Obwohl der Stromverbrauch leicht ansteigt, reduzieren sich die Emissionen aus dem Stromverbrauch um etwa drei Viertel. Auch bei der Fernwärme kommt es zu einer deutlichen Reduktion um etwa 60 %. Der Einsatz von Heizöl wird um etwa 75 % reduziert,

dementsprechend gehen auch die Emissionen zurück. Die Emissionen aus der Verwendung von Erdgas bleiben dagegen fast unverändert. Die Datentabellen zu den nachfolgenden Abbildungen sind in Kapitel 9 zu finden.

Abbildung 4-13: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Energieträgern und der Pro-Kopf-Emissionen im Trendszenario



Die Emissionen pro Kopf sind auf der rechten Achse abgetragen.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

In der Grafik ist ebenfalls die Veränderung der Treibhausgasemissionen pro Kopf der Bevölkerung dargestellt. Da die Bevölkerung im Stadtgebiet gemäß den getroffenen Annahmen von 2018 bis 2035 um etwa 13 % anwächst, ist der Rückgang der Pro-Kopf-Emissionen im Trendszenario 2035 mit 58 % sogar noch größer als derjenige der absoluten Emissionen.

Das hier ermittelte Emissionsniveau im Basisjahr 2018 liegt um etwa 14 % höher als die Ergebnisse des Treibhausgas-Monitorings der LHM für 2018. Dort wurden auf Basis der Software „Klimaschutz-Planer“ Emissionen von 5,4 t CO₂-Äquivalent (CO₂e) pro Kopf der Bevölkerung berechnet (LHM 2022). Dies hat mehrere methodische Gründe, die von den Fachgutachter*innen und dem RKU gemeinsam analysiert wurden. Hierbei wurden auch Möglichkeiten zur künftigen Verbesserung der Methodik des Monitorings diskutiert.

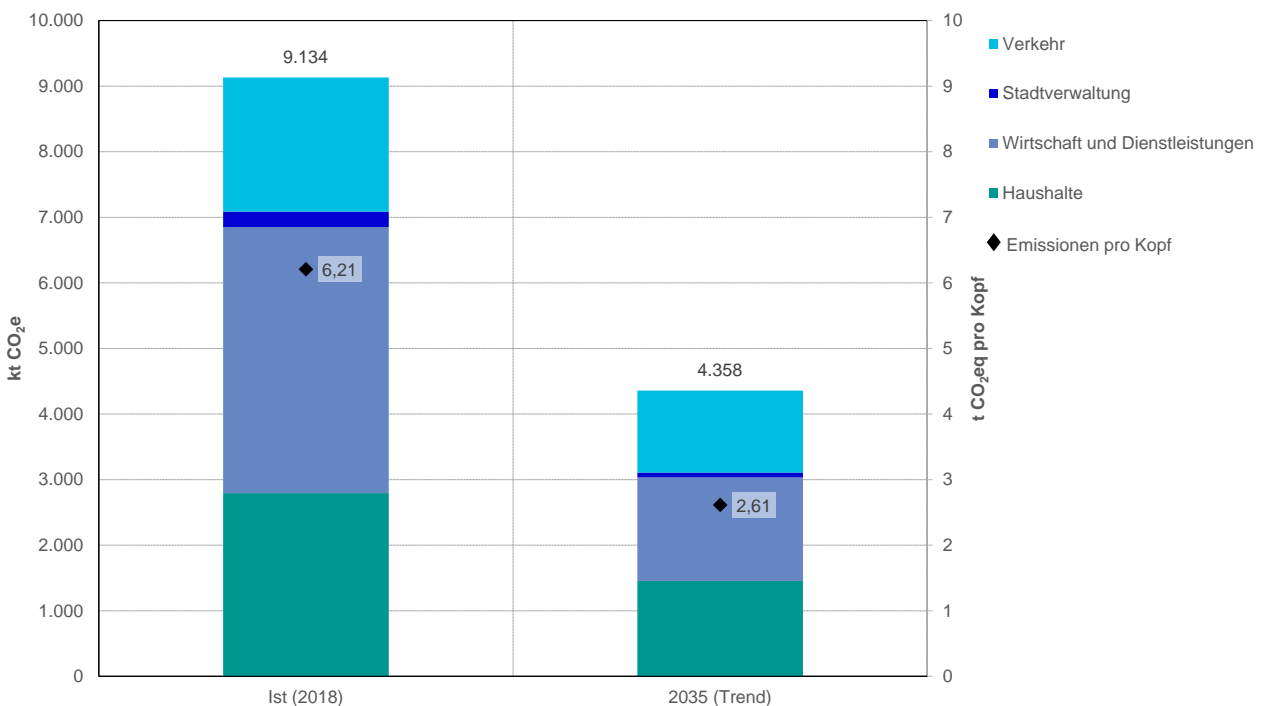
Ein grundlegender Unterschied ist, dass im vorliegenden Szenariobericht alle witterungsabhängigen Daten temperaturbereinigt dargestellt sind, während das THG-Monitoring entsprechend den Konventionen des BSKO-Standards die nicht bereinigten Werte enthält. Daher sind die Daten ohnehin nur eingeschränkt vergleichbar. Darüber hinaus basiert die Modellierung des Wärmesektors in den Szenarien auf der Wärmestudie für München (FfE, Öko-Institut 2021), deren Grundlagendaten aus 2017 stammen. Dies führt u.a. zu höheren Werten beim Erdgasverbrauch.

Auch der Heizölverbrauch wurde in der Wärmestudie höher ermittelt als im THG-Monitoring der LHM. Weitere methodische Unterschiede betreffen die angesetzten Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme.

In der nachfolgenden Abbildung ist zu erkennen, wie sich die Entwicklung der Emissionen auf die Sektoren des Energieverbrauchs verteilt. Für diese Darstellung wurden die Emissionen aus der Gebäudewärme den Verbrauchssektoren der privaten Haushalte, Wirtschaft und Dienstleistungen und Stadtverwaltung zugeordnet, um die Vergleichbarkeit mit anderen Szenarien zu verbessern.

Die höchste relative Reduktion wird mit fast 70 % im Bereich der Stadtverwaltung erreicht. Allerdings liegt der Anteil der Emissionen der kommunalen Verwaltung im Basisjahr bei nur 2,6 %, so dass die starke Senkung in Bezug auf die absoluten Emissionen nur einen begrenzten Effekt haben kann. Der Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen erbringt mit 61 % ebenfalls eine erhebliche Minderung, diese geht jedoch im Wesentlichen auf den verbesserten Strommix auf Bundesebene zurück. Die privaten Haushalte erreichen eine Reduktion um knapp 50 % und im Verkehrssektor ist die prozentuale Minderung mit knapp 40 % am geringsten.

Abbildung 4-14: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Sektoren und der Pro-Kopf-Emissionen im Trendszenario



Die Emissionen pro Kopf sind auf der rechten Achse abgetragen.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

In der vorstehend dargestellten Bilanzierung wurde der Stromverbrauch der LHM entsprechend den Empfehlungen des BSKO-Standards mit dem Emissionsfaktor des bundesweiten Strommixes bewertet. Wenn alternativ hierzu der Emissionsfaktor des Territorialmixes Strom für München herangezogen wird (vgl. hierzu die Einleitung zu Kapitel 4.3), dann erhöhen sich die gesamten THG-

Emissionen der Stadt München im Basisjahr 2018 auf 9,68 Mio. t CO₂e und im Trendszenario 2035 auf 5,34 Mio. t CO₂e.

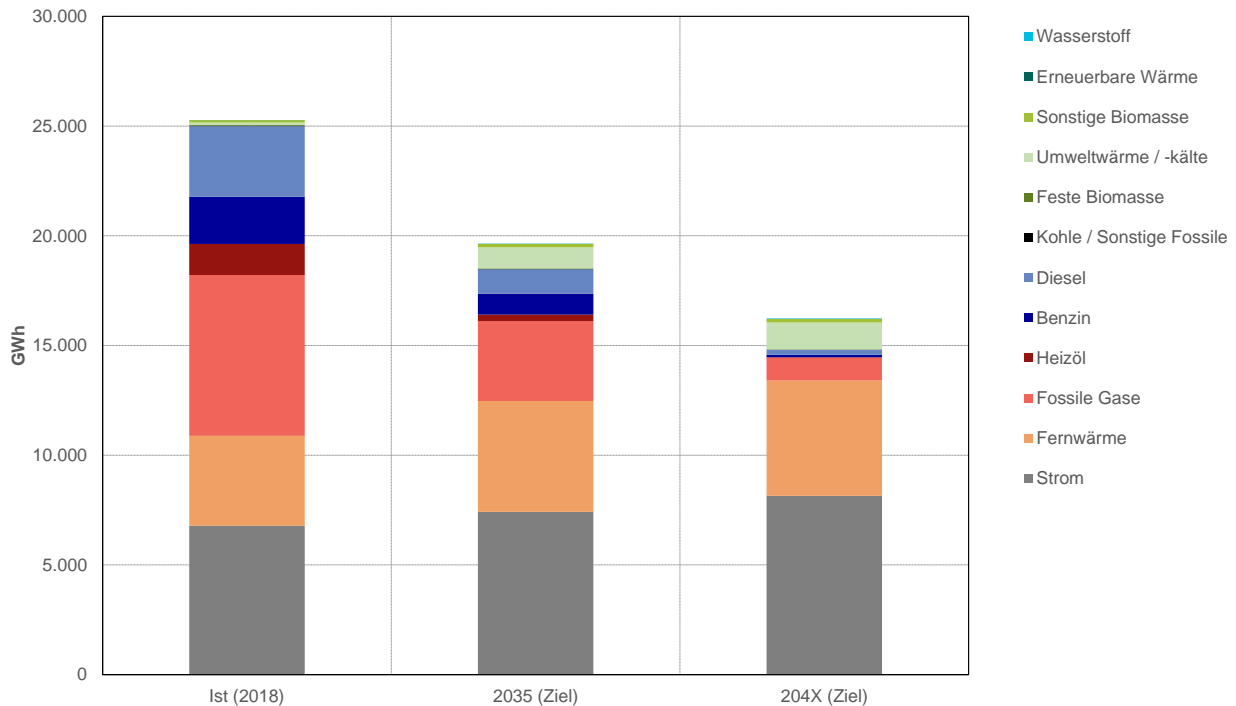
5 Zusammenfassung des Zielszenarios Klimaneutrales München

Wie im vorherigen Kapitel zum Trendszenario wird hier auch für das Zielszenario zunächst der Endenergieverbrauch aller Sektoren zusammenfassend dargestellt und anschließend die lokale Erzeugung von Strom und Fernwärme betrachtet. Darauf folgt die Bilanzierung der Treibhausgasemissionen. Zusammenfassende Tabellen der Ergebnisse für die Szenarien Trend und Ziel finden sich in Kapitel 9. Für das hier dargestellte Jahr 204X wurden, sofern nichts anderes angegeben wird, die Daten des Jahres 2045 verwendet.

5.1 Entwicklung des gesamten Endenergieverbrauchs

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Endenergieverbrauch im Zielszenario für die Jahre 2035 und 204X im Vergleich zum Ist 2018 in einer Aufschlüsselung nach Energieträgern. Demnach geht der gesamte Verbrauch im Zielszenario bis 2035 um etwa 22 % zurück, bis 204X um 36 %. Der Einsatz der fossilen Energieträger Erdgas, Heizöl, Benzin und Diesel reduziert sich bis 2035 um mehr als 55 % und bis 204X um 90 %. Der Verbrauch an Fernwärme steigt aufgrund des angenommenen Ausbaus der Wärmenetze gegenüber dem Jahr 2018 um 23 % (2035) bzw. 28 % (204X) an. Da die Gebäude besser gedämmt werden und weniger Wärmepumpen eingesetzt werden, ist der Anstieg des Stromverbrauchs bis 2035 mit knapp 10 % etwas niedriger als im Trendszenario. Im Jahr 204X liegt der Stromverbrauch um 20 % höher als im Jahr 2018. Strom deckt dann etwa 50 % des gesamten Endenergieverbrauchs der Stadt. Der zweitwichtigste Energieträger ist im Jahr 204X die Fernwärme, die 32 % des Energieverbrauchs deckt. Wasserstoff wird als Endenergie nur in begrenztem Umfang im Verkehrssektor eingesetzt. Hinzu kommen erhebliche Mengen an Wasserstoff in den Heizkraftwerken und Heizwerken der SWM, die jedoch zum Umwandlungssektor gehören, und daher zählt dieser Einsatz von Wasserstoff nicht zum Endenergieverbrauch.

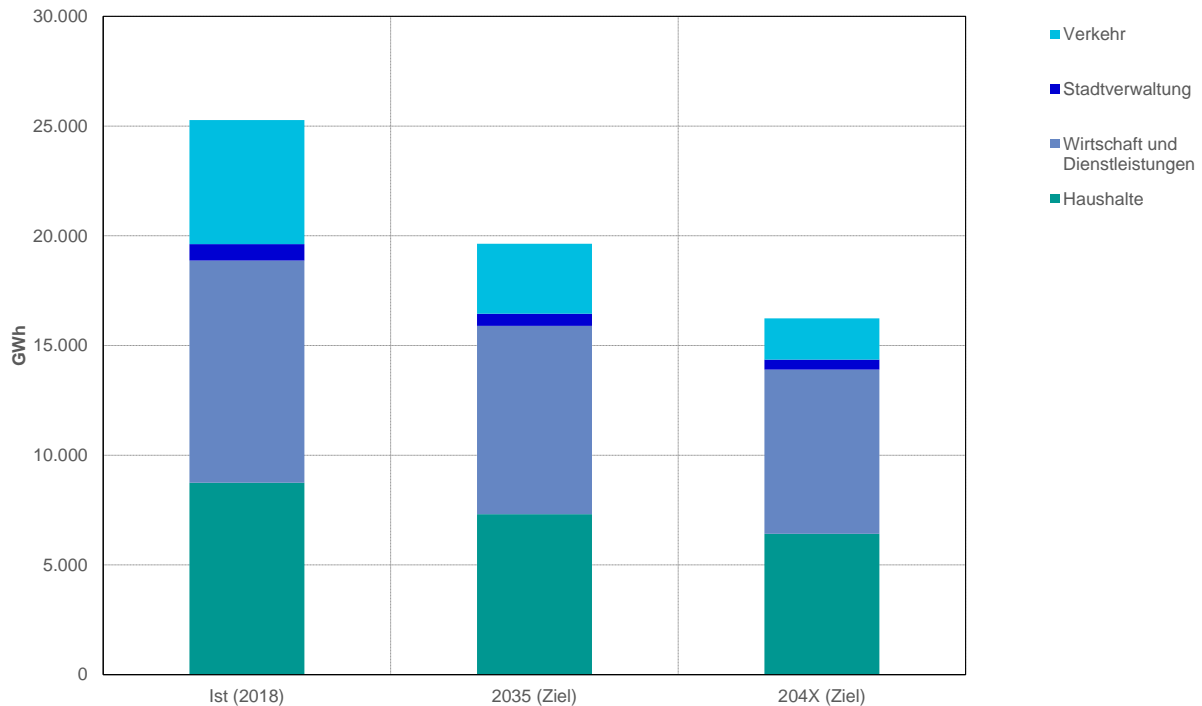
Abbildung 5-1: Gesamter Endenergieverbrauch nach Energieträgern (Zielszenario 2035 und 204X im Vergleich zum Ist 2018)



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

In Abbildung 5-2 ist die Aufteilung des Endenergieverbrauchs auf die Sektoren der Energienachfrage dargestellt. Wie beim Trendszenario wurde auch hier die in Kapitel 3.1 dargestellte Gebäudewärme den Verbrauchssektoren der privaten Haushalte, Wirtschaft und Dienstleistungen und Stadtverwaltung zugeordnet. Die Verhältnisse zwischen den Sektoren bleiben im Wesentlichen unverändert, alle Sektoren tragen also zur Einsparung von Energie bei. Der Anteil des bereits heute bedeutsamen Sektors Wirtschaft und Dienstleistungen steigt bis 204X auf über 45 % des Endenergieverbrauchs an. Wie schon im Trendszenario ist auch im Zielszenario der relative Rückgang des Verbrauchs im Sektor Verkehr am größten, er beträgt 44 % bis 2035 und sogar 67 % bis 204X. Diese Entwicklung wird vor allem durch die höhere Effizienz von batterieelektrischen Fahrzeugen in Bezug auf die eingesetzte Endenergie verursacht.

Abbildung 5-2: Gesamter Endenergieverbrauch nach Sektoren (Zielszenario 2035 und 204X im Vergleich zum Ist 2018)



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

5.2 Stromverbrauch und lokale Erzeugung von Strom und Fernwärme

Die Annahmen des Zielszenarios für die kleineren mit fossilen Brennstoffen oder Biomasse betriebenen Stromerzeugungsanlagen (<10 MW_{el}) sowie für weitere Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien sind bereits in Kapitel 4.2.1 dokumentiert.

Für die Entwicklung bei den Heizkraftwerken und Heizwerken der SWM im Zielszenario wurden die Annahmen des Szenarios „Fokus Fernwärme“ der Wärmestudie (FfE, Öko-Institut 2021) übernommen. Hier sind folgende Annahmen relevant:

- Wie auch im Trendszenario wird der Kohleblock Nord 2 vor dem Modell-Stützjahr 2030 stillgelegt und durch eine neue Anlage ersetzt, hier als eine mit Gas betriebene „GuD3“ am Standort Nord angenommen. Für die laufende Fernwärmeerzeugung der im Zielszenario untersuchten Jahre ist diese neue Anlage allerdings von untergeordneter Bedeutung. Die Heizkraftwerke am Standort Süd werden nach der aktuellen Modernisierung weiter betrieben und übernehmen einen großen Teil der nicht durch erneuerbare Energien abgedeckten Wärmeerzeugung.
- Eine wesentliche Änderung im Vergleich zum Trendszenario ist, dass die dann drei gasbetriebenen Heizkraftwerke und auch die Heizwerke der Fernwärmeversorgung ab dem Jahr 2035 von Erdgas auf Wasserstoff umgestellt werden. Dabei wird aus heutiger Sicht im Jahr 2035 zunächst „blauer“ Wasserstoff eingesetzt werden, der aus Erdgas hergestellt wird, wobei ein Großteil der im Prozess der Dampfreformierung entstehenden CO₂-Emissionen abgeschieden und das abgeschiedene CO₂ dauerhaft abgelagert oder stofflich genutzt werden soll. Im Jahr 204X

werden dann voraussichtlich ausreichende Mengen an „grünem“ Wasserstoff zur Verfügung stehen, der aus erneuerbar erzeugtem Strom hergestellt wird und unter günstigen Rahmenbedingungen klimaneutral ist. Die Heizkraftwerke werden ab dem Jahr 2035 so betrieben, dass sie die bundesweite, dann weitgehend auf erneuerbaren Energien basierende Stromversorgung unterstützen und vor allem dann in Betrieb sind, wenn erneuerbarer Strom bundesweit oder regional in Süddeutschland knapp ist.

- Wie die Wärmestudie gezeigt hat, führt diese Umstellung in den Jahren ab 2035 unter den für diese Studie getroffenen Annahmen zu einem deutlichen Rückgang der Strom- und Wärmeproduktion in den Heizkraftwerken, da die Stromerzeugung aus Wasserstoff am Strommarkt nur in relativ wenigen Stunden des Jahres konkurrenzfähig sein wird. Demnach könnte die Stromerzeugung in den Heizkraftwerken der SWM im Jahr 2035 bei nur noch etwa einem Drittel des Wertes des Jahres 2018 liegen. Bis zum Jahr 204X wird erwartet, dass dieser Einbruch wieder ausgeglichen werden kann.

5.2.1 Fernwärmeerzeugung und zentrale Kraft-Wärme-Kopplung

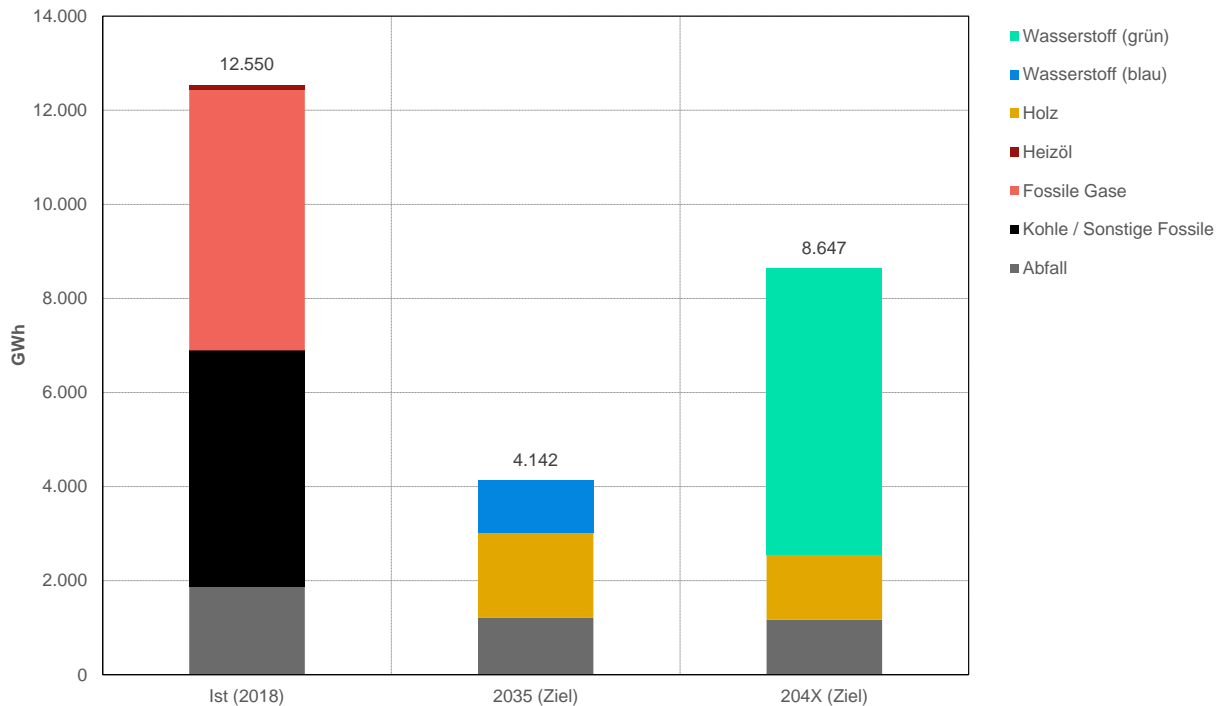
Für den Verlauf der Fernwärmeerzeugung im Zielszenario wurden ebenfalls die Ergebnisse des Szenarios „Fokus Fernwärme“ der Wärmestudie übernommen (FfE, Öko-Institut 2021). Dieses Szenario ist durch folgende Entwicklungen geprägt:

- Aufgrund der Verdichtung innerhalb des bisherigen Fernwärmegebiets und der Erweiterung der Wärmenetze in weitere Gebiete mit relativ hoher Wärmedichte nimmt die Nachfrage nach Fernwärme deutlich zu (vgl. auch Kapitel 5.1). Die gesamte Fernwärmeerzeugung steigt dementsprechend gegenüber dem Wert des Jahres 2017 um 20 % bis 2035 und um knapp 30 % bis zum Jahr 2050 an.
- Im Zielszenario werden über die bereits ambitionierten Planungen des Trendszenarios zum Ausbau der tiefen Geothermie hinaus weitere Geothermie-Bohrungen realisiert, allerdings können einige dieser zusätzlichen Anlagen voraussichtlich erst zwischen den Jahren 2035 und 2040 realisiert werden. Die Umstellung der Heizkraftwerke auf Wasserstoff führt in den Jahren ab 2035 zunächst zu einem deutlichen Einbruch der Nutzungsstunden dieser Anlagen, da sie im Strommarkt weniger wettbewerbsfähig sind als weiter mit Erdgas betriebene Kraftwerke. Der Anteil der KWK an der Fernwärmeerzeugung sinkt im Jahr 2035 unter diesen Annahmen auf unter 10 % und steigt bis zum Jahr 204X wieder auf 24 % an. Korrespondierend hiermit und aufgrund des verstärkten Ausbaus der tiefen Geothermie in diesem Szenario steigt deren Anteil an der gesamten Fernwärmeerzeugung im Jahr 2035 auf ein Maximum von etwa 50 % und sinkt dann wieder leicht auf 44 % im Jahr 204X ab. Zusammen mit Wärmepumpen, Holzhackschnitzel-Heizkraftwerken und Power-to-Heat-Kesseln erreichen die lokalen erneuerbaren Energien einen Anteil an der Fernwärmeerzeugung von 70 % im Jahr 2035 und knapp 60 % im Jahr 204X.
- Die Fernwärmeerzeugung aus der Abfallverbrennung bleibt im Zielszenario ebenso wie im Trendszenario in absoluten Werten etwa konstant. Aufgrund des steigenden Volumens der gesamten Fernwärmeerzeugung sinkt der Anteil der Abfallverbrennung jedoch leicht auf 15 % im Jahr 2035 und 14 % im Jahr 204X.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Einsatz von Energieträgern zur lokalen Erzeugung von Strom und Fernwärme in Heizkraftwerken und Heizwerken im Zielszenario. Zu erkennen ist der starke Einbruch im Jahr 2035 und die wieder ansteigende Entwicklung bis zum Jahr 204X. Die im Jahr

2018 noch dominierenden fossilen Energieträger werden bereits 2035 vollständig durch erneuerbare Energien und Wasserstoff ersetzt. Der Einsatz von Abfall geht bis 2035 etwas zurück und verbleibt dann auf stabilem Niveau.

Abbildung 5-3: Energieeinsatz zur lokalen Erzeugung von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung und Heizwerken (Zielszenario 2035 und 204X im Vergleich zum Ist 2018)



Ohne Eigenstromerzeugung der MSE.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan sowie FfE, Öko-Institut (2021)

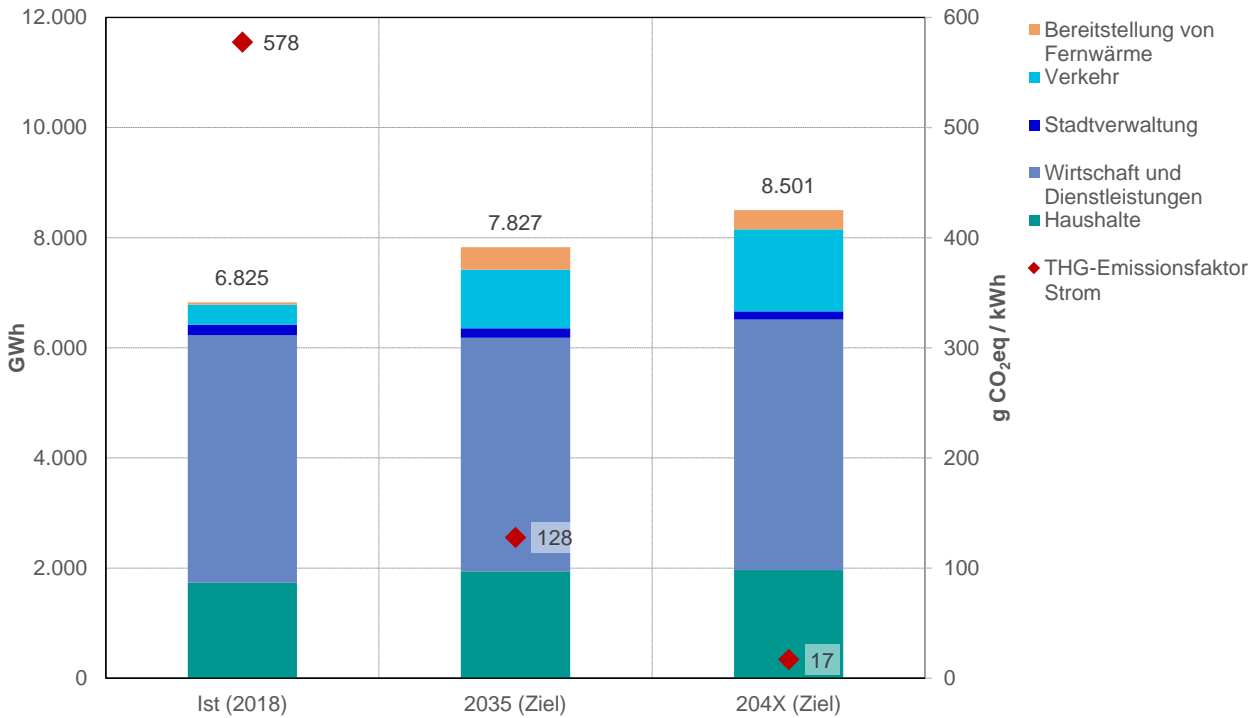
Die Wärmestudie kommt zu dem Ergebnis, dass die vorgesehene Umstellung der Heizkraftwerke und Heizwerke auf Wasserstoff ab 2035 für die SWM ohne eine zusätzliche Förderung wirtschaftlich kaum zumutbar ist. Daher ist darauf zu hoffen, dass für den frühzeitigen Einsatz von Wasserstoff im Zuge der Entwicklung einer klimaneutralen Fernwärme Fördermittel des Bundes bereitgestellt werden, z. B. in Form der aktuell diskutierten „Contracts for difference“. In diesem Fall könnte sich die Wirtschaftlichkeit dieses Szenarios für die SWM verbessern. Ob sich im Rahmen einer solchen Förderung auch die Betriebsweise der Heizkraftwerke gegenüber dem hier beschriebenen Szenario verändern würde, hängt von der konkreten Ausgestaltung der Förderung ab und kann derzeit noch nicht beurteilt werden.

5.2.2 Gesamter Stromverbrauch

Im Zielszenario steigt der gesamte Stromverbrauch bis 2035 gegenüber dem Stand des Jahres 2018 mit 15 % deutlich stärker an als im Trendszenario. Bis 204X beträgt der Anstieg 25 % auf dann etwa 8.500 GWh. Wesentlicher Treiber dieses Anstiegs ist die stark zunehmende Elektrifizierung des Verkehrs. Auch im Sektor der privaten Haushalte und in der Bereitstellung von Fernwärme erhöht sich der Stromverbrauch. Im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen führen gegenläufige

Entwicklungen von Energieeffizienz und Elektrifizierung per Saldo zu einer etwa stabilen Nachfrage. In der Stadtverwaltung sinkt der Stromverbrauch trotz zunehmender Elektrifizierung insbesondere der Wärmeversorgung leicht. Die nachfolgende Abbildung zeigt diese Entwicklungen. Der indirekte Stromverbrauch zur Herstellung des in den Anlagen der SWM in 204X eingesetzten „grünen“ Wasserstoffs ist in dieser Darstellung, die sich auf die territoriale Bilanzierung bezieht, nicht berücksichtigt.

Abbildung 5-4: Gesamter Stromverbrauch nach Sektoren (Zielszenario 2035 und 204X im Vergleich zum Ist 2018)



Der Emissionsfaktor für Strom ist auf der rechten Achse abgetragen.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Die Abbildung 5-4 zeigt auch die Entwicklung des Emissionsfaktors der Stromerzeugung auf Bundesebene, die für beide Szenarien einheitlich angenommen wurde. Wie bereits im Kapitel zum Trendszenario beschrieben, wird aufgrund des starken Ausbaus der erneuerbaren Stromerzeugung von einem Rückgang der spezifischen Emissionen um mehr als 75 % bis zum Jahr 2035 ausgegangen. Diese Entwicklung setzt sich bis 204X fort, so dass die Emissionen dann bei nahezu Null liegen. Der Rückgang gegenüber dem Emissionsfaktor von 2018 beträgt 97 %.

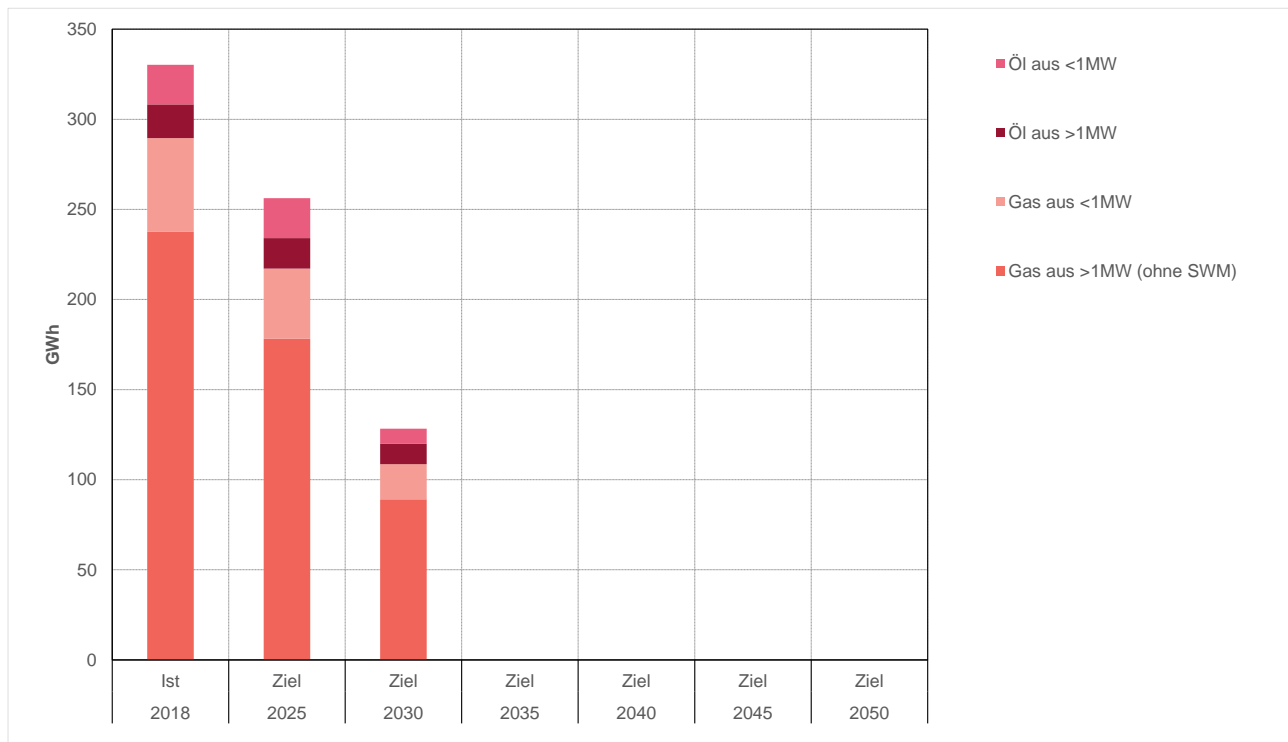
5.2.3 Dezentrale Stromerzeugung

Im Zielszenario wird die dezentrale Stromerzeugung in mit fossilen Brennstoffen betriebenen KWK-Anlagen mit einer Leistung von weniger als 10 MW_{el} bis zum Jahr 2035 beendet, weil diese kleinen Anlagen inzwischen über das BEHG erfasst werden und damit das Signal steigender CO₂-Preise Wirkung entfaltet. Diese Entwicklung läuft im Zielszenario schneller ab als im Trendszenario, da angenommen wird, dass der Bund höhere CO₂-Preise vorgibt bzw. sich solche Preise in einem CO₂-Handelssystem einstellen. Dies führt dazu, dass die jährlichen Vollbenutzungsstunden drastisch

zurückgehen und die Anlagenbetreiber entweder zur Fernwärme wechseln oder Wärmepumpen einsetzen.¹⁶

Die nachfolgende Abbildung zeigt die im Zielszenario angenommene Entwicklung der dezentralen KWK-Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen.

Abbildung 5-5: Dezentrale KWK-Stromerzeugung mit fossilen Brennstoffen (ohne große SWM-Anlagen) im Zielszenario



Quelle: Hamburg Institut, eigene Berechnungen auf Basis von Bundesnetzagentur 2021 (<https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheiteneubersicht>)

Ogleich auch zumeist in KWK betrieben, werden die zur Eigenstromerzeugung genutzten mit Klärgas betriebenen Anlagen der MSE mit einer Erzeugung von 36 GWh in 2018 sowie weitere mit Biomasse befeuerte Anlagen hier nicht gelistet, da sie erneuerbare Energien einsetzen.

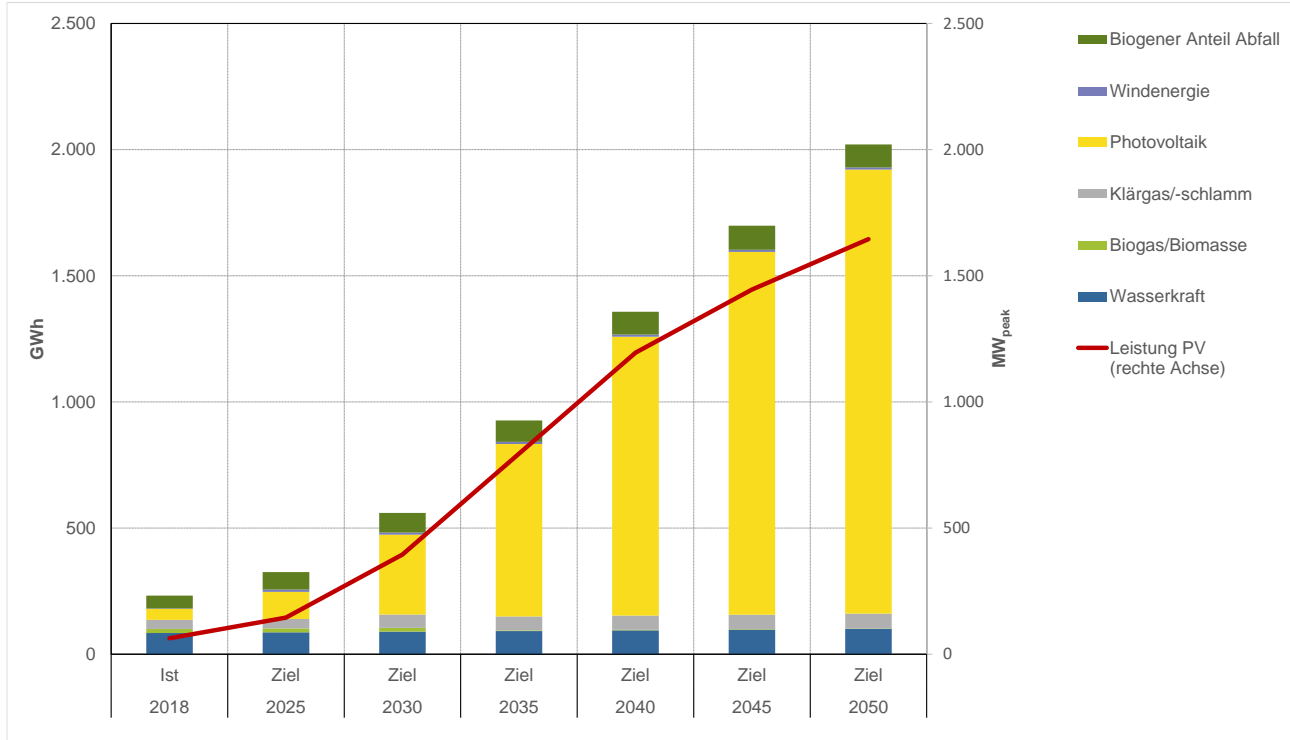
Die erneuerbaren Energien können auf dem Stadtgebiet Münchens aufgrund der dichten Bebauung bei äußerst ambitioniertem Ausbau¹⁷ unter den im Kapitel 4.2.1 skizzierten Annahmen bis zum Jahr 204X knapp 20 % des (steigenden) Stromverbrauchs decken. Ausgehend von einer Erzeugung von

¹⁶ Für Notstromaggregate in Krankenhäusern werden im Ziel-Szenario 2035 und in den darauffolgenden Jahren etwa 0,8 GWh nicht-leitungsgebundenes, vor Ort speicherbares Bio-Ethanol oder andere EE als Ersatz benötigt.

¹⁷ Hier sei auf die Pläne und Umsetzungsschritte der Millionenstädte Wien und Berlin verwiesen: Wien Energie hat 2020 PV-Anlagen mit insgesamt 26 MWp installiert und damit seine Kapazität innerhalb eines Jahres um mehr als 75 % erhöht (<https://www.zfk.de/unternehmen/nachrichten/wien-erneuerbaren-boom-solkraftwerk>). Damit wurde auch gezeigt, dass sprunghaftes Wachstum möglich ist. Ziel ist, bis 2030 800 MWp an PV-Anlagen installiert zu haben. Berlin hat einen „Masterplan Solar City“ aufgelegt mit dem Ziel, bis 2050 einen solaren Deckungsanteil von 25 Prozent zu erreichen (<https://www.berlin.de/sen/energie/energie/erneuerbare-energien/masterplan-solarcity/>).

232 GWh in 2018 kommt es somit bis 2035 zu einer Steigerung der Stromerzeugung aus EE auf fast das Vierfache auf mehr als 900 GWh und bis 2045 auf knapp 1,7 TWh.

Abbildung 5-6: Entwicklung des Ausbaus erneuerbarer Energien auf Münchner Stadtgebiet im Zielszenario



Quelle: Hamburg Institut und Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von RKU (2021), MSE (2020a) und MSE (2020b), FfE, Öko-Institut (2021), Fraunhofer ISE (2021), HIC (2020), Bundesnetzagentur Marktstammdatenregister

Dabei ist die Photovoltaik die einzige EE-Technologie mit Wachstumspotenzial. Auf sie allein entfallen im Jahr 2035 knapp 700 GWh und 2045 knapp 1,5 TWh. Die installierte Leistung an PV-Anlagen würde dabei von etwa 63 MWp (2018) bis 2035 exponentiell auf knapp 800 MWp und danach weniger steil auf mehr als 1,4 GWp im Jahr 2045 ausgebaut.

Tabelle 5-1: Entwicklung des Ausbaus erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung auf Münchner Stadtgebiet im Zielszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel
GWh							
Wasserkraft	84	87	89	92	95	98	100
Biogas/Biomasse	16	16	15	3	2	2	2
Klärgas/-schlamm	36	37	53	55	56	57	58
Windenergie	2	9	9	9	9	9	9
Photovoltaik	43	108	316	684	1.105	1.438	1.760
Biogener Anteil Abfall	51	70	78	85	90	95	91
Summe	232	326	560	927	1.357	1.699	2.021
MW (Peak)							
Leistung PV	63	145	395	795	1.195	1.445	1.645

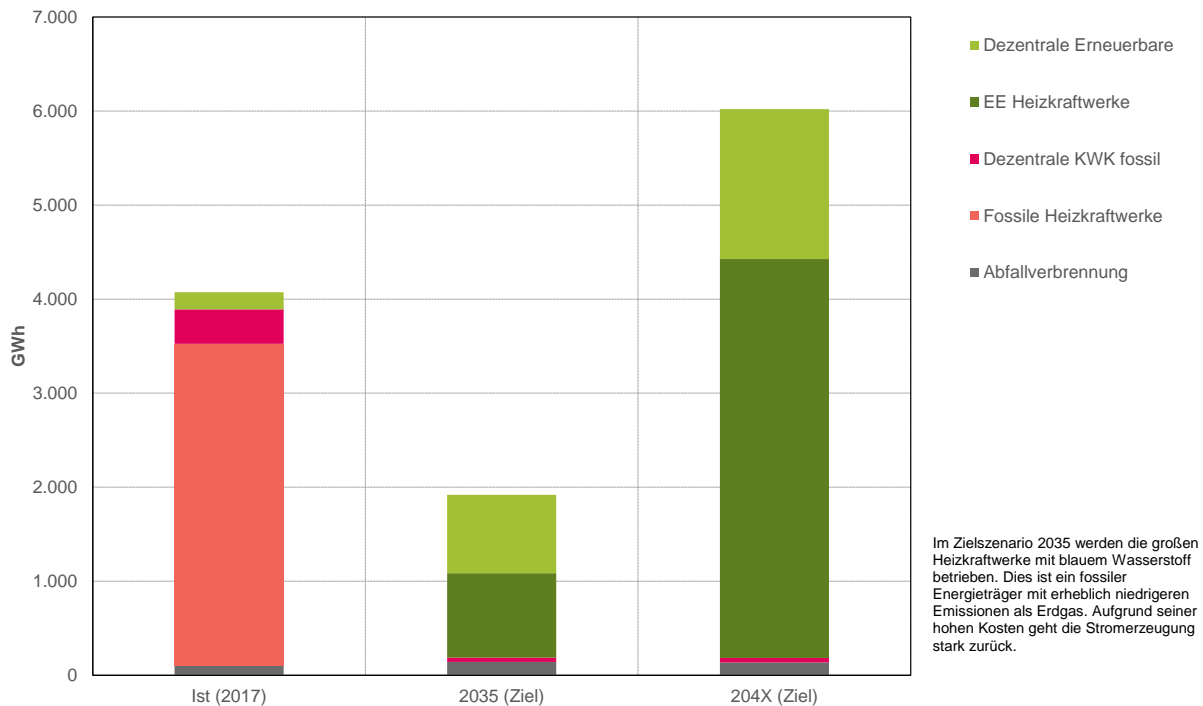
Quelle: Hamburg Institut und Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von RKU (2021), MSE (2020a) und MSE (2020b), FfE, Öko-Institut (2021), Fraunhofer ISE (2021), HIC (2020), Bundesnetzagentur Marktstammdatenregister

Die Stromgewinnung aus Wasserkraft steigt einzig aufgrund von Effizienzgewinnen der Anlagentechnik. Aus der energetischen Verwertung des erneuerbaren Anteils im Abfall werden im Zielszenario 2035 insgesamt 85 GWh Strom gewonnen, bis 2050 steigt dieser Wert auf 91 GWh an, da einerseits aufgrund zunehmender Abfallvermeidung das Abfallaufkommen in München sinkt, die Anlagen aber weiter mit aus dem Umland angeliefertem Abfall ausgelastet werden und der biogene Anteil am Abfall deutlich zunimmt. Die aus Klärgas/-schlamm gewonnene Strommenge steigt aufgrund der steigenden Zahl der Einwohnenden und aufgrund von Effizienzsteigerungen kontinuierlich. Der Anstieg zwischen 2025 und 2030 ist durch die Inbetriebnahme der effizienteren neuen Klärschlammverbrennungsanlage zu erklären. Die aus Biomasse und Biogas gewonnene Strommenge geht sukzessive zurück, weil bestehende Anlagen so lange nicht erneuert werden, bis keine Biomasse mehr in die Stadtgrenzen eingeführt werden muss und nur noch (bilanziell) innerhalb des städtischen Territoriums anfallendes Restholz genutzt wird. Das Potenzial der Windenergie auf dem Münchner Stadtgebiet wird seit der Inbetriebnahme des zweiten Windrades in Freimann auch im Zielszenario als ausgereizt betrachtet.

5.2.4 Zusammenfassung zur lokalen Energieerzeugung

In der Abbildung 5-7 ist die Stromerzeugung im Stadtgebiet in den Zielszenarien 2035 und 204X im Vergleich zum Jahr 2017 dargestellt. Der Anteil des aus lokaler Erzeugung gedeckten Stromverbrauchs der Stadt (incl. Verteilverluste) geht im Zielszenario 2035 mit 24 % noch deutlich stärker zurück als im Trendszenario 2035. Wesentlicher Grund dafür ist die für diesen Zeitpunkt erwartete relativ ungünstige Marktposition der mit Wasserstoff betriebenen Heizkraftwerke im Strommarkt. Im Zielszenario 204X steigt der Anteil des lokal gedeckten Stromverbrauchs aufgrund der wieder verbesserten Marktsituation der Kraft-Wärme-Kopplung und des Ausbaus der Photovoltaik wieder auf knapp 70 % an. Der lokal erzeugte Strom stammt im Jahr 2035 bereits fast vollständig aus erneuerbaren Energien (95 % der gesamten lokalen Erzeugung). Bis zum Jahr 204X steigt der erneuerbare Anteil auf fast 100 %. Die hier dargestellten Daten und die Emissionen der Erzeugungsanlagen sind Grundlage für die Berechnung des Territorialmixes Strom für die Treibhausgasbilanzierung.

Abbildung 5-7: Stromerzeugung in München im Zielszenario



Incl. der Eigenstromerzeugung der MSE.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan sowie FfE, Öko-Institut (2021)

An dieser Stelle muss erneut darauf hingewiesen werden, dass die neueren Entwicklungen seit dem Februar 2022 in den hier dargestellten Szenarien nicht mehr berücksichtigt werden konnten.

5.3 Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Die Methodik der Bilanzierung der Treibhausgasemissionen wurde bereits in Kapitel 4.3 erläutert. In der nachfolgenden Tabelle sind die in der Treibhausgasbilanzierung verwendeten Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme im Zielszenario zusammengestellt. Bis 2035 können die spezifischen Emissionen beider Energieträger deutlich reduziert werden, es verbleiben aber noch relevante Emissionsniveaus, die eine klimaneutrale Energieversorgung erschweren. Bei der Fernwärme bleibt auch bis 2050 ein Emissionssockel bestehen, der auf den fossilen Anteil in der genutzten Wärme der Abfallverbrennung zurückzuführen ist.

Tabelle 5-2: THG-Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme im Zielszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel
	g CO ₂ e/kWh						
Strom (Bundesmix)	578	354	243	129	35	17	0
Fernwärme	263	175	126	49	33	26	23
nachrichtlich: Strom (Territorialmix)	658			104		12	

Unterschiede beim Emissionsfaktor für Strom (Bundesmix) zum Trendszenario (Tabelle 4-2) entstehen durch die veränderte lokale Stromerzeugung im Zielszenario und die hierdurch beeinflusste Zuordnung von Netzverlusten.

Quelle: Öko-Institut, eigene Berechnungen auf Basis von FfE, Öko-Institut (2021)

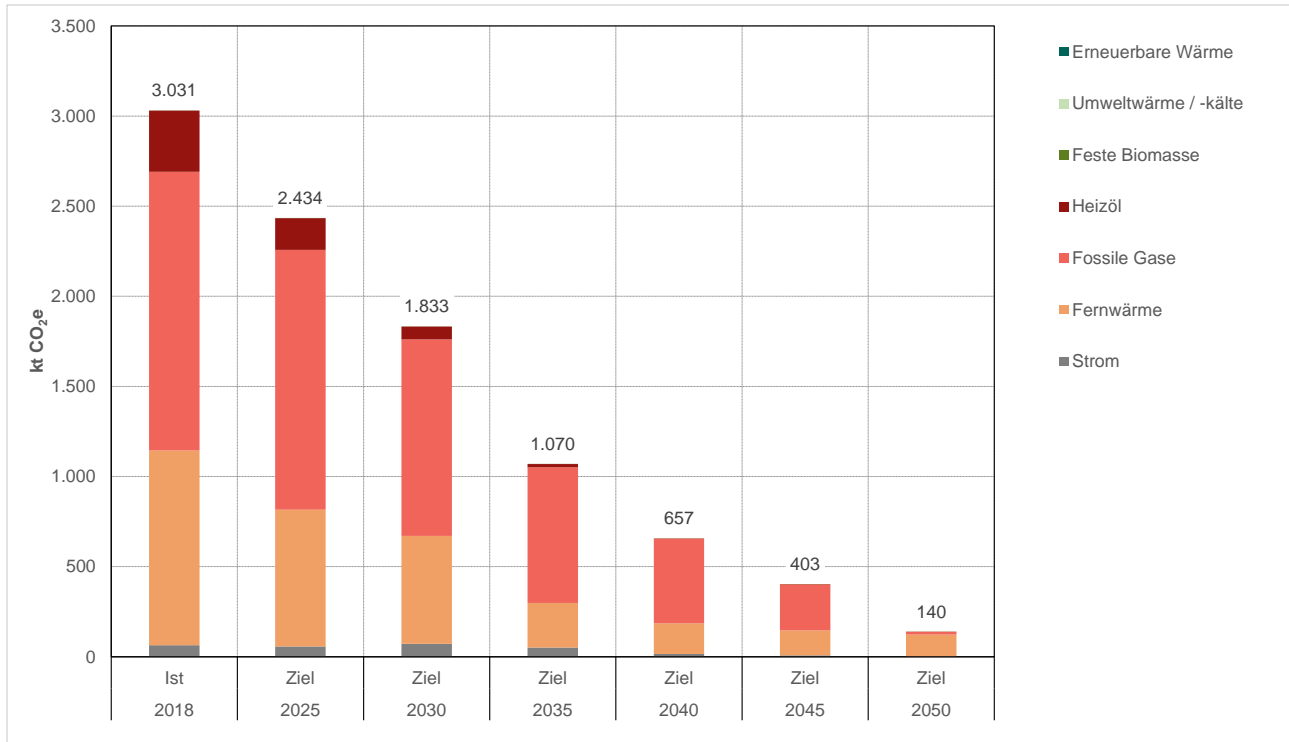
Wie schon im Trendszenario wird hier auch für das Zielszenario nachrichtlich der Emissionsfaktor für Strom auf Basis des Münchner Territorialmixes für die in den Szenarien abgebildeten Jahre 2018, 2035 und 204X ausgewiesen. Die Tabelle zeigt, dass der Emissionsfaktor des Territorialmixes bereits im Zielszenario 2035 unterhalb des bundesweiten Emissionsfaktors liegt und sich dies bis 204X fortsetzt. Der Grund für diese Entwicklung liegt in der im Zielszenario angenommenen frühen Umstellung der Kraft-Wärme-Kopplung im Stadtgebiet auf Wasserstoff und im ambitionierten Ausbau der Photovoltaik.

Nachfolgend werden die Emissionen der einzelnen Sektoren sowie der LHM insgesamt im Zielszenario dargestellt.

5.3.1 Wärme

Die Treibhausgasemissionen des gesamten Wärmesektors (inkl. des Wärmeverbrauchs der Stadtverwaltung) sind in Abbildung 5-8 dargestellt. Sie sinken von gut 3 Mio. t CO₂e im Jahr 2018 bis zum Jahr 2035 um etwa zwei Drittel und bis 2045 um fast 90 % auf dann noch 400 kt CO₂e ab. Die Emissionen aus der Verbrennung von fossilem Erdgas dominieren auch im Zielszenario im Zeitraum bis einschließlich 2045, allerdings mit einem stark fallenden Verlauf. Im Jahr 2050 liegen die Emissionen aus dem Einsatz von Erdgas nahe bei null und es verbleiben somit fast nur noch die Emissionen aus der Fernwärmeerzeugung. Die Emissionen aus der Fernwärme sinken schon bis 2025 gegenüber 2018 um etwa 30 % ab. Dieser Trend setzt sich bis 2035 rapide fort: hier betragen die Emissionen noch knapp 250 kt CO₂e und halbieren sich bis 2050 nochmals. Die THG-Emissionen aus der Verbrennung von Heizöl machen 2018 noch gut 10 % aller Emissionen der Gebäudewärme aus. Bereits 2025 sind sie nahezu halbiert und liegen im Jahr 2040 schließlich bei nahezu null. Die THG-Emissionen aus der Verwendung von Strom (vor allem in Wärmepumpen) steigen zwischen 2025 und 2030 leicht an und sinken danach aufgrund des stark sinkenden Emissionsfaktors für Strom wieder deutlich ab.

Abbildung 5-8: Entwicklung der THG-Emissionen des Wärmesektors (incl. Stadtverwaltung) im Zielszenario



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan sowie FfE, Öko-Institut (2021)

Tabelle 5-3 zeigt die Entwicklung der THG-Emissionen des Wärmesektors im Zielszenario für 2018 sowie ab 2025 in Fünffahresschritten bis 2050. Die Werte entsprechen denen in der obigen Abbildung 5-8.

Tabelle 5-3: Entwicklung der THG-Emissionen des Wärmesektors (incl. Stadtverwaltung) im Zielszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel
	kt CO ₂ e						
Strom	63	57	72	51	16	8	0
Fernwärme	1.081	759	598	247	170	138	124
Fossile Gase	1.547	1.442	1.090	753	470	257	16
Heizöl	340	176	71	18	1	0	0
Feste Biomasse	1	0	0	0	0	0	0
Umweltwärme / -kälte	0	0	0	0	0	0	0
Erneuerbare Wärme	0	0	0	0	0	0	0
Summe	3.031	2.434	1.833	1.070	657	403	140

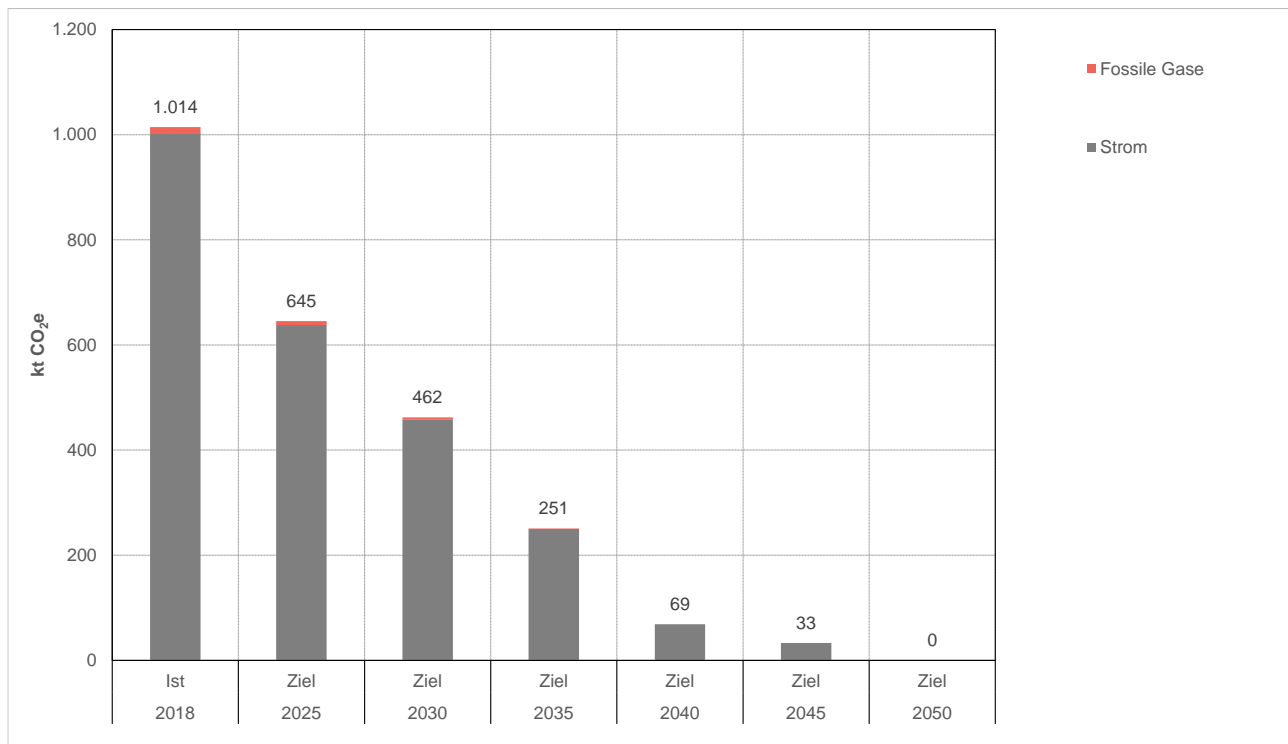
Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan sowie FfE, Öko-Institut (2021)

5.3.2 Strom und Kochgas in privaten Haushalten

Abbildung 5-9 zeigt die Entwicklung der THG-Emissionen des Stromverbrauchs und des Verbrauchs an Gas zum Kochen in privaten Haushalten im Zielszenario. Trotz leicht steigenden

Stromverbrauchs bis 2050 (vgl. Kapitel 3.2) sinken die Emissionen deutlich ab und fallen bis 2050 auf null. Dies liegt am starken bundesweiten Zubau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung und dem in der Folge deutlich absinkenden THG-Emissionsfaktor für Strom. Im Jahr 2030 sind die THG-Emissionen des Stromverbrauchs der privaten Haushalte gegenüber dem Stand von 2018 bereits mehr als halbiert, bis 2045 sind sie bereits um über 95 % reduziert. Der ohnehin geringe Verbrauch an Kochgas wird im Zielszenario noch schneller substituiert als im Trendszenario und spielt bei der Emissionsbilanz kaum eine Rolle.

Abbildung 5-9: Entwicklung der THG-Emissionen des Verbrauchs privater Haushalte an Strom und Kochgas im Zielszenario

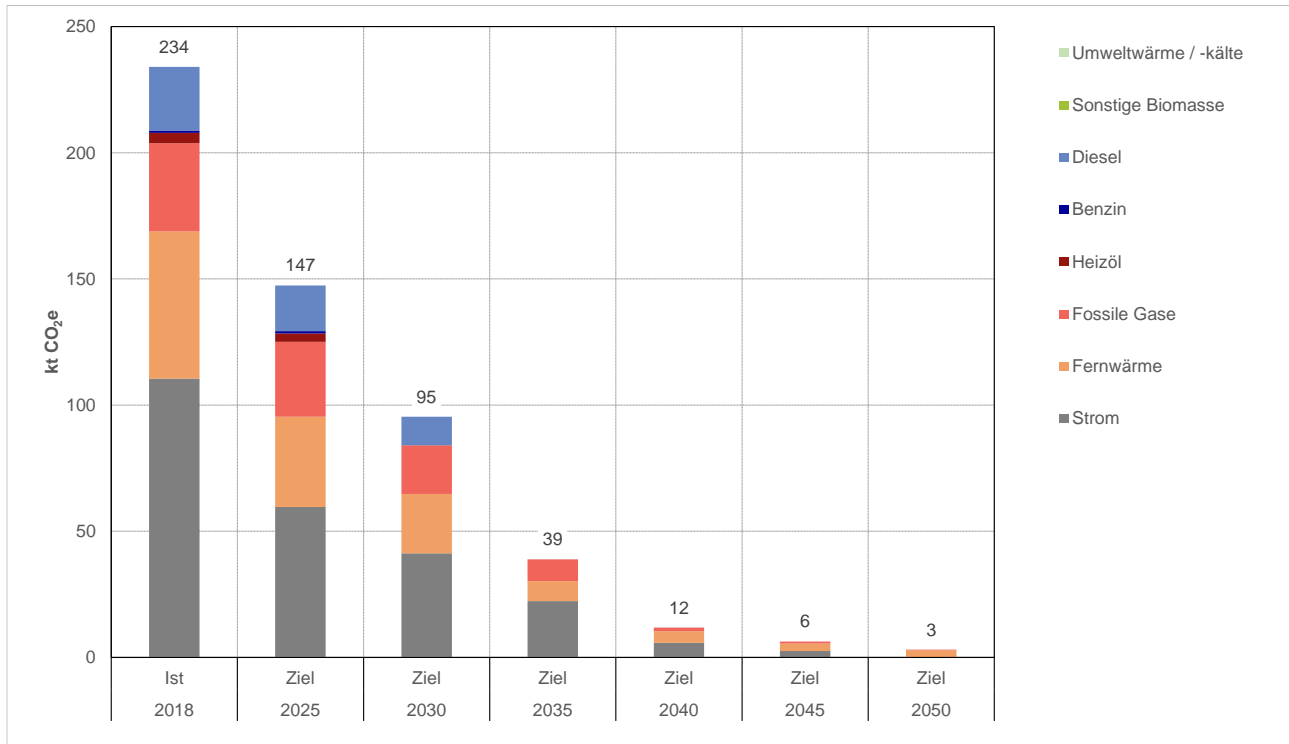


Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

5.3.3 Stadtverwaltung

Im Zielszenario gelingt im Bereich der Stadtverwaltung bis 2030 eine Reduktion der THG-Emissionen gegenüber dem Jahr 2018 um knapp 60 % auf dann noch 95 kt CO₂e. Die im Jahr 2030 noch verbleibenden Emissionen resultieren im Wesentlichen aus dem Verbrauch von Strom (43 %), Fernwärme (25 %) und Erdgas (20 %). Auch Diesel kann bis dahin noch nicht vollständig ersetzt oder eingespart werden. Dies liegt an mit Verbrennungsmotoren ausgestatteten Spezialfahrzeugen, die bis 2030 vsl. nur teilweise auf andere Antriebe umgestellt werden können. Heizöl und Benzin spielen dagegen 2030 keine Rolle mehr. Der verbleibende Anteil an Erdgas stammt v. a. aus der Wärmeerzeugung für von Dritten angemietete Gebäude.

Abbildung 5-10: Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung im Zielszenario



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Die in der Abbildung gezeigte Entwicklung der Treibhausgasemissionen wird auch in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5-4: Entwicklung der THG-Emissionen der Stadtverwaltung im Zielszenario

	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
	Ist	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel	Ziel
	kt CO ₂ e						
Strom	110	60	41	22	6	2	0
Fernwärme	58	36	23	8	5	3	3
Fossile Gase	35	30	19	9	1	1	0
Heizöl	4	3	0	0	0	0	0
Benzin	1	1	0	0	0	0	0
Diesel	25	18	11	0	0	0	0
Sonstige Biomasse	0	0	0	0	0	0	0
Umweltwärme / -kälte	0	0	0	0	0	0	0
Summe	234	147	95	39	12	6	3

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Eine noch schnellere Reduktion der Emissionen als im Zielszenario angenommen scheint aus heutiger Sicht kaum möglich. Daher kann hier als Zwischenfazit festgehalten werden, dass das sehr ambitionierte Ziel einer Klimaneutralität der Stadtverwaltung bis 2030 durch eigene Anstrengungen aller Voraussicht nach nicht vollständig erreicht werden kann. Die zu erwartenden Restemissionen müssten kompensiert werden, um das Ziel zumindest rechnerisch zu erreichen.

Die im Zielszenario unterstellten, teilweise sehr schnellen Umrüstungsmaßnahmen im Bereich der Stadtverwaltung führen voraussichtlich zu erheblichen Mehrkosten. Die hierfür eingesetzten städtischen Mittel fehlen ggf. an anderer Stelle für Maßnahmen, die im gleichen Zeitraum ein besseres Verhältnis von erwarteter Wirkung (Treibhausgas-Reduktion) im Verhältnis zum eingesetzten Betrag aufweisen würden. Andererseits hat die Stadtverwaltung zweifellos eine wichtige Rolle als Vorreiter und als Vorbild für andere Akteure in der Stadt. Dies kann die Fokussierung von Mitteln auf Maßnahmen im Bereich der Stadtverwaltung rechtfertigen.

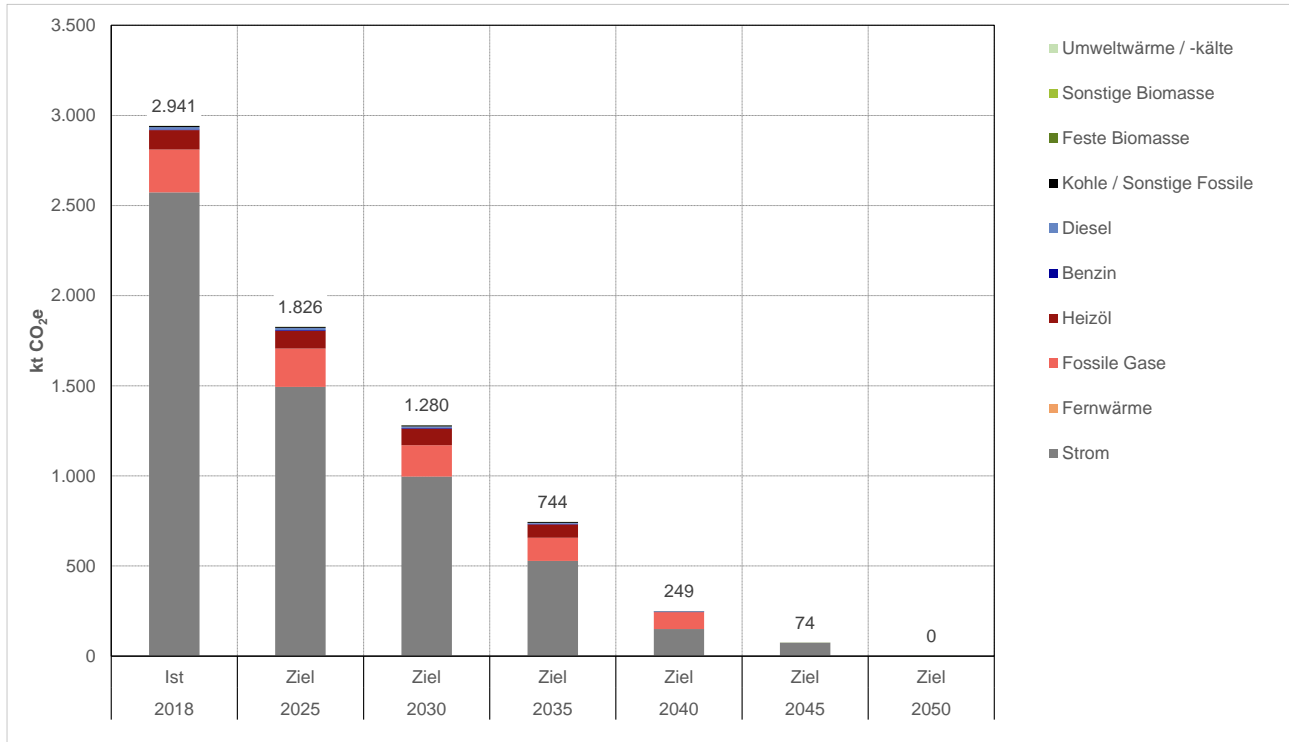
5.3.4 Wirtschaft und Dienstleistungen

Im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen können die durch Prozesse bedingten Treibhausgasemissionen bereits im Trendszenario zügig reduziert werden. Wesentliche Gründe hierfür sind der hohe Anteil von Strom an den Emissionen im Ausgangsjahr und der in beiden Szenarien angenommene rasche Ausbau der erneuerbaren Energien am Erzeugungsmix für Strom auf Bundesebene. Im Zielszenario erfolgt eine gegenüber dem Trend weiter beschleunigte Substitution fossiler Energieträger, die den Stromverbrauch allerdings etwas erhöht. In der Gesamtbetrachtung können die Emissionen bis zum Jahr 2035 um knapp 75 % reduziert werden.

Die THG-Emissionen aus fossilem Erdgas gehen bis 2035 aufgrund von technischen Effizienzsteigerungen und einer starken Elektrifizierung um fast die Hälfte zurück. Ab etwas 2045 wird kein fossiles Erdgas mehr eingesetzt. Die THG-Emissionen aus Heizöl können bis 2035 um gut 30 % gesenkt werden. Bis Ende der 2030er Jahre wird dann ganz aus der Nutzung fossilen Heizöls ausgestiegen.

Die nachfolgende Abbildung und Tabelle zeigen den Verlauf der durch Prozesse im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen bedingten Treibhausgasemissionen im Zielszenario. Um Doppelzählungen zu vermeiden, werden die Emissionen der Stadtverwaltung, aus dem Verbrauch an Gebäudewärme sowie dem Wirtschaftsverkehr hier nicht erfasst.

Abbildung 5-11: Entwicklung der THG-Emissionen in Prozessen im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen (ohne Wirtschaftsverkehr, Gebäudewärme und Stadtverwaltung) im Zielszenario



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Tabelle 5-5: Entwicklung der THG-Emissionen in Prozessen im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen (ohne Wirtschaftsverkehr, Gebäudewärme und Stadtverwaltung) im Zielszenario

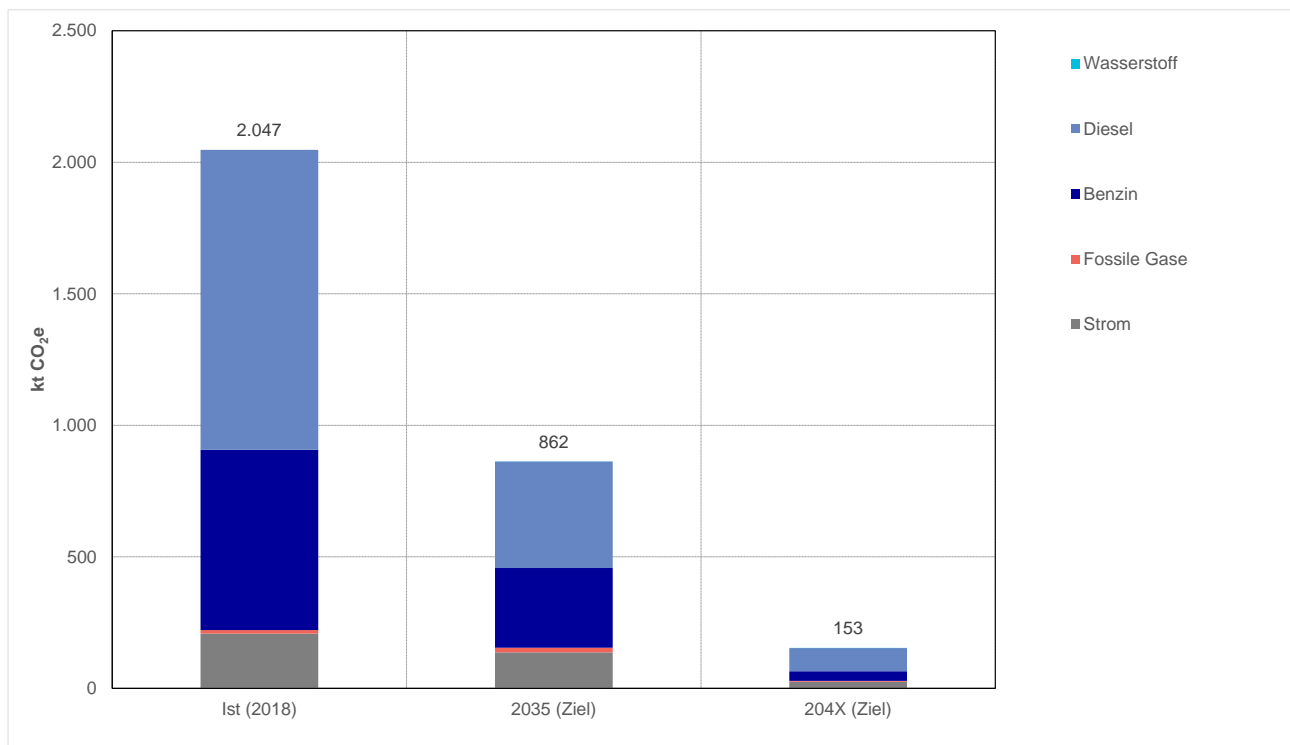
	2018 Ist	2025 Ziel	2030 Ziel	2035 Ziel	2040 Ziel	2045 Ziel	2050 Ziel
kt CO ₂ e							
Strom	2.573	1.494	996	528	150	74	0
Fernwärme	0	0	0	0	0	0	0
Fossile Gase	238	212	174	129	94	0	0
Heizöl	107	99	92	74	0	0	0
Benzin	4	4	4	3	3	0	0
Diesel	13	11	8	5	3	0	0
Kohle / Sonstige Fossile	6	5	5	5	0	0	0
Feste Biomasse	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige Biomasse	0	0	0	0	0	0	0
Umweltwärme / -kälte	0	0	0	0	0	0	0
Summe	2.941	1.826	1.280	744	249	74	0

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

5.3.5 Verkehr

In der nachfolgenden Abbildung und Tabelle ist der Verlauf der Treibhausgasemissionen des Sektors Verkehr im Zielszenario dargestellt. Bis zum Jahr 2035 wird eine im Vergleich zum Trendszenario mit knapp 60 % noch deutlich stärkere Emissionsreduktion erreicht. Wesentlicher Treiber ist auch hier der Rückgang des Verbrauchs an Diesel (-65 %) und Benzin (-56 %). Trotz einer Verdreifachung des Stromverbrauchs des Verkehrssektors gegenüber dem Jahr 2018 gehen die zugehörigen Emissionen aufgrund des stark sinkenden Emissionsfaktors von Strom deutlich zurück. Bis zum Jahr 204X können die für eine stärkere Verlagerung von Verkehren vom MIV auf den ÖNPV erforderlichen infrastrukturellen Voraussetzungen weitgehend geschaffen werden. Zusammen mit dem Ausbau der Elektromobilität kann so ein Rückgang der gesamten Emissionen des Verkehrs um mehr als 90 % gegenüber dem Jahr 2018 gelingen. Sowohl die Emissionen aus dem Einsatz von Diesel wie auch von Benzin können um 90 bis 95 % gesenkt werden. Trotz des nochmals stark ansteigenden Bedarfs nach Strom kommt es zwischen 2035 und 204X zu einer weiteren deutlichen Reduktion der Emissionen aus dem Einsatz dieses Energieträgers. Der im Szenario nur in geringen Mengen eingesetzte Wasserstoff wurde hier optimistisch als emissionsfrei gewertet, d. h. es wird angenommen, dass er vollständig aus zusätzlich erzeugtem, erneuerbarem Strom produziert wird und auch entlang der weiteren Lieferkette keine fossilen Energien eingesetzt werden.

Abbildung 5-12: Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrssektors im Zielszenario



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Tabelle 5-6: Entwicklung der THG-Emissionen des Verkehrssektors im Zielszenario

	Ist (2018)	2035 (Ziel)	204X (Ziel)
kt CO ₂ e			
Strom	208	137	25
Fossile Gase	13	18	3
Benzin	686	303	37
Diesel	1.140	404	88
Wasserstoff	0	0	0
Summe	2.047	862	153

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

5.3.6 Gesamte Treibhausgasemissionen der Stadt München

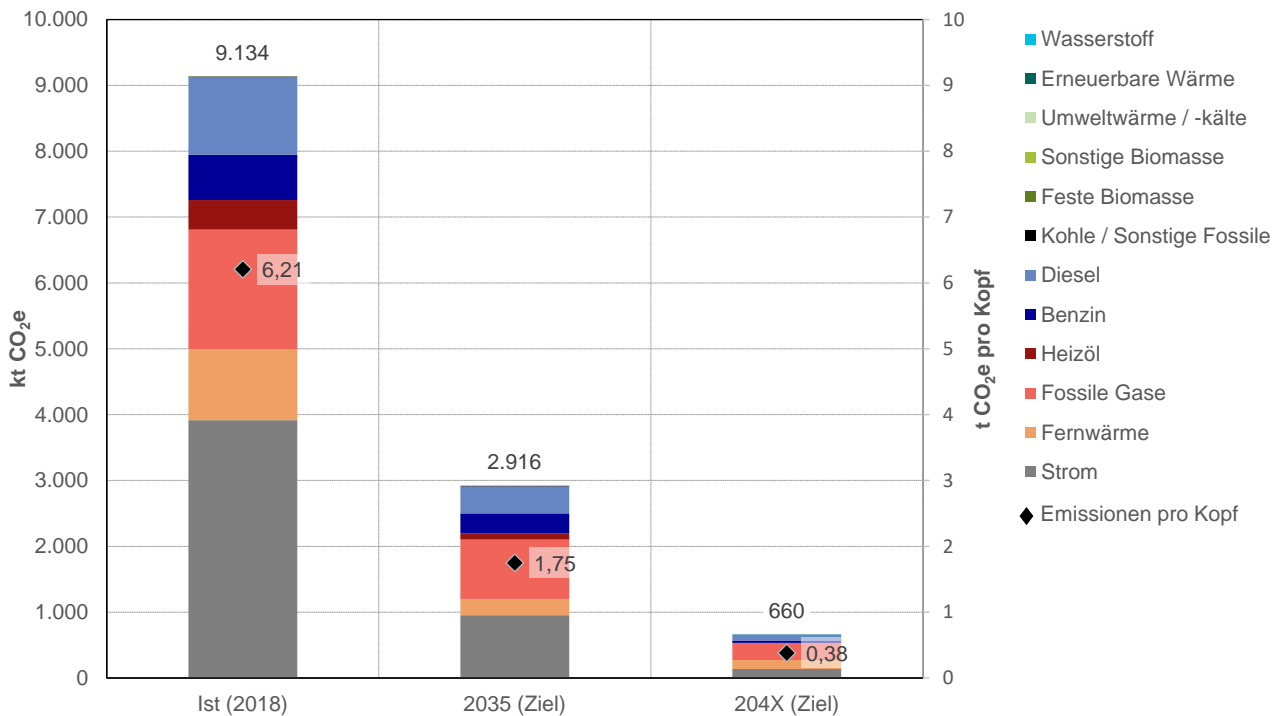
Die nachfolgende Abbildung zeigt den Verlauf der gesamten Treibhausgasemissionen der Stadt München im Zielszenario 2035 und 204X im Vergleich zum Stand des Jahres 2018. Demnach erreicht das Zielszenario bis 2035 eine Reduktion um knapp 70 % gegenüber dem Jahr 2018. Die spezifischen Emissionen pro Kopf der Bevölkerung sinken bis 2035 um 72 % auf dann noch etwa 1,75 t CO₂e. Trotz dieser bedeutenden Reduktion wird das ambitionierte Ziel einer Treibhausgasneutralität bis 2035 somit nicht erreicht. Bis zum Jahr 204X wird eine Minderung um 93 % gegenüber dem Stand von 2018 erreicht. Die Emissionen pro Kopf der Bevölkerung sinken dann auf weniger als 0,4 t CO₂e. Damit würde das vom Stadtrat mit einem Grenzwert von 0,3 t CO₂e definierte Ziel der Klimaneutralität fast erreicht.

Den größten Beitrag zur Emissionsminderung leistet auch im Zielszenario die angenommene starke Reduktion der spezifischen Emissionen von Strom. Diese führt bis zum Jahr 2035 zu einer Absenkung der Emissionen aus dem Stromeinsatz um 75 %, obwohl sich die eingesetzte Strommenge um etwa 10 % erhöht. Auch bei der Fernwärme wird trotz einer verstärkten Nachfrage durch die Endverbraucher eine Emissionsreduktion um über 75 % erreicht. Die Emissionen aus dem Einsatz von Heizöl, Benzin, Diesel und Erdgas können ebenfalls deutlich reduziert werden. Im Jahr 204X verbleiben als relevante Quellen von Emissionen der stark reduzierte Einsatz von Erdgas, der hohe Stromverbrauch und der fossile Anteil des Abfalls, der für die Erzeugung von Fernwärme genutzt wird.

Zu den methodischen Unterschieden der Szenarien zum Treibhausgas-Monitoring der LHM und zu den Differenzen der Daten für das Jahr 2018 finden sich Hinweise in Kapitel 4.3.6.

Die Datentabellen zu den nachfolgenden Abbildungen sind in Kapitel 9 zu finden.

Abbildung 5-13: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Energieträgern und der Pro-Kopf-Emissionen im Zielszenario



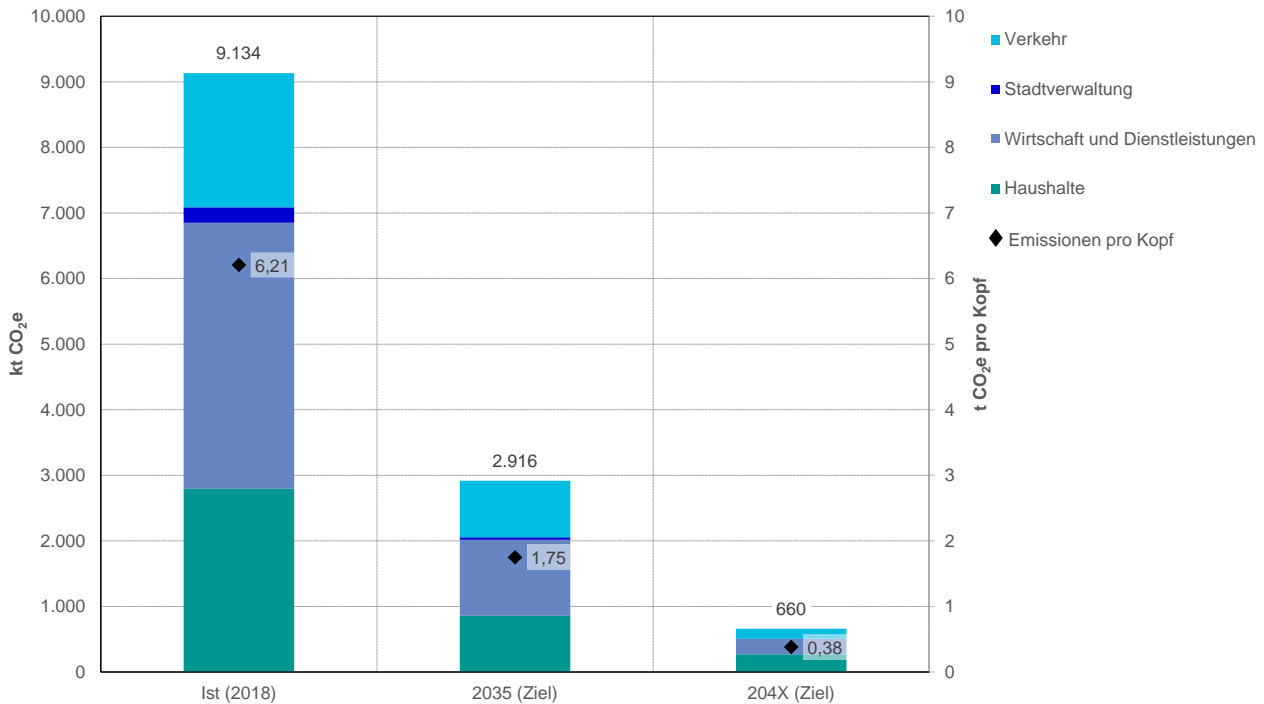
Die Emissionen pro Kopf sind auf der rechten Achse abgetragen.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

In der nachfolgenden Abbildung ist die Verteilung der Emissionen auf die Sektoren des Energieverbrauchs im zeitlichen Verlauf des Zielszenarios dargestellt. Wie bereits im Trendszenario wurden auch hier die Emissionen aus der Gebäudewärme den Sektoren der privaten Haushalte, Wirtschaft und Dienstleistungen und Stadtverwaltung verursachungsgerecht zugeordnet.

Auch im Zielszenario erreicht die Stadtverwaltung mit 83 % die höchste relative Reduktion. Die größten absoluten Reduktionen stammen aus dem bedeutsamen Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen. Auch die verbleibenden Sektoren der privaten Haushalte und des Verkehrs leisten erhebliche Beiträge zur Emissionsminderung.

Abbildung 5-14: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Sektoren und der Pro-Kopf-Emissionen im Zielszenario



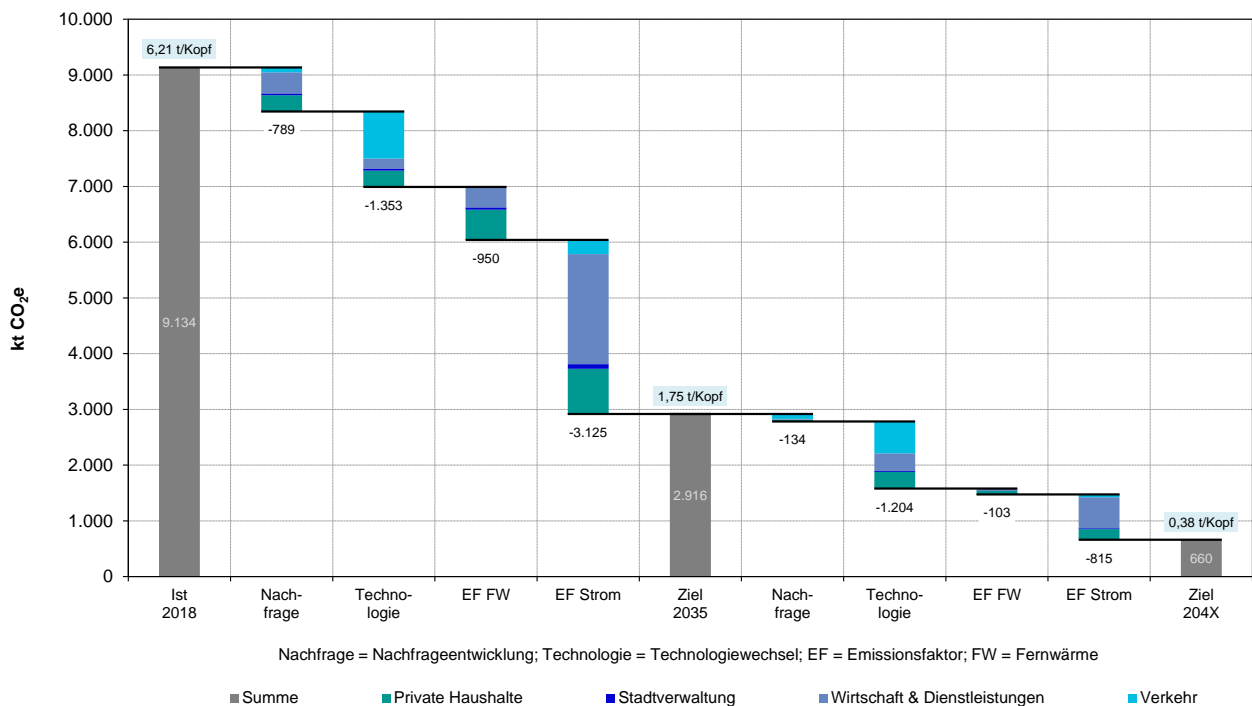
Die Emissionen pro Kopf sind auf der rechten Achse abgetragen.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Die Entwicklungen des Zielszenarios bis zum Jahr 2035 und darüber hinaus bis zum Jahr 204X sind in der nachfolgenden Abbildung 5-15 nochmals zusammenfassend dargestellt. Für diese Abbildung wurde eine Dekomposition der im Szenario erreichten Treibhausgasminderung nach den wesentlichen Einflussfaktoren durchgeführt. Hierzu gehören die Entwicklung bei der Nachfrage im jeweiligen Sektor des Energieverbrauchs, die Veränderung der eingesetzten Technologien sowie die Dekarbonisierung der Erzeugung von Fernwärme in München und der bundesweiten Stromerzeugung.¹⁸

¹⁸ Die Dekomposition erfolgte nach der „Log-Mean-Divisia-Index-Methode (LMDI)“, die z. B. bei Förster et al. (2013) beschrieben ist.

Abbildung 5-15: Entwicklung der Treibhausgasemissionen Münchens im Zielszenario bis 2035 und bis 204X nach Wirkungsbeiträgen und Sektoren



Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Wie die Abbildung zeigt, stammt der insgesamt größte Beitrag zur Emissionsminderung in München aus der Veränderung des Emissionsfaktors der bundesweiten Stromerzeugung. Dieser Effekt macht allein etwa 50 % der im Zeitraum bis 2035 erzielbaren Emissionsminderung aus (über 3 Mio. t CO₂e pro Jahr). Allerdings kann der Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung nur im Zusammenhang mit der in den Szenarien angenommenen Elektrifizierung der Energienachfrage Münchens wirksam werden und ist insofern nicht unabhängig vom Effekt des Technologiewechsels. Die Wirkung des Emissionsfaktors von Strom ist im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen am größten. Dies korrespondiert mit dem hohen Anteil von knapp 50 %, den dieser Sektor an den Emissionen im Ausgangsjahr 2018 hat, und dem bereits im Ausgangsjahr relativ hohen Anteil von Strom am Endenergieverbrauch dieses Sektors.

Der mit knapp 1,4 Mio. t CO₂e pro Jahr zweitgrößte Minderungsbeitrag bis zum Jahr 2035 kommt aus dem Technologiewechsel in den einzelnen Verbrauchssektoren. Hier sind die Effekte im Verkehrssektor besonders groß. Dabei geht es um die Verdrängung von Verbrennungsmotoren durch elektrische Antriebe sowie die Verschiebungen vom motorisierten Individualverkehr zum ÖPNV und die damit verbundenen Reduktionen von Emissionen.

Der Entwicklung einer klimaneutralen Fernwärme kann im Zielszenario 2035 eine Emissionsreduktion von knapp 1 Mio. t CO₂e pro Jahr zugeordnet werden. Naturgemäß wirkt sich dies in denjenigen Sektoren aus, in denen die Wärmenachfrage von Gebäuden durch Fernwärme gedeckt werden kann. Dies sind die privaten Haushalte, Wirtschaft und Dienstleistungen und (in absoluten Zahlen gesehen) in kleinerem Umfang auch die Stadtverwaltung.

Die Veränderung der Nachfrage nach Endenergie in allen vier Sektoren trägt in dieser Analyse bis 2035 mit etwa 0,8 Mio. t CO_{2e} pro Jahr zur Emissionsreduktion bei. Hierbei können die angenommenen Erfolge bei der Energieeffizienz die Effekte einer steigenden Nachfrage nach Energie- und Verkehrsdienstleistungen, unter anderem durch das angenommene Wachstum der Bevölkerung in der Stadt, mehr als ausgleichen.

Die Abbildung 5-15 zeigt in ihrem rechten Teil den weiteren Verlauf der Emissionsreduktion von 2035 bis zum Jahr 204X und die Beiträge, die die einzelnen Sektoren und Wirkungsbeiträge hierzu leisten. Im Vergleich zu den anderen Komponenten stammt hier der größte Beitrag zur Emissionsminderung aus dem weiter voranschreitenden Technologiewechsel, wiederum vor allem im Verkehrssektor. Die weitere Absenkung des Emissionsfaktors für Strom unterstützt den Weg zu Klimaneutralität der Stadt weiterhin deutlich, während die bereits bis 2035 stark abgesenkten Emissionen der Fernwärme nur noch moderat weiter reduziert werden können.

In der vorstehend dargestellten Bilanzierung des Zielszenarios wurde der Stromverbrauch der LHM entsprechend den Empfehlungen des BSKO-Standards mit dem Emissionsfaktor des bundesweiten Strommixes bewertet. Als alternative Darstellung kann der Emissionsfaktor des Territorialmixes Strom für München herangezogen werden (vgl. hierzu die Einleitung zu Kapitel 4.3). Im Basisjahr 2018 lagen die so bestimmten gesamten THG-Emissionen der Stadt München mit 9,68 Mio. t CO_{2e} höher als bei Verwendung des bundesweiten Strommixes. Im Zielszenario für 2035 verringern sich die Emissionen der Stadt bei Anwendung des Territorialmixes Strom auf 2,73 Mio. t CO_{2e} und für das Jahr 204X auf 620 kt CO_{2e}. Hierin spiegeln sich der Einsatz von Wasserstoff in den Heizkraftwerken der SWM und der starke Ausbau der Photovoltaik im Stadtgebiet wider.

6 Veränderungen gegenüber den Szenarien des Fachgutachtens 2017

Im Fachgutachten „Klimaschutzziel und –strategie München 2050“ aus dem Jahr 2017 wurden ebenfalls Szenarien für die Entwicklung der Treibhausgasemissionen Münchens bis zum Jahr 2050 entwickelt (Kenkmann et al. 2017). Nachfolgend werden die wichtigsten Unterschiede bei der angewendeten Methodik und den Ergebnissen zusammenfassend dargestellt.

Im Jahr 2017 wurde ein Referenzszenario entwickelt, das grob mit dem hier beschriebenen Trendszenario verglichen werden kann. Zudem enthält der Bericht von 2017 ein Szenario „Klimaschutz moderat (KSmod)“, das auf Bundesebene einer Emissionsreduktion um 80 % bis 2050 entspricht und im aktuellen Bericht kein Pendant findet. Das zweite Szenario von 2017, „Klimaneutrales München (KN)“, kann mit dem hier entwickelten Zielszenario verglichen werden. Aufgrund der im Verkehrssektor angewendeten, deutlich verbesserten Modellierungsmethodik liegen für die aktuellen Szenarien Ergebnisse für die Gesamtstadt einschließlich des Verkehrssektors nur für das Ausgangsjahr 2018, das Trendszenario 2035 und die Zielszenarien 2035 und 204X vor. Im Bericht von 2017 wurden für alle Sektoren des Energieverbrauchs Zeitreihen vom damaligen Basisjahr 2014 bis zum Jahr 2050 gebildet.

Bei der Entwicklung der Szenarien wurde in dem hier vorliegenden Bericht in vielen Bereichen der Energienachfrage und auch bei der Energieumwandlung eine gegenüber dem Fachgutachten 2017 veränderte Methodik verwendet. Zudem wurden die Datengrundlagen aktualisiert.

- Sowohl für die Entwicklung der Wohnbevölkerung wie auch der Anzahl der privaten Haushalte in München wurden aktuelle Projektionen der LHM verwendet. Diese liegen für das Jahr 2050 um

10-15 % unterhalb der Entwicklung, die im Jahr 2017 angenommen wurde. Dies wirkt sich auf viele Bereiche der Energienachfrage aus.

- Im Bereich der Wohn- und Nichtwohngebäude und der Nachfrage nach Warmwasser wurden in der vorliegenden Studie die Ergebnisse der Szenarien aus der Wärmestudie München übernommen (FfE, Öko-Institut 2021). In der Wärmestudie wurde basierend auf einem Datensatz für die Gebäude in München eine „Bottom-up-Modellierung“ der Sanierungsaktivitäten und des Wechsels von Heizungstechnologien durchgeführt. Im Vergleich hierzu war die Modellierung im Fachgutachten 2017 „top down“ angelegt, ohne dass Daten zu einzelnen Gebäuden und deren Lage z. B. in Bezug auf bestehende oder künftige Gebiete der Fernwärmeversorgung zur Verfügung standen. Daher liegt die aktuelle Methodik der Wärmestudie wesentlich näher an den Realitäten der Gebäude und ist als zuverlässiger anzusehen als die frühere Methodik.
- Bei den sonstigen Annahmen zum Energieverbrauch der privaten Haushalte wurde mit einer ähnlichen Methodik wie im Jahr 2017 gearbeitet, die Datengrundlagen der Szenarien wurden jedoch an aktuelle Projektionen auf Bundesebene angepasst.
- Für die Prozesse im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen wurde in der vorliegenden Studie eine neue Modellierungsmethodik angewendet, die die relevanten Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch einzeln abbildet. Diese Berechnung wurde für die Untersektoren „Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD)“ und „Industrie“ separat durchgeführt, aus Gründen der Konsistenz mit dem Maßnahmenplan der LHM jedoch als aggregierte Ergebnisse des Sektors Wirtschaft und Dienstleistungen dargestellt. In der Studie von 2017 wurden die Ergebnisse der beiden Untersektoren getrennt voneinander dokumentiert und nach einem anderen Verfahren ermittelt. Die Projektion erfolgte bei GHD auf Basis der erwarteten Entwicklung der Beschäftigten und in der Industrie auf Basis der Bruttowertschöpfung sowie in beiden Fällen unter Verwendung von Annahmen zum spezifischen Energieverbrauch aus bundesweiten Studien zum damaligen Stand.
- Der Energieverbrauch und die Emissionen der Stadtverwaltung werden im vorliegenden Bericht separat ausgewiesen, um eine Grundlage für das Monitoring des separaten Minderungsziels der LHM bis 2030 zu schaffen. Im Bericht von 2017 wurde die Stadtverwaltung als Teil des Untersektors GHD geführt und nur kurz im Rahmen eines Exkurses dargestellt.
- Im Verkehrssektor gibt es die größten methodischen Unterschiede zwischen den beiden Studien. Im Bericht von 2017 wurden, ähnlich wie in den Sektoren des stationären Energieverbrauchs, Zeitreihen mit geeigneten Annahmen zur Veränderung von Verkehrsnachfrage und Modal Split sowie zu den Veränderungen der Antriebstechnologien gebildet. In der vorliegenden Studie wurden die zu erwartenden Veränderungen der Fahrleistungen und die daraus resultierenden Energieverbräuche für bestimmte Jahre durch Einsatz eines umfassenden Verkehrsmodells für München ermittelt. Dieses Modell berücksichtigt die sozio-ökonomischen Entwicklungen in der Stadt und kann die Effekte von Veränderungen der Verkehrsinfrastruktur und verkehrspolitischen Maßnahmen sowie der Entwicklung von Antriebstechnologien räumlich differenziert bewerten. Da die Parametrisierung und Durchführung der Modellrechnungen relativ aufwändig sind, wurden neben dem Ausgangsjahr 2018 drei Szenariojahre für die Modellierung ausgewählt (Trendszenario 2035 und die Zielszenarien 2035 und 204X).

Beim Vergleich der Daten zum Verkehr zwischen den beiden Studien ist zudem zu berücksichtigen, dass die Szenarien von 2017 neben dem Verkehr auf dem Territorium der LHM

auch den Quell- und Zielverkehr zu jeweils 50 % mit einbeziehen. Im Vergleich zur vorliegenden Studie, die sich entsprechend der Empfehlungen des BSKO-Standards auf die Verkehrsleistungen innerhalb des Stadtgebiets beschränkt, wurden also in der Studie von 2017 auch Fahrten außerhalb des Stadtgebiets anteilig erfasst und daher im Verkehrssektor deutlich höhere Energieverbräuche und Emissionen ausgewiesen.

- Die Berechnung der Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme erfolgt in der vorliegenden Studie auf Basis der umfassenden Analysen und der Szenarien der Wärmestudie für München, die in Zusammenarbeit mit den SWM erarbeitet wurden. Im Hintergrund der Annahmen steht im Stromsektor die aktuelle Zielsetzung der Bundesregierung, den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung rasch und deutlich zu erhöhen. Für die Entwicklung der Fernwärme wurde das Szenario „Fokus Fernwärme“ der Wärmestudie verwendet, das einen zügigen weiteren Ausbau des Wärmenetzes und die Umstellung der Wärmeerzeugung auf klimaneutrale Energiequellen bis zum Jahr 2035 vorsieht. Im Vergleich hierzu basiert die Studie von 2017 auf eigenen Annahmen des Öko-Instituts für eine Umsetzung der bereits im Jahr 2012 formulierten Vision der SWM, die Fernwärme bis zum Jahr 2040 zu 100 % aus erneuerbaren Energien zu gewinnen. Insofern ist die vorliegende Studie wesentlich besser mit den Planungen der SWM abgestimmt.¹⁹

Im Ergebnis führen die aktuellen Annahmen auf Basis der Wärmestudie beim bundesweiten Strommix zu deutlich niedrigeren Emissionsfaktoren als dies im Szenario „Klimaneutrales München“ der Studie von 2017 angenommen wurde. Die Minderung beträgt 33 % im Jahr 2035 und fast 80 % im Jahr 2045. Bei den spezifischen Emissionen der Fernwärme liegen die aktuellen Annahmen für die Jahre 2035 und 2045 jeweils um etwa 50 % unterhalb derer aus der Studie von 2017. Hier schlagen sich die Effekte der ambitionierten Planungen aus der Wärmestudie nieder.

Wie bereits vorstehend erwähnt, sind die Ergebnisse der Szenarien zum Verkehr zwischen den beiden Studien nicht unmittelbar vergleichbar, da in diesem Sektor 2017 eine andere räumliche Abgrenzung gewählt wurde.

Bei den privaten Haushalten ergibt sich in beiden Studien für das Jahr 2045 ein nahezu identischer Endenergieverbrauch. Aufgrund der unterschiedlichen Annahmen und modifizierten Methodik ist dies als ein eher zufälliger Effekt anzusehen. Deutliche Abweichungen gibt es bei den Erwartungen zum Endenergieverbrauch im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen, für den im vorliegenden Szenario zwar eine weitere Elektrifizierung angenommen wurde, der Energieverbrauch jedoch bis zum Jahr 204X nur um etwa 25 % absinkt. In der Studie von 2017 war hier noch wesentlich optimistischer von einer Reduktion um mehr als 50 % ausgegangen worden. Aus heutiger Sicht erscheinen diese Annahmen als zu optimistisch.

Der gesamte Endenergieverbrauch der Stadt im Jahr 2045 (ohne Verkehr) wurde in der Studie von 2017 dementsprechend um etwa 25 % niedriger eingeschätzt als in der vorliegenden Studie. Die aktuelle, höhere Einschätzung betrifft sowohl den Stromverbrauch wie auch Fernwärme und Erdgas. Der erwartete höhere Endenergieverbrauch wird in der vorliegenden Studie jedoch durch die deutlich niedriger eingeschätzten Emissionsfaktoren für Strom und Fernwärme mehr als ausgeglichen. Im Ergebnis liegen die erwarteten Treibhausgasemissionen im Zielszenario 2035 (ohne Verkehr) bei gut 2 Mio. t CO₂e, während das Szenario „Klimaneutrales München“ der Studie von 2017 (ebenfalls ohne Verkehr) einen Wert von knapp 3 Mio. t CO₂e erwartet hat. Diese Entwicklung setzt sich auch

¹⁹ Wie in der Wärmestudie ausgeführt ist, stehen diese Planungen der SWM unter dem Vorbehalt der notwendigen Veränderung von wichtigen Rahmenbedingungen insbesondere auf Bundesebene.

im Jahr 2045 fort, für das die vorliegende Studie ca. 0,5 Mio. t CO₂e erwartet, während die Studie von 2017 noch von knapp 1 Mio. t CO₂e ausging (beide Werte wiederum ohne Verkehr).

Die aktuell vorliegende Studie verwendet also eine aktualisierte Datengrundlage und ist besser auf die absehbaren Entwicklungen auf Bundesebene und bei den SWM abgestimmt als es in der Studie von 2017 möglich war. Methodisch ist die vorliegende Studie vollständig konsistent mit dem BSKO-Standard und verwendet gegenüber der Studie von 2017 etwas moderatere, aus heutiger Sicht realistischer erscheinende Annahmen zur Entwicklung der Energieeffizienz im Sektor Wirtschaft und Dienstleistungen. Unter der Annahme, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien sowohl bei der bundesweiten Stromerzeugung wie auch in der Münchner Fernwärme so realisiert werden kann wie angenommen, sind die in der vorliegenden Studie ausgewiesenen, im Vergleich zur Studie von 2017 höheren Emissionsreduktionen als erreichbar anzusehen.

7 Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

Die in diesem Bericht entwickelten Szenarien zeigen einerseits, dass bereits in einem Trendszenario mit Fortschreibung der derzeit absehbaren Entwicklungen mit etwa einer Halbierung der Treibhausgasemissionen der LHM bis zum Jahr 2035 gerechnet werden kann. Die wichtigste Einflussgröße hierfür ist der erwartete Ausbau der erneuerbaren Energien in der Stromerzeugung auf Bundesebene, deren Emissionsfaktor für die kommunale Klimabilanz verwendet wird. Ein weiterer wesentlicher Effekt der Trendentwicklung ist der zu erwartende kontinuierliche Anstieg des Anteils von batterieelektrischen Fahrzeugen im Verkehr. Andere wichtige Beiträge stammen aus der angenommenen Verdrängung von Heizöl durch Erdgas, Fernwärme oder Wärmepumpen und der moderaten weiteren Verbesserung der Energieeffizienz, u. a. mit einer weiteren energetischen Sanierung von ca. 1 % des Gebäudebestands pro Jahr.

Diese Entwicklungen im Trend reichen jedoch bei weitem nicht aus, um das Ziel der Klimaneutralität zu erreichen. Hierfür sind wesentlich verstärkte Anstrengungen aller relevanter Akteure in München erforderlich. Grundlage für eine solche Entwicklung ist die verstärkte Nutzung der vorhandenen Effizienzpotenziale, denn auch die erneuerbaren Energien sind nicht in unbegrenzter Menge kostengünstig verfügbar. Hierzu gehören eine Beschleunigung und Vertiefung der energetischen Gebäudesanierung und die systematische Erschließung von Effizienzpotenzialen auch in allen anderen Bereichen der Energienutzung. Wichtige infrastrukturelle Voraussetzungen für die Klimaneutralität müssen durch einen zügigen Umbau der Fernwärmeerzeugung auf klimaneutrale Energiequellen, den weiteren Ausbau des Fernwärmenetzes und den Ausbau von leistungsfähigen, schienengebundenen Infrastrukturen für den ÖPNV geschaffen werden. Weil diese Entwicklungen ebenso wie die Sanierung von Gebäuden nicht beliebig beschleunigt werden können, ist das Ziel der Klimaneutralität aller Voraussicht nach bis zum Jahr 2035 auf Basis eigener Maßnahmen der LHM nicht vollständig erreichbar.

Um die Vorteile des steigenden Anteils erneuerbarer Energien im Stromsektor zu nutzen, müssen zudem möglichst viele Anwendungen elektrifiziert werden, unter anderem durch die Umstellung der bisher vor allem auf Erdgas basierenden dezentralen Wärmeerzeugung auf Wärmepumpen (und auf die lokale Nutzung erneuerbarer Energien, sofern das möglich ist) und die beschleunigte Entwicklung der Elektromobilität. Zugleich ist es sinnvoll, die im Stadtgebiet vorhandenen Potenziale der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, insbesondere der Photovoltaik, systematisch zu erschließen.

Um die Nutzung des Umweltverbundes aus ÖPNV, Radfahren und zu Fuß gehen zu erhöhen, müssen diese Optionen u. a. durch entsprechende Baumaßnahmen attraktiver und sicherer gemacht werden. Parallel zum Ausbau der Kapazitäten des ÖPNV können dann auch verstärkt „Push-Maßnahmen“ im Verkehr eingesetzt werden, die die Nutzung des motorisierten Individualverkehrs unattraktiver machen.

Durch die Methodik der territorial bezogenen Treibhausgasbilanz werden einige wichtige Faktoren einer klimaneutralen Stadt nicht erfasst, die im Rahmen der Klimaschutzmaßnahmen dennoch adressiert werden müssen. Hierzu gehört vor allem die Reduktion von „grauen“ Emissionen, die durch den Konsum von Lebensmitteln, Konsumgütern und Baumaterialien entstehen, die zumeist außerhalb von München hergestellt werden, und damit verbunden die systematische Stärkung einer zirkulären Wirtschaft in München.

Durch alle diese Maßnahmen, die im Zielszenario abgebildet sind, kann die Landeshauptstadt München nicht nur ihr Ziel der Klimaneutralität zeitnah erreichen, sondern auch die Lebensqualität in vielen Bereichen der Stadt erhöhen und die Stadt langfristig attraktiv halten. Durch die beiden Grundsatzbeschlüsse des Münchner Stadtrats zum Klimaschutz aus den Jahren 2021 und 2022 wurden hierzu bereits wichtige Weichen gestellt.

Dass die Klimaneutralität voraussichtlich bis 2035 noch nicht vollständig erreicht werden kann, sollte als Ansporn dafür genutzt werden, den im Szenario für das Jahr 204X beschriebenen Zustand so schnell wie möglich zu erreichen. In diesem Zusammenhang sollte gelegentlich geprüft werden, ob die Definition des Ziels der Klimaneutralität an das inzwischen übliche Verständnis einer Treibhausgasneutralität angepasst und als „Netto-Nullemission“ an Treibhausgasen definiert werden kann.

8 Literaturverzeichnis

- Abel, S., Barthelmes, A., Gaudig, G., Joosten, H., Nordt, A. & Peters, J. (2019): Klimaschutz auf Moorböden: Lösungsansätze und Best-Practice-Beispiele. Greifswald Moor Centrum.
https://greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/201908_Broschuere_Klimaschutz%20auf%20Moorb%C3%B6den_2019.pdf (26.04.2021)
- Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (Hg.) (2020): Prognos AG; Öko-Institut; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Klimaneutrales Deutschland, Studie im Auftrag von Agora Energiewende, Agora Verkehrswende und Stiftung Klimaneutralität, 2020. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2020/2020_10_KNDE/A-EW_195_KNDE_WEB_V111.pdf.
- Agora Energiewende; Stiftung Klimaneutralität; Agora Verkehrswende (Hg.) (2021): Prognos; Öko-Institut; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Klimaneutrales Deutschland 2045, Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann, 2021. Online verfügbar unter https://static.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_04_KNDE45/A-EW_209_KNDE2045_Zusammenfassung_DE_WEB.pdf.
- Arbeitsgemeinschaft Schwäbisches Donaumoos e.V. (ARGE Donaumoos) (2021): Unsere Aufgabe aus Leidenschaft. <https://www.arge-donaumoos.de/>. (27.07.2021)
- Arqum - Gesellschaft für Arbeitssicherheits-, Qualitäts- und Umweltmanagement (Hg.) (2020). Carbon Footprint der Stadtverwaltung München, Ergebnisbericht. München, 2020. Online verfügbar unter <https://www.ris-muenchen.de/RII/RII/DOK/SITZUNGSVORLAGE/6317183.pdf>.
- Bayerisches Landesamt für Statistik (Hg.) (2021). Energieverbrauch (Verarbeitendes Gewerbe): Kreis, Energieverbrauch, Energieträger, Jahr, Jahreserh. üb. Energieverw. i. Verarb. Gew., Bergb. u. Gw. St. u. E., Landeshauptstadt München. Fürth, 2021. Online verfügbar unter <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=0&step=0&titel=Tabellen&levelid=1628520804457&acceptscookies=false#abreadcrumb>.
- BNetzA - Bundesnetzagentur (2021): Marktstammdatenregister - Stromerzeugungseinheiten Solare Strahlungsenergie, bis Ende 2020 installierte Anlagen. Bundesnetzagentur (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.marktstammdatenregister.de/MaStR/Einheit/Einheiten/OeffentlicheEinheitenuebersicht>, zuletzt geprüft am 06.08.2021.
- Bonn, A et al. (2015): Klimaschutz durch Wiedervernässung von kohlenstoffreichen Böden. In: Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2015): Naturkapital und Klimapolitik – Synergien und Konflikte. Hrsg. von Volkmar Hartje, Henry Wüstemann und Aletta Bonn. Technische Universität Berlin, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ. Berlin, Leipzig
https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H73000/H73300/pub/2014/2015_Naturkapital_Kap5.pdf
- BReg - Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland (2019): Projektionsbericht 2019 für Deutschland, gemäß Verordnung (EU) Nr. 525/2013, 2019. Online verfügbar unter https://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/mmr/art04-13-14_lcds_pams_projections/projections/envxnw7wq/Projektionsbericht-der-Bundesregierung-2019.pdf, zuletzt geprüft am 24.07.2019.
- Bundesamt für Naturschutz (2021b): Ökosystemleistung der Moore.
<https://www.bfn.de/themen/biotop-und-landschaftsschutz/moorschutz/oekosystemleistungen.html> (28.04.2021)

- Cames, Martin; Harthan, Ralph O.; Füssler, Jürg; Lazarus, Michael; Lee, Carrie M.; Erickson, Pete; Spalding-Fecher, Randall (2016): How additional is the Clean Development Mechanism? Analysis of the application of current tools and proposed alternatives. Hg. v. Öko-Institut. Berlin.
- Couwenberg, J., Augustin, J., Michaelis, D., Wichtmann, W. & Joosten, H. (2008): Entwicklung von Grundsätzen für eine Bewertung von Niedermooren hinsichtlich ihrer Klimarelevanz. - Unveröffentlichte Studie im Auftrag des Ministeriums für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern; Greifswald. <http://duene-greifswald.de/doc/gest.pdf> (26.04.2021)
- Dahms et al. (2017): Halmgutartige Festbrennstoffe aus nassen Mooren. Hrsg: Universität Greifswald. 2017
[https://www.moorwissen.de/doc/publikationen/paludi_pellets_broschuere/downloads/Dahms%20et%20al.%20\(2017\)%20Paludi-Pellets-Brosch%C3%BCre.pdf](https://www.moorwissen.de/doc/publikationen/paludi_pellets_broschuere/downloads/Dahms%20et%20al.%20(2017)%20Paludi-Pellets-Brosch%C3%BCre.pdf) (letzter Zugriff: 07.05.2021)
- Demartin, G., Schöttner, R., Siuda, C., Feichtinger, V., Hofmann, R. & Scheidler, M. (2020): Moorrenaturierungen im Klimaschutzprogramm Bayern 2050 – Handwerkszeug, Beispiele und Herausforderungen. – ANLiegen Natur 42(1): 19–30, Laufen.
https://www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/doc/an42121demartin_et_al_2020_klip_moor_e.pdf (05.05.2021)
- Destatis - Statistisches Bundesamt (Hg.) (2019). Bevölkerungsentwicklung bis 2060 in Deutschland (14. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung), Vorausberechneter Bevölkerungsstand: Bundesländer, Stichtag, Variante der Bevölkerungsvorausberechnung (Varianten 1-3). Wiesbaden, 2019. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis/online?operation=previous&levelindex=1&step=1&titel=Ergebnis&levalid=1628588381373&acceptscookies=false#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hg.) (2018). dena-Leitstudie Integrierte Energiewende, Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. Berlin, 2018. Online verfügbar unter https://shop.dena.de/fileadmin/denashop/media/Downloads_Dateien/esd/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf, zuletzt geprüft am 06.08.2018.
- Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hg.) (2021): Kost, C.; Brandes, J.; Eggers, J.-B.; Fuchs, N.; Heinrich, M.; Peper, D.; Schill, C.; Shammugam, S.; Trommsdorff, M.; Wieland, S.; Wirth, H.; Wrede, D. Innovative Energietechnologien, Kurzgutachten im Rahmen der dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme. Berlin, 2021. Online verfügbar unter https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/Kurzgutachten_dena-LEITSTUDIE_AUFBRUCH_KLIMANEUTRALITAET_Fraunhofer_ISE.pdf, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) (2021): Moor-Klimawirte - Zukunft der Landwirtschaft im Moor. Ansbach 2021
- Doda, Baran; La Hoz Theuer, Stephanie; Cames, Martin; Healy, Sean; Schneider, Lambert (2021): Voluntary offsetting: credits and allowances. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). adelphi; Öko-Institut. Dessau-Roßlau (Climate Change, 04/2021). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021_01_11_cc_04-2020_voluntary_offsetting_credits_and_allowances_1.pdf, zuletzt geprüft am 09.05.2022.
- Drösler, M. & Kraut, M. (2020): Klimaschutz durch Moorschutz – im Klimaprogramm Bayern (KLIP 2020/2050). – ANLiegen Natur 42(1): 31–38, Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.

- Drösler, M. et al. (2013) Klimaschutz durch Moorschutz: Schlussbericht des Vorhabens „Klimaschutz –Moorschutzstrategien“ 2006-2010. 34 S. München: Technische Universität München
- Fearnehough, Harry; Kachi, Aki; Mooldijk, Silke; Warnecke, Carsten; Schneider, Lambert (2020): Future role for voluntary carbon markets in the Paris era. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau (Climate Change, 22/2020). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2020_11_19_cc_44_2020_carbon_markets_paris_era_0.pdf, zuletzt geprüft am 09.05.2022.
- Förster, H. et al. (2013): European energy efficiency and decarbonization strategies beyond 2030 - a sectoral multi-model decomposition. In: Climate Change Economics Vol. 04, No. supp01, 1340004. <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2010007813400046>, zuletzt geprüft am 04.10.2021
- Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft (FfE), Öko-Institut (2021): Klimaneutrale Wärme München 2035. Mögliche Lösungspfade für eine klimaneutrale Wärmeversorgung in der Landeshauptstadt München. München. Online verfügbar unter <https://stadt.muenchen.de/infos/klimaschutz-nachhaltigkeit.html>
- Fraunhofer IBP - Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Hg.) (noch nicht veröffentlicht). Entwicklungsszenarien für den möglichst klimaneutralen stadt eigenen Gebäudebestand der LH München, Ergebniszusammenfassung. Stuttgart, noch nicht veröffentlicht.
- Fraunhofer ISE - Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (Hg.) (2021): Wirth, H. Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Fassung vom 19.04.2021. Freiburg, 19.04.2021. Online verfügbar unter www.pv-fakten.de.
- Greifswald Moor Centrum (2018): Informationspapier zur Rolle der Moore in der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) ab 2021. Greifswald, 2018 https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/1806_%20GMC%20Moore%20in%20GAP_final.pdf
- Hennenberg, K.; Böttcher, H.; Wiegmann, K.; Reise, J.; Fehrenbach, H. (2019): Kohlenstoffspeicherung in Wald und Holzprodukten. In: *AFZ-DerWald* (17), S. 36–39. Online verfügbar unter https://co2-speichersaldo.de/media/Hennenberg_Oekobilanz_sl.pdf, zuletzt geprüft am 09.02.2021.
- Hertle, Hans; Dünnebeil, Frank; Gugel, Benjamin; Rechsteiner, Eva; Reinhard, Carsten (2019): BSKO Bilanzierungs-Systematik Kommunal. Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland. Kurzfassung (Aktualisierung 11/2019). Hg. v. Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu). Heidelberg. Online verfügbar unter https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/BSKO_Methodenpapier_kurz_ifeu_Nov19.pdf, zuletzt geprüft am 18.08.2021.
- HIC - Hamburg Institut Consulting (Hg.) (2020): Maaß, C.; Werner, R.; Häsel, S. Ausbauoffensive Erneuerbare Energien der Stadtwerke München: Zwischenbilanz, regionale Potenziale und Ausblick. Hamburg, 2020. Online verfügbar unter <https://www.hamburg-institut.com/projects/analyse-der-ausbauoffensive-erneuerbare-energien-der-stadtwerke-muenchen/>, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- Hirschelmann, S., Tanneberger, F., Wichmann, S., Reichelt, F., Hohlbein, M., Couwenberg, J., Busse, S., Schröder, C. & Nordt, A. (2020): Moore in Mecklenburg-Vorpommern im Kontext nationaler und internationaler Klimaschutzziele - Zustand und Entwicklungspotenzial, Faktensammlung. Greifswald Moor Centrum-Schriftenreihe 03/2020,

https://www.greifswaldmoor.de/files/dokumente/GMC%20Schriften/2020-03_Moore%20in%20MV_Faktensammlung_%20Hirschelmann%20et%20al_final.pdf

Hochschule für Nachhaltige Entwicklung Eberswalde (2021): PaluDivers - Entwicklung und Begleitung der Erprobung naturschutzfachlicher Mindeststandards für den Erhalt und die Förderung der Biodiversität bei künftigen Paludikulturen auf landwirtschaftlichen Flächen

<https://www.hnee.de/de/Fachbereiche/Landschaftsnutzung-und-Naturschutz/Forschung/Forschungsprojekte/Aktuelle-Projekte/PaluDivers/PaluDivers-E10934.htm> (18.08.2021)

Hochschule Weihenstephan Triesdorf (HWST) (2021): Paludikulturen für Niedermoorböden in Bayern - Etablierung, Klimarelevanz & Umwelteffekte, Verwertungsmöglichkeiten und Wirtschaftlichkeit (MOORuse) https://forschung.hswt.de/forschungsprojekt/958-mooruse?person_id=93 (27.06.2021)

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung (Hg.) (2019): Hertle, H.; Dünnebeil, F.; Gugel, B.; Rechsteiner, E.; Reinhard, C. BSKO Bilanzierungs-Systematik Kommunal, Empfehlungen zur Methodik der kommunalen Treibhausgasbilanzierung für den Energie- und Verkehrssektor in Deutschland. Kurzfassung (Aktualisierung 11/2019). Heidelberg, 2019. Online verfügbar unter https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/BSKO_Methodenpapier_kurz_ifeu_Nov19.pdf, zuletzt geprüft am 18.08.2021.

ifo Institut (2020): Verkehrliche Wirkungen einer Anti-Stau-Gebühr in München. Ifo Forschungsberichte 2020/115

IKEM (2017) Aktuelle juristische Hindernisse und Handlungsempfehlungen zur energetischen Nutzung von Paludikulturen. Gutachten des Institutes für Klimaschutz, Energie und Mobilität im Auftrag des Greifswald Moor Centrum.

Intraplan Consult (Hg.) (2021). Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr, Mittelfristprognose Winter 2020/21. München/Köln, 2021. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/gleitende-mittelfristprognose-winter-2020-2021.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 10.08.2021.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (Hg.) (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, 2021.

KBA - Kraftfahrt-Bundesamt (Hg.) (2020). Fahrzeugzulassungen (FZ), Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken 1. Januar 2020. Flensburg, 2020. Online verfügbar unter https://www.kba.de/DE/Statistik/Produktkatalog/produkte/Fahrzeuge/fz1_b_uebersicht.html, zuletzt geprüft am 10.08.2021.

Kollmuss, Anja; Schneider, Lambert; Zhezherin, Vladyslav (2015): Has Joint Implementation reduced GHG emissions? Lessons learned for the design of carbon market mechanisms. Hg. v. Stockholm Environment Institute (SEI). Stockholm (Working Paper, 2015-07). Online verfügbar unter <https://mediamanager.sei.org/documents/Publications/Climate/SEI-WP-2015-07-JI-lessons-for-carbon-mechs.pdf>, zuletzt geprüft am 09.05.2022.

Lasch, P., Suckow, F., Gutsch, M., & Reyer, C. (2012) Waldumbau in Brandenburg: Grundwasserneubildung unter Klimawandel. In: Grünewald, U., Bens, O., Fischer, H., Hüttl, R. F., Kaiser, K., & Knierim, A. (2012). Wasserbezogene Anpassungsmaßnahmen an den Landschafts- und Klimawandel. Schweizerbart. 271-279.

- Leitgeb, E. (2004): Häufige verjüngungsökologische Probleme bei der Bestandesbegründung. In: *BFW Praxis-Information* (4), S. 7–9. Online verfügbar unter http://bfw.ac.at/040/pdf/1818_pi4.pdf, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- LfU - Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2002): Leitfaden der Niedermoorrenaturierung in Bayern. [https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000008?SID=692516193&ACTIONxSESSxSHOWPIC\(BILDxKEY:%27lfu_nat_00062%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27\)](https://www.bestellen.bayern.de/application/eshop_app000008?SID=692516193&ACTIONxSESSxSHOWPIC(BILDxKEY:%27lfu_nat_00062%27,BILDxCLASS:%27Artikel%27,BILDxTYPE:%27PDF%27)) (28.04.2021)
- LfU (2021): Flächenbilanz der Moorböden in Bayern. <https://www.lfu.bayern.de/natur/moore/moorbodenkarte/index.htm> (letzter Zugriff: 07.05.2021)
- LHM - Landeshauptstadt München (Hg.) (2015): Hanke, J. Prognose der Münchner Privathaushalte, Haushaltsvorausberechnung 2014 bis 2030. München, 2015.
- LHM - Landeshauptstadt München (Hg.) (2021a). Entwicklung der EEG-Anlagen in München, 2001-2019. München, 2021, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- LHM - Landeshauptstadt München (Hg.) (2021b): Hanke, J.; Marczuk, M.; Ruhnke, S. Demografiebericht München - Teil 2, Kleinräumige Bevölkerungsprognose 2019 bis 2040 für die Stadtbezirke. München, April 2021. Online verfügbar unter <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Stadtplanung-und-Bauordnung/Stadtentwicklung/Grundlagen/Bevoelkerungsprognose.html>, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- LHM - Landeshauptstadt München (Hg.) (2021c): Kürbis, I. Demografiebericht München - Teil 1, Analyse und Bevölkerungsprognose 2019 bis 2040 für die Landeshauptstadt. München, April 2021. Online verfügbar unter <https://www.muenchen.de/rathaus/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Stadtplanung-und-Bauordnung/Stadtentwicklung/Grundlagen/Bevoelkerungsprognose.html>, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- LHM - Landeshauptstadt München (Hg.) (2022): Treibhausgas-Monitoring der Landeshauptstadt München 1990 bis 2019, Sitzungsvorlage Nr. 20-26 / V 06797.
- LHM - Landeshauptstadt München (o. J.): Radentscheid und Altstadt-Radring, Bürgerbegehren und Stadtratsbeschluss Landeshauptstadt München (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.muenchen.de/rathaus/Serviceangebote/verkehr/verkehrsplanung/verkehrsprojekte/radentscheid.html>, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- Maaß, Christian; Werner, Robert; Häseler, Sönke (2020): Ausbauoffensive Erneuerbare Energien der Stadtwerke München: Zwischenbilanz, regionale Potenziale und Ausblick. Hg. v. Hamburg Institut Consulting (HIC). Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.hamburg-institut.com/projects/analyse-der-ausbauoffensive-erneuerbare-energien-der-stadtwerke-muenchen>, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- Matthey, Astrid; Bünger, Björn (2020): Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten - Kostensätze. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-12-21_methodenkonvention_3_1_kostensaetze.pdf.
- Metzger, S.; Hein, A.; Schwentner, G.; Hiller, G.; Kapp, H. (2015): Vierte Reinigungsstufe jetzt - Pro und Contra. In: *Korrespondenz Abwasser, Abfall* 62 (5), S. 407–409. Online verfügbar unter https://www.koms-bw.de/cms/content/media/2015_05_Vierte%20Reinigungsstufe%20jetzt%20-%20Pro%20und%20Contra%20-%20Leserbrief.pdf, zuletzt geprüft am 09.08.2021.

- MoorFutures (2017): Methodologie für MoorFutures-Projekte.
https://www.moorfutures.de/app/download/31771519/Moorfutures_Methodologie.pdf
- MSE - Münchner Stadtentwässerung (Hg.) (2020a). Geschäftsbericht 2019, Projekte. München, 2020.
- MSE - Münchner Stadtentwässerung (Hg.) (2020b). Klärwerk Gut Großlappen, Neubau der Klärschlammverbrennungsanlage. München, 2020.
- Müller, J.; Büttler, R. (2010): A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. In: *European Journal of Forest Research* 129 (6), S. 981–992. DOI: 10.1007/s10342-010-0400-5.
- NABU (2012b): Klimaschutz natürlich! Die Bedeutung von Mooren für Natur und Klima.
https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/naturschutz/moorschutz/klimaschutz-nat_rlich.pdf (05.05.2021)
- Öko-Institut (Hg.) (2017): Kenkmann, T.; Hesse, T.; Hülsmann, F.; Timpe, C.; Hoppe, K. Klimaschutzziel und –strategie München 2050, Endbericht. Unter Mitarbeit von Blanck, R.; Bürger, V.; Friedrich, A.; Sachs, A. und Winger, C. Freiburg, 2017. Online verfügbar unter
https://stadt.muenchen.de/dam/jcr:8fab7200-cc0b-4e9b-8a9a-319d459e1a57/fachgutachten_2050.pdf.
- Öko-Institut (Hg.) (2020): Reise, J.; Urrutia, C.; Böttcher, H.; Hennenberg, K. Literaturstudie zum Thema Wasserhaushalt und Forstwirtschaft, Studie für den Naturschutzbund Deutschland (NABU). Berlin, 2020. Online verfügbar unter
<https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Wasserhaushalt-Wald-NABU.pdf>, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- Pieper, B. & Baumann, L. (2021): Die unterschätzten Klimaschützer. <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/moore/moore-und-klimawandel/13340.html> (26.04.2021)
- Prietzl J., Bachmann S. (2011). Verändern Douglasien Wasser und Boden?. LWF aktuell, 84, 50.
- RAW - Landeshauptstadt München (LHM), Referat für Arbeit und Wirtschaft (Hg.) (2020). Münchner Jahreswirtschaftsbericht 2020. München, 2020. Online verfügbar unter
<http://www.wirtschaft-muenchen.de/publikationen/pdfs/Jahreswirtschaftsbericht-muenchen-2020.pdf>, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- RKU - Landeshauptstadt München (LHM), Referat für Klima- und Umweltschutz (Hg.) (2021). THG-Monitoring. Energieverbrauchsdaten der LHM 2006-2019. München (nicht veröffentlicht), März 2021.
- Schneider, Lambert; Michaelowa, Axel; Broekhoff, Derik; Espelage, Aglaja; Siemons, Anne (2019): Lessons learned from the first round of applications by carbon-offsetting programs for eligibility under CORSIA. Hg. v. Öko-Institut, Perspectives Climate Group und Stockholm Environment Institute (SEI). Berlin / Zürich / Seattle. Online verfügbar unter
<https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Lessons-learned-from-CORSIA-applications.pdf>, zuletzt geprüft am 09.05.2022.
- Siemons, Anne; Schneider, Lambert; Wissner, Nora; Keimeyer, Friedhelm; Gores, Sabine; Graichen, Jakob (2021): Möglichkeiten zur Regulierung der Klimawirkungen des Luftverkehrs. Hg. v. Öko-Institut. Berlin. Online verfügbar unter
<https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Moeglichkeiten-zur-Regulierung-der-Klimawirkungen-des-Luftverkehrs.pdf>, zuletzt geprüft am 09.05.2022.
- Spalding-Fecher, Randall; Narayan Achanta, Amrita; Erickson, Peter; Haltes, Erik; Lazarus, Michael; Pahuja, Neha et al. (2012): Assessing the Impact of the Clean Development

- Mechanism. Report commissioned by the High-Level Panel on the CDM Policy Dialogue. Hg. v. CDM Policy Dialogue. Luxembourg. Online verfügbar unter https://www.cdmpolicydialogue.org/research/1030_impact.pdf, zuletzt geprüft am 09.05.2022.
- Stähr, F.; Hainke, K.; Lübge, G. (2019): 15 Jahre nach dem Waldbrand - Sekundärsukzession auf dem Weg zum Wirtschaftswald? (Band 67), S. 49–64. Online verfügbar unter <https://forst.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/efs67.pdf>, zuletzt geprüft am 10.08.2021.
- Statistisches Amt München (Hg.) (2021). Privathaushalte am 31.12.2020 nach Haushaltsgröße in den Stadtbezirken. München, 2021.
- Stiglitz, Joseph E.; Stern, Nicholas (2017): Report of the High-Level Commission on Carbon Prices. Hg. v. Carbon Pricing Leadership Coalition (CPLC). Washington D. C. Online verfügbar unter https://static1.squarespace.com/static/54ff9c5ce4b0a53deccfb4c/t/59b7f2409f8dce5316811916/1505227332748/CarbonPricing_FullReport.pdf, zuletzt geprüft am 09.05.2022.
- sustainable (Hg.) (2012a). Berechnung des CO₂-Effektes der Maßnahme: 2.7.3 Aufforstung von Ausgleichsflächen im Grüngürtel, AG2 Stadtentwicklung, Bauleit- und Landschaftsplanung. München, 2012.
- sustainable (Hg.) (2012b). Berechnung des CO₂-Effektes der Maßnahme: 2.7.2 Zukauf von Waldflächen im Umgriff von München, AG2 Stadtentwicklung, Bauleit- und Landschaftsplanung. München, 2012.
- SWM - Stadtwerke München (Hg.) (2020). Aktualisierte Umwelterklärung 2020, Ressort Technik der Stadtwerke München. Energieerzeugung / Wassergewinnung / Verteilnetze. München, 2020.
- UBA - Umweltbundesamt (2018): Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2017 (Climate Change, 23/2018), 2018. Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/emissionsbilanz-erneuerbarer-energetraeger>.
- UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2016). Kohlendioxid-Emissionsfaktoren für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen 1990-2014, Endstand: 13.01.2016. Dessau, 13.01.2016.
- UBA - Umweltbundesamt (Hg.) (2019): Purr, K.; Günther, J.; Lehmann, H.; Nuss, P. Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität, RESCUE-Studie (Climate Change, 36/2019). Dessau-Roßlau, 2019. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf, zuletzt geprüft am 04.05.2020.
- Universität Greifswald (2021b): Das Greifswald Moor Centrum. <https://www.greifswaldmoor.de/start.html>, zuletzt geprüft am 27.07.2021.
- Universität Greifswald (2021a): Paludikultur - Land- und Forstwirtschaft auf wiedervernässten Mooren. <https://mowi.botanik.uni-greifswald.de/de/paludikultur/paludikultur.php>, zuletzt geprüft am 04.05.2021

9 Tabellenanhang zu den Szenarien

Tabelle 9-1: Endenergieverbrauch nach Energieträgern

	Ist (2018)	2035 (Trend)	2035 (Ziel)	204X (Ziel)
GWh				
Strom	6.781	7.001	7.416	8.151
Fernwärme	4.102	4.129	5.053	5.257
Fossile Gase	7.333	7.123	3.645	1.052
Heizöl	1.415	368	291	1
Benzin	2.149	1.497	953	115
Diesel	3.217	1.805	1.118	241
Kohle / Sonstige Fossile	13	10	12	0
Feste Biomasse	41	23	22	16
Sonstige Biomasse	106	144	154	161
Umweltwärme / -kälte	111	305	964	1.219
Erneuerbare Wärme	11	3	3	0
Wasserstoff	0	2	7	22
Summe	25.279	22.409	19.638	16.233

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Tabelle 9-2: Gesamter Endenergieverbrauch nach Sektoren

	Ist (2018)	2035 (Trend)	2035 (Ziel)	204X (Ziel)
GWh				
Haushalte	8.741	8.352	7.308	6.416
Stadtverwaltung	745	677	557	456
Wirtschaft und Dienstleis	10.134	9.241	8.586	7.484
Verkehr	5.659	4.139	3.187	1.877
Summe	25.279	22.409	19.638	16.233

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Tabelle 9-3: Gesamter Stromverbrauch nach Sektoren

	Ist (2018)	2035 (Trend)	2035 (Ziel)	204X (Ziel)
GWh				
Haushalte	1.734	1.918	1.940	1.963
Stadtverwaltung	191	218	173	149
Wirtschaft und Dienstleistung	4.496	4.089	4.241	4.551
Verkehr	361	775	1.061	1.488
Bereitstellung von Fernwärme	44	164	411	350
Summe	6.825	7.164	7.827	8.501

Anmerkung: Hier ist neben dem Verbrauch von Strom als Endenergie auch der Stromverbrauch in der Fernwärmeerzeugung und -verteilung mit erfasst.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Tabelle 9-4: Stromerzeugung in München

	Ist (2017)	2035 (Trend)	2035 (Ziel)	204X (Ziel)
GWh				
Abfallverbrennung	103	136	141	136
Fossile Heizkraftwerke	3.423	2.760	0	0
EE Heizkraftwerke	0	0	899	4.243
Dezentrale KWK fossil	366	244	45	47
Dezentrale Erneuerbare	181	315	832	1.594
Summe	4.073	3.454	1.918	6.020

Incl. der Eigenstromerzeugung der MSE.

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Tabelle 9-5: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Energieträgern und der Pro-Kopf-Emissionen

	Ist (2018)	2035 (Trend)	2035 (Ziel)	204X (Ziel)
kt CO ₂ e				
Strom	3.916	894	955	137
Fernwärme	1.081	441	247	138
Fossile Gase	1.811	1.759	900	260
Heizöl	450	117	92	0
Benzin	691	481	306	37
Diesel	1.178	661	410	88
Kohle / Sonstige Fossile	6	4	5	0
Feste Biomasse	1	0	0	0
Sonstige Biomasse	0	0	0	0
Umweltwärme / -kälte	0	0	0	0
Erneuerbare Wärme	0	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0
Summe	9.134	4.358	2.916	660
CO ₂ pro Kopf (in t/a)	6,21	2,61	1,75	0,38

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Tabelle 9-6: Entwicklung der gesamten THG-Emissionen der Stadt München nach Sektoren

	Ist (2018)	2035 (Trend)	2035 (Ziel)	204X (Ziel)
kt CO ₂ e				
Haushalte	2.795	1.455	857	270
Stadtverwaltung	234	74	39	6
Wirtschaft und Dienstleis	4.057	1.579	1.158	231
Verkehr	2.047	1.250	862	153
Summe	9.134	4.358	2.916	660

Quelle: Öko-Institut, auf Basis von Berechnungen von Öko-Institut, Hamburg Institut und Intraplan

Tabelle 9-7: Maßnahmen im Sektor Verkehr und zugehöriger Umsetzungsgrade in den Szenarien

Baustein	Maßnahme	Trend-szenario 2035	Ziel-szenario 2035	Ziel-szenario 204X
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Integrierte Siedlungs- und Verkehrsentwicklung: geeignete verkehrliche Anbindung neuer Stadtviertel unter Berücksichtigung der Klimaziele	nein	z.T.	ja
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Verankerung von Klimaschutzkriterien in Bebauungsplänen hinsichtlich nachhaltiger Mobilität	z.T.	ja	ja
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Verankerung von Klimaschutzkriterien in städtebaulichen und landschaftsplanerischen Wettbewerben hinsichtlich nachhaltiger Mobilität	z.T.	ja	ja
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Reduzierung des Stellplatzschlüssels mit Umsetzung eines Mobilitätskonzepts bei Neubaugebieten	z.T.	ja	ja
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Zentrale Bündelung von privaten und öffentlichen Stellplätzen in Quartiersgaragen in neuen Siedlungsgebieten	z.T.	ja	ja
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Förderung und Realisierung privatautofreier Neubaugebiete	z.T.	ja	ja
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Klimaschutz im Verkehrssektor durch Neuaufteilung des öffentlichen Straßenraums: Anpassung Flächenmanagement öffentlicher Raum; Temporäre/dauerhafte Umwidmung von frei werdenden Flächen zugunsten von Grünflächen und alternativen nachhaltigen Nutzungen	z.T.	ja	ja
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Fortführung der Pilotprojekte zu saisonalen Interventionen /zur saisonalen Umnutzung von Straßenräumen/temporären Umgestaltung des öffentlichen Raums	ja	ja	ja
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Fortführung der Förderung der Nahmobilität durch Umsetzung des Beschlusses "Nahmobilität in München"	ja	ja	ja

Baustein	Maßnahme	Trend-szenario 2035	Ziel-szenario 2035	Ziel-szenario 204X
Stadtplanung/Siedlungsentwicklung/räumliche Gestaltung	Fortführung der Pilotprojekte zur verkehrsreduzierenden Quartiersgestaltung inkl. E-Mobilität, Mobilitätsstationen, Sharing-Projekten, City-Logistik	ja	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	2. S-Bahn-Stammstrecke	ja	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	U9-Entlastungsspange	nein	nein	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Verlängerung der U-Bahn-Linie 5-West von Laim nach Pasing	nein	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Verlängerung der U-Bahn-Linie 5-West von Pasing nach Freiam	nein	nein	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Verlängerung der U-Bahn-Linie 5-Ost	nein	nein	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Verlängerung der U-Bahn-Linie 4-Ost	nein	nein	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Verlängerung vorhandener U-Bahn-Züge sowie Beschaffung neuer C2 U-Bahnzüge	z.T.	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	S-Bahn-Ring Süd	nein	nein	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	S-Bahn-Ring Nord	nein	nein	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	S-Bahn auf eigene Trassen im Gesamtnetz	nein	nein	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Ertüchtigung S-Bahn-Knoten	nein	nein	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram-Westtangente	ja	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram 23 Nord	ja	ja	ja

Baustein	Maßnahme	Trend-szenario 2035	Ziel-szenario 2035	Ziel-szenario 204X
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram-Nordtangente	ja	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram Y-Nord (HBF, Hochschule, Nordbad, Petuelring, Verweigung Feldmoching bzw. Am Hart)	nein	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram Ramersdorf-Neuperlach	nein	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram-Südtangente (Waldfriedhof, Harras, Candidplatz, Tegernseer Landstraße, ggf. OBF über Welfenstraße)	nein	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram Wasserburger Landstraße (ab Kreillerstraße bis Haar)	nein	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram Parkstadt-Solln (Fürstenried West bis Parkstadt Solln)	nein	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram 19 (Verlängerung) Berg am Laim - Daglfing	nein	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Tram Amalienburgstraße - Freiham	nein	ja	ja
Ausbau ÖPNV-Infrastruktur	Verlängerung Tramzüge (6 statt 4-Wagen); ggf. breitere Tramzüge	nein	nein	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Generelle Taktverdichtung des ÖPNV sowie Ausweitung in Nachtstunden	z.T.	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Fortführung Ausbau Bus-Netz, Expressbuslinien für wichtige Verbindungen	ja	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Umsetzung des Nahverkehrsplans (NVP) und Maßnahmenbündel zur Beschleunigung des Busverkehrs	z.T.	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Umsetzung des Nahverkehrsplans (NVP) und Maßnahmenbündel zur Beschleunigung des Tramverkehrs	z.T.	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	(Weitere) Sonderfahrstreifen für Busse, Trams	z.T.	ja	ja

Baustein	Maßnahme	Trend-szenario 2035	Ziel-szenario 2035	Ziel-szenario 204X
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Koordinierung von fahrplanmäßigen Anschlüssen	z.T.	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Weitere Priorisierungen Umweltverbund an Lichtsignalanlagen, Zeitverzögerung MIV	z.T.	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Verkehrsmittelübergreifendes Routing mit Echtzeitinformationen	ja	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	E-Ticketing für alle ÖV-Angebote inkl. Sharing-Angebote	ja	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Entwicklung und Betrieb digitaler, multimodaler Mobilitätsplattform, die alle Verkehrsmittel und -angebote umfasst	ja	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Ausbau LTE in U-Bahn, WLAN in Bussen/an Tram-Haltestellen	ja	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Dynamische Fahrgastinformationen an Haltestellen und in Fahrzeugen (U/S/Bus/Tram)	ja	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Systeme zur Auslastungserfassung, -analyse und -prognose inkl. auslastungabhängiges Fahrgastrouting, Videobildsensorik zur Analyse Fahrgastaufkommen	z.T.	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Appgestütztes On-Demand-/ Rufbus-/Taxi-System in Echtzeit	ja	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Nachrüstung Fahrerassistenzsysteme im ÖPNV für verbrauchsoptimierte Fahrweise	ja	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Ausbau Park & Ride und Bike & Ride, auch im Umland	z.T.	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Ausbau Park & Ride auch im Bereich von Bus-/Tramhaltestellen	z.T.	ja	ja
Weitere Maßnahmen ÖPNV	Schaffen von leistungsfähigen Umsteigepunkten vom MIV auf den ÖPNV im Nahbereich der Autobahnenden und wichtigen Einfallstraßen	z.T.	ja	ja

Baustein	Maßnahme	Trend-szenario 2035	Ziel-szenario 2035	Ziel-szenario 204X
Ausbau und Förderung Radverkehr	Umsetzung bzw. Fertigstellung "Altstadt-Radlring"	ja	ja	ja
Ausbau und Förderung Radverkehr	Umsetzung durchgängiges, innerstädtisches Radwegenetzes	z.T.	ja	ja
Ausbau und Förderung Radverkehr	Planung und Umsetzung Radschnellwegenetz	z.T.	ja	ja
Ausbau und Förderung Radverkehr	Fertigstellung Pilotprojekt "Schnelle Radverbindung für den Münchner Norden"	ja	ja	ja
Ausbau und Förderung Radverkehr	Umwidmung MIV-Fahrstreifen und MIV-Parkplätze für Radverkehr	z.T.	ja	ja
Ausbau und Förderung Radverkehr	Einheitliche und lückenlose Radwegbeschilderung	z.T.	ja	ja
Ausbau und Förderung Radverkehr	Erweiterung und Ausbau Fahrradabstellanlagen	z.T.	ja	ja
Ausbau und Förderung Radverkehr	Erweiterung Fahrradflotte MVG Rad	ja	ja	ja
Ausbau und Förderung Radverkehr	Weitere Ausweitung MVG Rad auf Umlandgemeinden (außerhalb LK München)	ja	ja	ja
Ausbau und Förderung Radverkehr	Einrichtung öffentlicher Fahrradpumpstationen an Fahrradabstellanlagen	z.T.	ja	ja
Bewusstseinsbildung	Förderung Digitalisierung Büros und Homeoffice	z.T.	ja	ja
Bewusstseinsbildung	Fortsetzung der kontinuierlichen Promotion der Angebote des Umweltverbunds	ja	ja	ja
Bewusstseinsbildung	Fortsetzung Testangebote Pedelecs und Elektrofahrzeuge	ja	ja	ja
Bewusstseinsbildung	Fortsetzung Fahrradförderung und Bewusstseinsbildung für Kinder und Jugendliche	ja	ja	ja
Bewusstseinsbildung	Fortsetzung Mobilitätserziehung an Schulen	ja	ja	ja
Bewusstseinsbildung	Fortsetzung Erstellung von Schulwegplänen	ja	ja	ja

Baustein	Maßnahme	Trend-szenario 2035	Ziel-szenario 2035	Ziel-szenario 204X
Bewusstseinsbildung	Fortsetzung Mobilitätsmanagement und Mobilitätsberatung für diverse Zielgruppen	ja	ja	ja
Sharing/Pooling	Förderung und Ausweitung der Shared-Mobility auf Gesamtstadt und Region	ja	ja	ja
Sharing/Pooling	Förderung Ride-Sharing/Pooling: Ausbau öffentliches Ride-Sharing/Aufbau Pooling-Dienst für Pendler, Förderung privatwirtschaftlich organisiertes Ride-Sharing/Mitfahrzentrale für Pendler in und um München	ja	ja	ja
Sharing/Pooling	Förderung Multimodalität: ÖPNV/Mietfahrrad, ÖPNV/Car-Sharing, ÖPNV/on-demand	ja	ja	ja
Wirtschaftsverkehr	Erstellung eines städtischen Wirtschafts- und Güterverkehrskonzept inkl. Einrichtung einer städt. Koordinierungsstelle, Austausch mit Akteuren sowie Datenbasis	ja	ja	ja
Wirtschaftsverkehr	Entwicklung und Einführung passender/abgestufter City-Logistik-Konzepte für unterschiedliche Stadtgebietstypen	z.T.	ja	ja
Wirtschaftsverkehr	Förderung Lastenräder/Lasten-Pedelecs für Münchner Gewerbetreibende unter Beachtung des Doppelförderungs Ausschlusses auf Bundes- und Landesebene	z.T.	ja	ja
Wirtschaftsverkehr	Konzept Güterverkehr auf Schiene inkl. Reaktivierung Industriegleisanschlüsse	nein	ja	ja
Wirtschaftsverkehr	Fortführung Erprobung innovativer Logistikkonzepte/Pilotprojekte zu City-Logistik	z.T.	ja	ja
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Umstellung auf Pkw mit Elektroantrieb/ Fortführung Förderung Umstellung auf E-Mobilität	z.T.	z.T.	weitgehend
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Bereitstellung ausreichender und geeigneter Ladeinfrastruktur für E-Mobilität	ja	ja	ja
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Umstellung Nahverkehrs- und Regionalbusse auf klimaneutrale Antriebe	z.T.	ja	ja
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebskonzepte im Wirtschaftsverkehr	ja	ja	ja
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Dienstwagenflotte LHM: Neuanschaffung Pkw nur noch als E-Fahrzeuge	ja	ja	ja
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Umstellung aller Taxis auf Elektroantriebe	nein	ja	ja

Baustein	Maßnahme	Trend-szenario 2035	Ziel-szenario 2035	Ziel-szenario 204X
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Co-Förderung privater Ladeinfrastruktur	ja	ja	ja
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	ÖV: Aufbau E-Ladeinfrastruktur an Busbetriebshöfen	z.T.	ja	ja
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Bereitstellung Ladeinfrastruktur für E-Mobilität an Gebäuden der LHM/städt. Flächen	ja	ja	ja
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Ausbau P+R-Plätze mit Ladeinfrastruktur	ja	ja	ja
Förderung E-Mobilität/alternative Antriebe	Einrichten Koordinationsstelle E-Mobilität	ja	ja	ja
Push-Pull-Maßnahmen	Parkraummanagement: deutliche Erhöhung Parkgebühren (auch für Bewohner) bei gleichzeitiger Stellplatzreduzierung	z.T.	ja	ja
Push-Pull-Maßnahmen	Einführung einer City-Maut/Anti-Stau-Gebühr	nein	nein	ja
Push-Pull-Maßnahmen	Einführung von Zufahrtsbeschränkungen für Verbrennungsmotoren im Stadtgebiet	nein	nein	ja
Push-Pull-Maßnahmen	Einrichtung HOV-Lanes und Umweltspuren	ja	ja	ja
Push-Pull-Maßnahmen	Reduzierung Preisniveau im ÖPNV (insbesondere für Zeitkarten)	nein	nein	ja
Push-Pull-Maßnahmen	Kostenfreier ÖPNV/solidarisches Bürgerticket	nein	nein	nein
Push-Pull-Maßnahmen	Vereinfachung Tarifsysteem ÖV	nein	nein	ja
Push-Pull-Maßnahmen	Einfaches (E-)Ticketing	ja	ja	ja
Verkehrssteuerung	Verbesserung der Erfassung Fußgänger, Fahrrad, ÖPNV und MIV zur Optimierung des Verkehrsablaufs und möglichst umweltfreundlichen Verkehrsabwicklung	ja	ja	ja
Verkehrssteuerung	Verbesserung Verkehrsdatensituation, Erhebung fehlender Daten, Einführung Softwarelösung für Analysen und Planung, Echtzeitdaten	ja	ja	ja
Verkehrssteuerung	Analyse Potenziale weitere Verkehrssteuerung/lenkung im gesamten Hauptverkehrsnetz	ja	ja	ja

Baustein	Maßnahme	Trend-szenario 2035	Ziel-szenario 2035	Ziel-szenario 204X
Verkehrssteuerung	Pilotprojekte Parkraumdetektion zur Reduzierung Parksuchverkehr	ja	ja	ja
Verkehrssteuerung	Intelligente Vernetzung P+R-Anlagen (Belegungserfassung, Wegweisung)	ja	ja	ja

Quelle: Intraplan, eigene Annahmen