



## Szenario Düsseldorf 2050 Technologieoptionen und Pfade für ein klima- verträgliches Düsseldorf





# Vorwort des Oberbürgermeisters

## Szenario Düsseldorf 2050



Die Landeshauptstadt Düsseldorf hat ihr Engagement für den Klimaschutz seit dem Jahr 2008 erheblich verstärkt. Ausgangspunkt war das im März 2008 vom Rat beschlossene Programm „Die Schöpfung bewahren – 30 Initiativen für den Klimaschutz in Düsseldorf“. Ein zentraler Punkt des Programms war der Beitritt Düsseldorfs zum Klima-Bündnis e.V. und die damit verbindlich erklärte Zielvorgabe, alle fünf Jahre 10 Prozent der städtischen CO<sub>2</sub>-Emissionen einzusparen.

Die Erfolge dieser Klimaschutzbemühungen sind bereits deutlich erkennbar. Düsseldorf hat das CO<sub>2</sub>-Einsparziel des Klima-Bündnis e.V. im Zeitraum von 2007 bis 2012 eingehalten. Die Landeshauptstadt Düsseldorf bekennt sich als eine der ersten deutschen Großstädte zu dem langfristigen Klimaschutzziel, im Jahr 2050 klimaneutral zu sein. Um dieses ehrgeizige Ziel erreichen zu können, bedarf es eines planvollen Vorgehens und eines „langen Atems“.

Mit der vorliegenden Studie zeigt das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie auf, welche Technologieoptionen und Pfade die Landeshauptstadt Düsseldorf für das Erreichen der Klimaneutralität im Jahr 2050 nutzen bzw. einschlagen soll. Sie stützt sich inhaltlich auf die bundesweit beachtete Studie „Technologiematrix Deutschland“, die das Wuppertal Institut im Jahr 2010 im Auftrag der Landeshauptstadt Düsseldorf erstellt hat.

Kernaussage der Studie „Szenario Düsseldorf 2050“ ist, dass bei einer konsequenten Nutzung der Einspar- und Effizienzpotenziale sowie einem Ausbau der erneuerbaren Energien die angestrebte Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80 Prozent in Düsseldorf bis zum Jahr 2050 zu erreichen ist. Dies gelingt bereits mit dem Einsatz bestehender Technologien. Der bisher eingeschlagene Pfad führt zwar schon zu Erfolgen, trägt aber selbstverständlich noch nicht bis zum Jahr 2050.

Entscheidend für ein klimaneutrales Düsseldorf sind folgende Bausteine:

- der Bau eines effizienten Gas- und Dampfturbinenkraftwerkes an der Lausward,
- die damit verbundene stärkere Nutzung der Fernwärme,
- die energetische Sanierung des Gebäudebestandes, sowohl im privaten Sektor als auch im Gewerbe-, Handel, sowie Dienstleistungssektor,

- Effizienzsteigerungen im Maschinen- und Anlagenbereich,
- der Ausbau der solaren Energienutzung und der oberflächennahen Geothermie, sowie
- die energetische Optimierung des Mobilitätssektors.

Die Studie bestätigt damit die Zukunftsträchtigkeit der bisherigen Handlungsfelder der Düsseldorfer Klimaschutzstrategie. Darüber hinaus unterstützt sie den gemeinsam mit der Stadtwerke Düsseldorf AG eingeschlagenen, energiepolitischen Weg hin zu einer klimaschonenden und nachhaltigen Energieversorgung Düsseldorfs.

Die Ergebnisse dieser Studie werden die Grundlage für das zukünftige Handeln der Stadtverwaltung bilden und in den weiteren Dialog mit der lokalen Wirtschaft und insbesondere den Düsseldorfer Bürgerinnen und Bürgern einfließen.

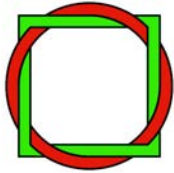
Gleichzeitig kommt es darauf an, einen innovationsfreundlichen Rahmen zu schaffen, so dass neue Produktionsweisen und Technologien entwickelt werden, die das Erreichen des langfristigen Ziels erleichtern und neue Chancen für Wirtschaft und Industrie eröffnen.

Die Landeshauptstadt Düsseldorf hat einen Erfolg versprechenden Weg zum Wohle kommender Generationen eingeschlagen und ich bin zuversichtlich, dass wir ihn mit der Unterstützung der vielen engagierten Menschen in dieser Stadt bis zum Ziel konsequent weitergehen werden.

Das Gutachten ist eine wichtige Hilfe für alle, die die hierzu notwendigen Entscheidungen treffen müssen.

Dirk Elbers,  
Oberbürgermeister der Landeshauptstadt Düsseldorf





**Wuppertal Institut**  
für Klima, Umwelt, Energie  
GmbH

# **Szenario Düsseldorf 2050**

## **Technologieoptionen und Pfade für ein klimaverträgliches Düsseldorf**

### **Endbericht**

Im Auftrag der Landeshauptstadt Düsseldorf, Umweltamt

Wuppertal, 04.06.12

**Projektleitung und Ansprechpartner:**

Dr. Stefan Lechtenböhrer  
Dipl.-Geogr. Johannes Venjakob

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal

Telefon: 0202/2492 -102  
Fax: -263  
Email: [johannes.venjakob@wupperinst.org](mailto:johannes.venjakob@wupperinst.org)

Bearbeitung:  
Dipl.-Wi.Ing Jonas Friege  
Clemens Schneider

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Projekthintergrund</b>	<b>8</b>
1.1	Motivation	8
1.2	Ziel der Studie	9
<b>2</b>	<b>Status-quo der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Düsseldorf</b>	<b>11</b>
2.1	Verbrauchssektoren	14
2.1.1	Haushalte	14
2.1.2	GHD	14
2.1.3	Verkehr	15
2.1.4	Industrie	16
2.2	Strom- und Fernwärmeerzeugung	17
2.3	Modellierungsergebnisse im Vergleich zum Bundesdurchschnitt	19
<b>3</b>	<b>Szenarioannahmen und Abgrenzung</b>	<b>20</b>
3.1	Leitlinien des Klimaschutzszenarios	20
3.2	Basistrends	22
3.2.1	Bevölkerungsentwicklung	22
3.2.2	Bruttowertschöpfung der Industrie	23
3.2.3	Beschäftigte im Sektor GHD	23
3.2.4	Zukünftige Pkw-Nutzung	23
3.2.5	Veränderungen im fossilen Kraftwerkspark	24
3.2.6	Anteil erneuerbarer Energien im deutschen Stromerzeugungsmix	24
3.2.7	Hocheffiziente Energieanwendungen	25
<b>4</b>	<b>Vertiefende Analyse von Wärmeversorgungsoptionen</b>	<b>26</b>
4.1	Strategie: Ausbau der Fernwärmenutzung	26
4.2	Strategie: Gezielter Ausbau der Nutzung von Wärmepumpen	30
<b>5</b>	<b>Szenarien</b>	<b>35</b>
5.1	Verbrauchssektoren	36
5.1.1	Haushalte	36
5.1.2	GHD	42
5.1.3	Industrie	45
5.1.4	Verkehrssektor	49

5.2	Strom- und Fernwärmeerzeugung.....	53
<b>6</b>	<b>Emissionsminderungsbeiträge im Klimaschutzszenario .....</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>Handlungsempfehlungen und weiterer Prozess .....</b>	<b>64</b>
7.1	Inhaltliche Handlungsempfehlungen.....	64
7.2	Strukturelle Empfehlungen für die Aufstellung einer langfristigen Klimaschutzstrategie.....	66
<b>8</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>68</b>
<b>9</b>	<b>Anhang 1: Hintergrundinformationen zur Modellstruktur .....</b>	<b>70</b>
9.1	Verbrauchssektoren .....	71
9.1.1	Haushalte .....	71
9.1.2	GHD.....	72
9.1.3	Industrie.....	73
9.1.4	Verkehr .....	75
9.2	Strom- und Fernwärmeerzeugung.....	76
<b>10</b>	<b>Anhang 2: Validierung der Modellergebnisse .....</b>	<b>77</b>
<b>11</b>	<b>Anhang 3: Hintergrundinformationen zur Spezifizierung der Modellannahmen mit Hilfe des Wärmekatasters .....</b>	<b>79</b>
11.1	Datenlage .....	79
11.2	Datenerfassung .....	79
11.3	Aufbereitung der Daten .....	81
11.4	Übernahme der Daten in das Modell.....	82
<b>12</b>	<b>Anhang 4: Hintergrundinformationen zur Berechnung des zukünftigen Fernwärmeeinsatzes .....</b>	<b>83</b>
12.1	Strom- und Fernwärmeerzeugung des geplanten GuD Kraftwerkblocks F in der Lausward .....	83
12.2	Fernwärmeabsatzpotential im Haushaltssektor durch Arondierungsmaßnahmen.....	83
<b>13</b>	<b>Anhang 5: Hintergrundinformationen zur Berechnung des zukünftigen Einsatzes von Grundwasser-Wärmepumpen.....</b>	<b>85</b>
<b>14</b>	<b>Anhang 6: Emissionsminderungsbeiträge .....</b>	<b>87</b>

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 CO <sub>2</sub> -Emissionen Verbrauchs- und Quellsektoren für das Jahr 2007; eigene Berechnung, Heide und Eberhard 2009 .....	12
Abbildung 2 CO <sub>2</sub> -Emissionen im Haushaltssektor nach Anwendungsbereichen für das Jahr 2007; eigene Berechnung, die Kategorie Strom (sonstige) umfasst alle Stromverbräuche außer für Wärmepumpen und Elektroheizungen.....	14
Abbildung 3 CO <sub>2</sub> -Emissionen im Sektor GHD nach Anwendungsbereichen für das Jahr 2007; eigene Berechnung, die Kategorie Strom (sonstige) umfasst alle Stromverbräuche außer für Wärmepumpen und Elektroheizungen.....	15
Abbildung 4 CO <sub>2</sub> -Emissionen im Verkehrssektor nach Güter-/Personentransport für das Jahr 2007; eigene Berechnung.....	16
Abbildung 5 Energieträgerstruktur der nordrheinwestfälischen Industrie nach Branchen für das Jahr 2007; eigene Darstellung, it.nrw 2011 .....	16
Abbildung 6 CO <sub>2</sub> -Emissionen im Industriesektor nach Branchen für das Jahr 2007, Datenbeschriftung: 1.000 t CO <sub>2</sub> ; Anteil in Prozent; Statistisches Bundesamt 2010, Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011c, eigene Berechnung (zur Methodik siehe Abschnitt 9.1.3).....	17
Abbildung 7 CO <sub>2</sub> -Emissionen durch Strom- und Fernwärmeerzeugung nach importiertem/eigenerzeugtem Strom für das Jahr 2007; eigene Berechnung.....	18
Abbildung 8 Bevölkerungsentwicklung Düsseldorfs bis 2050; eigene Darstellung, Amt für Statistik und Wahlen Landeshauptstadt Düsseldorf 2009.....	22
Abbildung 9 Beschäftigungsentwicklung im GHD, *Land- und Forstwirtschaft: 1.200; eigene Darstellung, Stadtplanungsamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2008 .....	23
Abbildung 10 Steigerung der Energieeffizienz elektrischer Geräte im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung, WI 2010.....	25
Abbildung 11 Wärmebedarf des linksrheinischen Versorgungsgebiets; Steinwider, T. 2010 S. 83.....	27
Abbildung 12 Entwicklung des Wohngebäude - Endenergiebedarfs innerhalb der Denkmalbereichssatzungsgebiete; eigene Berechnung .....	28
Abbildung 13 Entwicklung der Fernwärmenachfrage nach Sektoren im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung .....	29
Abbildung 14 Entwicklung der JAZ von elektrisch betriebenen Wärmepumpen im Vergleich; eigene Berechnung, BWP 2009 .....	30
Abbildung 15 Anteile der eingesetzten Wärmepumpen im Klimaschutzszenario, eigene Berechnung auf Grundlage der Annahmen und BWP 2009 S.16 .....	31
Abbildung 16 Durchschnittliche Jahresarbeitszahl der in Düsseldorf eingesetzten Wärmepumpen im Klimaschutzszenario im Vergleich zu einer Entwicklung auf Basis von Prognosen des BWP; eigene Berechnungen, BWP 2009 .....	32



Abbildung 17 Wärmebedarf im Haushaltssektor nach Wärmeerzeugungstechnologie; eigene Berechnung.....	33
Abbildung 18 Endenergiebedarf zur Wärmeerzeugung im Haushaltssektor nach Wärmeerzeugungstechnologie; eigene Berechnung.....	33
Abbildung 19 Verteilung der Wohnfläche nach Gebäudesegmenten im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung .....	38
Abbildung 20 Verteilung der Wohnfläche nach Gebäudesegmenten im Basisszenario; eigene Berechnung.....	38
Abbildung 21 Endenergiebedarf zur Erzeugung von Raumwärme nach Gebäudesegmenten; eigene Berechnung.....	39
Abbildung 22 Energieträgerstruktur innerhalb der Denkmalbereichssatzung im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung .....	40
Abbildung 23 CO2-Emissionen im Haushaltssektor nach Gebäudesegmenten im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung .....	42
Abbildung 24 CO2-Emissionen im Haushaltssektor nach Gebäudesegmenten im Basisszenario; eigene Berechnung .....	42
Abbildung 25 Endenergiebedarf im GHD-Sektor im Klimaschutzszenario nach Energieträgern; eigene Berechnungen.....	44
Abbildung 26 Endenergiebedarf im GHD-Sektor im Basisszenario nach Energieträgern; eigene Berechnungen.....	44
Abbildung 27 CO2-Emissionen im Sektor GHD nach Anwendungsbereichen im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung, die Kategorie Strom (sonstige) umfasst alle Stromverbräuche außer für Wärmepumpen und Elektroheizungen	45
Abbildung 28 CO2-Emissionen im Sektor GHD nach Anwendungsbereichen im Basisszenario; eigene Berechnung, die Kategorie Strom (sonstige) umfasst alle Stromverbräuche außer für Wärmepumpen und Elektroheizungen.....	45
Abbildung 29 Energieintensität der Düsseldorf Industrie nach Branchen für 2007 und 2050 im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung.....	46
Abbildung 30 Energieträgerstruktur der Industrie nach Branchen im Klimaschutzszenario für das Jahr 2050; eigene Berechnung .....	47
Abbildung 31 Energieträgerstruktur der Industrie nach Branchen im Basisszenario für das Jahr 2050; eigene Darstellung.....	47
Abbildung 32 (Ziel-)Energieträgerstruktur des Industriesektors im WWF-Modell Deutschland gegenüber der (Ziel-)Energieträgerstruktur im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung, prognos 2009 S.209 .....	48
Abbildung 33 CO2-Emissionen im Klimaschutzszenario nach Branchen; eigene Berechnung.....	49
Abbildung 34 CO2-Emissionen im Basisszenario nach Branchen; eigene Berechnung .....	49

Abbildung 35 Angemeldete Personenkraftwagen nach Antriebstechnologie im Klimaschutzscenario; eigene Berechnung, prognos 2010 .....	50
Abbildung 36 Angemeldete Personenkraftwagen nach Antriebstechnologie im Basisszenario; Die Kategorie Sonstige umfasst Hybrid, Plug-In Hybrid, Elektro, Erdgas, Flüssiggas/LPG, Brennstoffzelle; eigene Berechnung, prognos 2010 ..	50
Abbildung 37 Endenergiebedarf und CO2-Emissionen im Verkehrssektor im Klimaschutzscenario nach Treibstoff, Die Kategorie Sonstige umfasst Erdgas, Flüssiggas/LPG, Wasserstoff und Kerosin; eigene Berechnung.....	51
Abbildung 38 Endenergiebedarf und CO2-Emissionen im Verkehrssektor im Basisszenario nach Treibstoff, Die Kategorie Sonstige umfasst Erdgas, Flüssiggas/LPG, Wasserstoff und Kerosin; eigene Berechnung.....	52
Abbildung 39 CO2-Emissionen im Verkehrssektor nach Personenverkehr/Gütertransport im Klimaschutz- und Basisszenario; eigene Berechnung.....	52
Abbildung 40 CO2-Emissionen im Gütertransport nach Transportmittel im Klimaschutz- und Basisszenario; eigene Berechnung .....	53
Abbildung 41 Energieerzeugung und (gesamte) CO2-Emissionen bei unterschiedlichen Energieerzeugungsstrategien der Stadtwerke Düsseldorf; eigene Berechnung.....	54
Abbildung 42 Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten Düsseldorfs im Klimaschutzscenario bis 2050. Das Kraftwerk Garath (3,5 MWel) ist in der Abbildung nicht dargestellt; eigene Berechnung .....	57
Abbildung 43 Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten Düsseldorfs im Basisszenario bis 2050. Das Kraftwerk Garath (3,5 MWel) ist in der Abbildung nicht dargestellt; eigene Berechnung.....	57
Abbildung 44 CO2-Emissionen der Strom- und Fernwärmeerzeugung im Klimaschutzscenario; eigene Berechnung .....	59
Abbildung 45 CO2-Emissionen der Strom- und Fernwärmeerzeugung im Basisszenario; eigene Berechnung .....	59
Abbildung 46 Emissionsminderungsbeiträge im Klimaschutzscenario nach zugrundeliegenden Maßnahmen, UWS = Strom- und Fernwärmeerzeugung; eigene Berechnung.....	60
Abbildung 47 Beheizte Fläche pro Erwerbstätigen im Sektor GHD nach Branchen für das Jahr 2007; eigene Darstellung, WI 2010, prognos 2009 .....	73
Abbildung 48 Gebiete in Oberkassel (links) und Altstadt (rechts) mit Denkmalebereichssatzung (grün schraffiert), Erhaltungssatzung (blau schraffiert), Gestaltungssatzung (lila schraffiert) und Leitungswege Fernwärmenetzes (rot), Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011a.....	80
Abbildung 49 Baublocknummern im Bereich der Düsseldorfer Altstadt, Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011a.....	81

Abbildung 50 Elektrische Leistung und Brennstoffausnutzungsgrad (Y-Achse) des geplanten GuD Kraftwerksblocks F am Standort Lausward in Abhängigkeit von auskoppelbarer thermischer Leistung (X-Achse); eigene Berechnung .....	83
Abbildung 51 Leitungswege Fernwärmenetz (rot) Lausward-Flingern, Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011a .....	84
Abbildung 52 Emissionsminderungsbeiträge im Klimaschutzszenario .....	87

# 1 Projekthintergrund

## 1.1 Motivation

Der menschengemachte Anstieg der Konzentration von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen führt zu einer Erwärmung der Atmosphäre. Das ist eine Erkenntnis, die spätestens seit dem 4. Bericht des IPCC (2007) als Ergebnis umfangreicher weltweiter Forschungsarbeiten als Tatsache gelten kann. Wenn die Treibhausgaskonzentration bestimmte Grenzen überschreitet, droht sie für zahlreiche Ökosysteme und auch die menschlichen Gesellschaften gefährlich zu werden. Um eine Gefährdung des Lebens auf der Erde einzudämmen, wie dies als Ziel der 1992 in Rio de Janeiro geschlossenen Klimarahmenkonvention festgeschrieben wurde, muss diese Entwicklung, die sich in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten beschleunigt hat, rasch abgebremst werden. Das gelingt nur, wenn die Emissionen alsbald und deutlich zurückgefahren werden – mit dem klaren Ziel fast vollständig aus der Emission von Treibhausgasen auszusteigen.

In ihrer Position für die 14. Vertragsstaatenkonferenz im Dezember 2008 in Posen haben die Umweltminister der EU genauer definiert, was nach heutigem Stand des Wissens die Konsequenz zu sein hat: Bis zum Jahr 2020 muss der Anstieg der weltweiten Treibhausgasemissionen gestoppt und umgekehrt werden, so dass bis zum Jahr 2050 ein Rückgang um „mehr als 50% gegenüber dem Stand von 1990“ erreicht wird, wenn eine realistische Chance bestehen soll den Anstieg der Weltmitteltemperatur auf 2°C zu begrenzen (UN Foundation 2007,1; Brundtland 2007). „Minus 50%“ entspricht im Jahr 2050 insgesamt ca. 18 Mrd. t CO<sub>2</sub>-Äquivalent oder, bei einer angenommenen Weltbevölkerung von rd. 9 Mrd. Menschen, einer Pro-Kopf-Emissionsmenge von etwa 2 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Darin sind sämtliche Treibhausgasemissionen, sowohl die aus der Verbrennung fossiler Energieträger, Öl, Kohle und Erdgas, als auch die Emissionen anderer Treibhausgase, z.B. aus Industrieprozessen oder der Landwirtschaft und die Emissionen durch Entwaldung enthalten. Langfristig, d.h. bis gegen Ende dieses Jahrhunderts, müssen die Treibhausgasemissionen aber nochmals um mindestens die Hälfte auf letztlich maximal ca. 1 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Kopf der Weltbevölkerung zurückgehen, um dann ein auf Dauer stabiles neues atmosphärisches Gleichgewicht zu erhalten.

Für die Industrieländer folgt aus diesen Werten, dass sie ihre Emissionen bis 2020 um 25 bis 40% und bis 2050 um 80 bis 95%, jeweils gegenüber 1990, verringern müssen (EU Umweltministerrat 2008).

Dies ist die Herausforderung auf globaler Ebene. Sie stellt den Hintergrund dar für das hier zu untersuchende Konzept der klimaverträglichen Entwicklung der Landeshauptstadt Düsseldorf. Eine Verringerung der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95% bedeutet faktisch vor allem, dass die heutigen, auf fossilem Kohlenstoff, der Verbrennung von Kohle, Öl und Erdgas basierenden Energie(nutzungs)systeme nahezu vollständig umgebaut werden müssen. Am Ende dieses Transformationsprozesses muss ein System stehen, das ohne fossile Energieträger auskommt und in diesem Sinne weitestgehend frei von fossilem Kohlenstoff bzw. CO<sub>2</sub> ist. Solche im Vergleich zu heute hoch effizienten und

vornehmlich regenerativen Energiesysteme zeichnen ein Bild davon, wie die CO<sub>2</sub>-freie Gesellschaft in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts aussehen und erreicht werden könnte. Parallel dazu müssen die Emissionen aus anderen Quellen, wie z.B. der Landwirtschaft und der Entwaldung, ebenfalls massiv verringert werden.

## 1.2 Ziel der Studie

Die hier vorliegende Studie fokussiert in ihren Analysen auf den für Großstädte in Industrieländern zentralen Bereich der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Ziel der Studie ist es, ein auf die lokalen Gegebenheiten in Düsseldorf ausgerichtetes Langfristkonzept für den Klimaschutz zu entwickeln, das den erforderlichen Beitrag der Stadt Düsseldorf zum langfristig angestrebten Ziel, der Eindämmung der menschengemachten zusätzlichen Erwärmung auf maximal 2°C, skizziert und hierfür eine erste quantitative Einordnung liefert. Vor diesem Hintergrund war im Rahmen der Studie ein Szenario zu entwickeln, das für die nächsten knapp 40 Jahre bis 2050 einen Pfad zur Verringerung der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt Düsseldorf auf ein Niveau von zwei Tonnen pro Einwohner darstellt.

Die Überlegungen für das in der vorliegenden Studie entwickelte Klimaschutzszenario basieren auf Ergebnissen eines vorangegangenen Forschungsvorhabens „Technologiematrix Deutschland“, welches im Auftrag der Landeshauptstadt Düsseldorf im Jahr 2009/2010 durch das Wuppertal Institut bearbeitet wurde. In diesem Projekt wurden für die Bereiche Strom, Geräte & Anlagen, Wärme & Gebäude, Verkehr sowie Infrastrukturen detaillierte Bewertungen innovativer Technologien hinsichtlich ihres CO<sub>2</sub>-Minderungspotentials vorgenommen. Diese Bewertungen berücksichtigten zudem ökonomische Aspekte der jeweiligen Technologien und Fragen ihrer zeitlichen Verfügbarkeit. Außerdem wurde eine ausführliche Analyse notwendiger Rahmenbedingungen für die Nutzung der Technologien vorgenommen, in der auch aktuelle Hemmnisse erörtert wurden. Diese Bewertungen und Analysen bildeten eine wichtige Grundlage für die Potentialermittlung und die Strategieentwicklung des hier vorgelegten Klimaschutzszenarios für Düsseldorf.

Damit liegt in dieser Studie eine erste quantifizierte Vorstellung vor, welche energiesystemaren Veränderungen in Düsseldorf notwendig wären, um die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt bis zur Mitte des Jahrhunderts auf ein klimaverträgliches Maß zurückzuführen.

Aufbauend auf einer umfassenden Darstellung der aktuellen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt Düsseldorf werden quantitative Pfade für die zukünftige Entwicklung modelliert. Dies geschieht sektoral differenziert.

Es werden zwei Szenariopfade abgeleitet:

- Das primäre Szenario ist das Klimaschutzszenario. Es zeigt auf, welche CO<sub>2</sub>-Minderungswirkung von einem ambitionierten Klimaschutzprogramm ausgehen würde. Es legt dar, wie sich das Ziel von zwei Tonnen CO<sub>2</sub> pro Einwohner erreichen lässt.

- Als Bezugsgröße wurde zusätzlich ein Basisszenario entwickelt. Grundlagen für das Basisszenario im Sinne einer „Business-As-Usual“ Betrachtung waren, die bereits beschlossenen Maßnahmen im Klimaschutzkonzept 2008, mit der Annahme, dass keine zusätzlichen Aktivitäten zur Erreichung des Klimaschutzziels ergriffen würden.

Inhaltlich wird vor allem der Bereich der zukünftigen Wärmeversorgung vertieft in den Blick genommen. Denn es wird angenommen, dass sich hier zukünftig besondere infrastrukturelle Herausforderungen stellen werden, die zum Großteil auch auf städtischer Ebene zu bewältigen sind. Hinzu kommt, dass in diesem Segment des Energiemarktes die Interessen zahlreicher Akteure zusammentreffen. Die frühzeitige Entwicklung strategischer Vorstellungen und Zielsetzungen ist daher besonders wichtig.

Die hier abgeleiteten Entwicklungspfade im Rahmen quantitativer Szenarien stellen grundlegende Bausteine einer integrierten kommunalen Klimaschutzstrategie dar. Sie liefern notwendiges Orientierungswissen. Darüber hinaus ist es jedoch wichtig, im Rahmen weiterer Aktivitäten und ggf. vertiefter Untersuchungen ihre Einbindung in eine integrierte Gesamtstrategie und ihre Ergänzung um weitere Bausteine in den Blick zu nehmen.

Zu den im Folgenden – zusätzlich zu den hier vorgelegten Analysen – notwendigen Bausteinen gehört die Entwicklung einer Roadmap für die Umsetzung der Szenarien in die Praxis. Es muss aufbauend auf den Szenarioergebnissen dargelegt werden, in welchem zeitlichen Ablauf der Einsatz der Technologien zu bringen ist und welche vorbereitenden Rahmenbedingungen hierfür zu schaffen sind. Hierzu zählt als weiterer Baustein auch der Entwurf adäquater politischer Konzepte und Instrumente, die unter Berücksichtigung der lokal-spezifischen Begebenheiten geeignet sind, den Technologieeinsatz zu stützen.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Szenario-Modellierung bieten in diesem Kontext eine Grundlage für vertiefende Analysen. Diese können darauf ausgerichtet sein, einzelne Elemente oder identifizierte „Hot Spots“ der Szenarien genauer zu untersuchen und noch detaillierter auf bestimmte lokale Begebenheiten einzugehen. Weiterhin liefern sie notwendiges Orientierungswissen für die Ableitung einer geeigneten Implementierungs-Roadmap sowie für die Erstellung unterstützender Maßnahmenkonzepte und politischer Strategien. Diese Folge-Analysen sind nicht Bestandteil des vorliegenden Gutachtens.

Im Folgenden wird zunächst der derzeitige Status-Quo der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen Düsseldorfs dargestellt. Daraufhin werden die Leitlinien und Basistrends der Szenarioentwicklung erläutert. In Kapitel 5 werden dann schließlich die Annahmen und Ergebnisse des Klimaschutzzszenarios – differenziert nach Sektoren – skizziert.

## 2 Status-quo der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Düsseldorf

Ausgangslage für die Berechnungen der Szenariopfade sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt Düsseldorf, wie sie durch die Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz der Landeshauptstadt Düsseldorf für das Jahr 2007 ausgewiesen werden (Heide und Eberhard 2009 S.6). Für die Modellierung des Klimaschutzszenarios ist eine detaillierte Betrachtungsweise der einzelnen Sektoren nötig. Hierfür waren vor allem in den Bereichen Industrie sowie Gewerbe, Handel und Dienstleistungen eigene Abschätzungen der Ausgangslage in Bezug auf Energieeinsatz und Emissionen erforderlich.

Für die Szenarioanalysen ist eine differenziertere Zuordnung des Energieeinsatzes und der Emissionen zu Sektoren und Anwendungen erforderlich. Dies wurde in der vorliegenden Arbeit durch eine Kombination von bottom-up Ermittlung der anwendungsbezogenen Energiebedarfe und den Top-down verfügbaren Daten der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz sichergestellt. Aus der Kombination beider Datenquellen ergibt sich ein tragfähiges Mengengerüst für die weitere Szenarioanalyse.

- Zunächst werden die wesentlichen Datenquellen zur bottom-up Abschätzung des Energiebedarfs pro Anwendungsfeld in den Sektoren dargestellt: Im Haushaltssektor ist die Wohnfläche Grundlage zur Ermittlung des Raumwärmebedarfs. Strom- und Warmwasserbedarf berechnen sich über die Einwohnerzahl.
- Für den Bereich der Industrie werden Daten zur Bruttowertschöpfung sowie der energetischen Produktivität für die bottom-up Modellierung herangezogen.
- Im Sektor GHD dient zum einen die zu beheizende Fläche als Basis der Ermittlung des Raumwärmebedarfs. Hinzu kommen der spezifische Energiebedarf für Prozesswärme und -kälte als auch der Strombedarf (jeweils pro Erwerbstätigen).
- Mit Hilfe der in Düsseldorf angemeldeten Fahrzeuge sowie weiterer Kenngrößen wie spezifischem Kraftstoffbedarf und Fahrleistung pro Fahrzeug und Jahr wird der Energiebedarf im Verkehrssektor ermittelt.
- Strom- und Fernwärmeerzeugung in Düsseldorf werden kraftwerks-scharf anhand der Daten der SWD für das Jahr 2007 abgebildet. Hinzu kommt die dezentrale Erzeugung aus regenerativen Energiequellen (vor allem Photovoltaik). Diese wird anhand der Daten zur Stromeinspeisung abgebildet. Die importierten (bzw. im Szenario ggf. exportierten) Strommengen werden mit den mittleren Emissionsfaktoren für den deutschen Kraftwerkspark des jeweiligen Jahres belegt.

Die CO<sub>2</sub>-Bilanz für das Jahr 2007 wurde vor allem zur Evaluation der Modellergebnisse genutzt (siehe Anhang 2: Validierung der Modellergebnisse). Insgesamt weist die Untersuchung für das Jahr 2007 für Düsseldorf CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 5,7 Millionen Tonnen aus. Umgerechnet auf die Bevölkerung

entspricht dieses einem pro-Kopf-Wert von knapp 10 Tonnen im Jahr und liegt damit in etwa im Bundesdurchschnitt.

Die Modellierungen des Wuppertal Institutes ergeben CO<sub>2</sub>-Emissionen von 5,8 Millionen Tonnen im Basisjahr 2007 und liegen somit leicht über den Angaben der CO<sub>2</sub>-Bilanz 2007 (Heide und Eberhard 2009 S.2)<sup>1</sup>.

Folgende Abbildung verdeutlicht, wie sich die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Sektoren verteilen.

In der rechten Säule werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen dem Sektor zugeordnet, in dem sie entstehen, d.h. emittiert werden. Die gesonderte Analyse der Strom- und Fernwärmeerzeugung ermöglicht eine differenzierte Betrachtung sowie Darstellung von Trends in der Strom- und Fernwärmeerzeugung. Es zeigt sich, dass rund die Hälfte des CO<sub>2</sub> in den Kraftwerken in Düsseldorf sowie außerhalb für die Erzeugung von Strom und Fernwärme emittiert wird. Diese Emissionen werden in der mittleren Säule den Verbrauchssektoren entsprechend ihres jeweiligen Strom- und Fernwärmeeinsatzes zugeordnet. Die linke Säule zeigt die Aufteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Verbrauchssektoren entsprechend der CO<sub>2</sub>-Bilanz 2007.

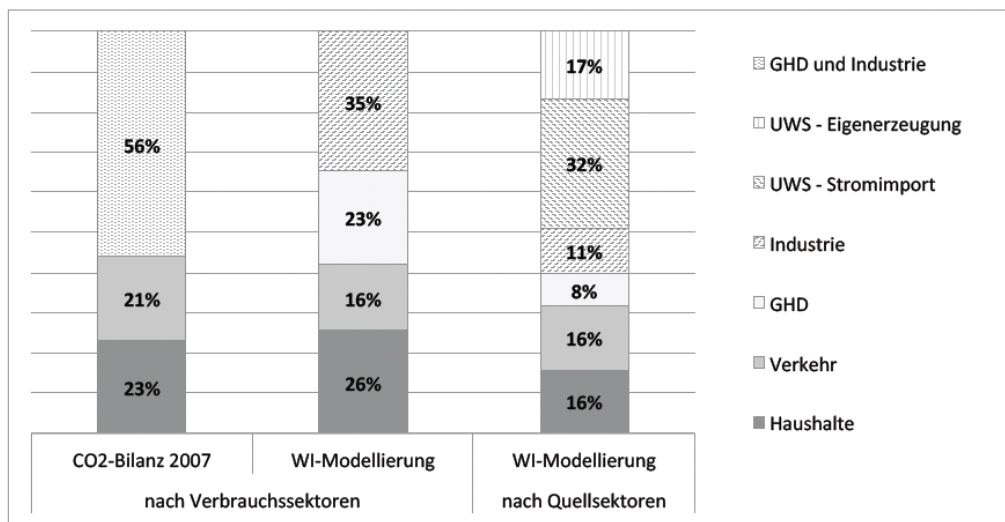


Abbildung 1 CO<sub>2</sub>-Emissionen Verbrauchs- und Quellsektoren für das Jahr 2007; eigene Berechnung, Heide und Eberhard 2009

<sup>1</sup> Der Aufbau eines eigenen Modells wurde notwendig, um die dynamischen Eingangsgrößen der offiziellen CO<sub>2</sub>-Bilanz (wie zum Beispiel Bevölkerungsentwicklung und Energienachfrage) nachvollziehen und für die zukünftige Entwicklung fortschreiben zu können.



Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt mit Hilfe der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren, wie in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 1 Spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für das Basisjahr 2007 (g/kWh) ohne Berücksichtigung der Umwandlungsverluste; eigene Berechnung, UBA 2011, Heide und Eberhard 2009 S.15, SWD 2011c

Strom (Eigen- erzeugung)	Strom (Import)	Fern- wärme	Erdgas	Heizöl	Kohle	Kraft- stoffe
456	605	164 <sup>2</sup>	190	280	330	280

Die folgenden Ausführungen geben detaillierte Ergebnisse für die einzelnen Sektoren wieder. Für die Verbrauchssektoren (Haushalte, GHD, Industrie und Verkehr) werden jeweils die gesamten, den Sektoren anzurechnenden CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgeführt. Dies beinhaltet auch solche, die andernorts - aufgrund der in den jeweiligen Sektoren verbrauchten Strom- und Fernwärme - entstehen. Im weiteren (Abschnitt 2.2) werden die durch Strom- und Fernwärmeerzeugung bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen genauer analysiert.

---

<sup>2</sup> Der Wert ergibt sich aus den Kraftwerksdaten Basis 2007 der Stadtwerke Düsseldorf (SWD 2011c) angepasst (mit Hilfe eines Korrekturfaktors) an die Angaben aus der CO<sub>2</sub>-Bilanz 2007 (Heide und Eberhard 2009 S.15). Diese Vorgehensweise wird aufgrund der kraftwerksscharfen Abbildung der Düsseldorfer Strom- und Fernwärmeerzeugung nötig.

## 2.1 Verbrauchssektoren

### 2.1.1 Haushalte

Auf den Haushaltssektor entfallen in Düsseldorf im Jahr 2007 1,5 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Der größte Teil dieser Emissionen, rund zwei Drittel, entsteht bei der Wärmebereitstellung für Raumheizung und Warmwasser.

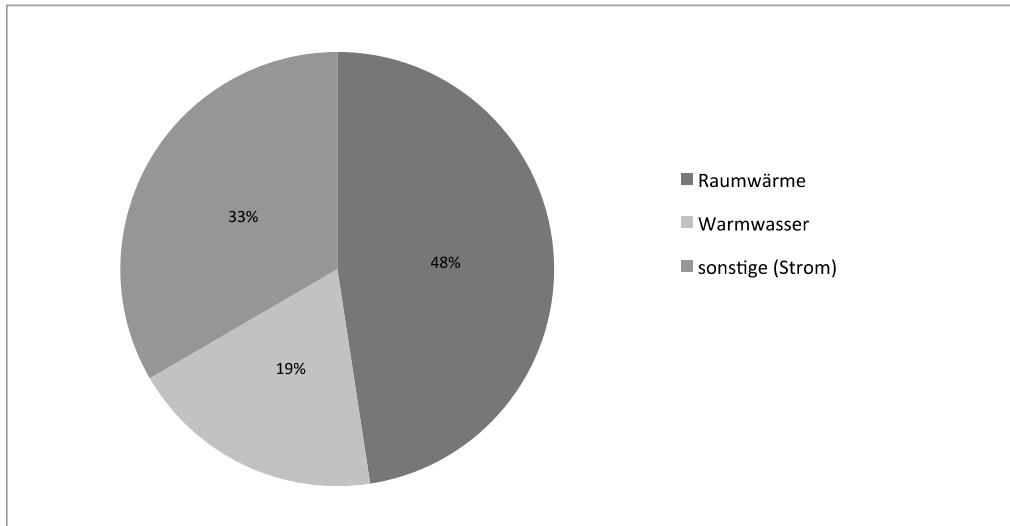


Abbildung 2 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Haushaltssektor nach Anwendungsbereichen für das Jahr 2007; eigene Berechnung, die Kategorie sonstige (Strom) umfasst alle Stromverbräuche außer für Elektroheizungen und Wärmepumpen<sup>3</sup>

### 2.1.2 GHD

Auf den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen entfallen im Basisjahr rund 1,4 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Im Vergleich zum Haushaltssektor machen hier die Emissionen aus der Stromerzeugung einen deutlich höheren Anteil aus. Der Anteil der durch GHD verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Quellsektoren liegt einwohnerbezogen knapp 20% über dem Bundesdurchschnitt (vgl. prognos 2009).

---

<sup>3</sup> Wärmepumpen fallen in die Bereiche Raumwärme und Warmwasser

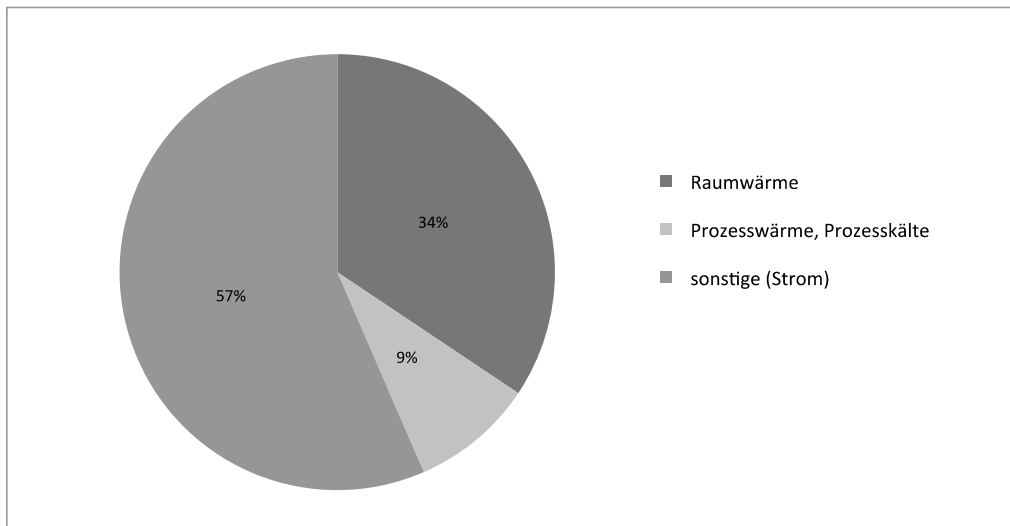


Abbildung 3 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor GHD nach Anwendungsbereichen für das Jahr 2007; eigene Berechnung, die Kategorie sonstige (Strom) umfasst alle Stromverbräuche außer für Wärmepumpen und Elektroheizungen

### 2.1.3 Verkehr

Etwa 1 Million Tonnen CO<sub>2</sub> entfallen im Jahr 2007 auf den Verkehrssektor<sup>4</sup>. Der größte Teil, rund 90 Prozent, ist dabei dem Individualverkehr anzurechnen. Die folgende Abbildung zeigt darüber hinaus die Verteilung auf Personenverkehr und Gütertransport. Grundlage ist die jeweilige Verkehrsleistung. Der Berechnung liegt daher beispielsweise anstelle des gesamten Flugverkehrs des Düsseldorfer Flughafens eine einwohnerbezogene Flugleistung zugrunde. Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Pkw-Verkehrs stützten sich auf die in Düsseldorf gemeldeten Fahrzeuge. Einpendlerbeziehungen werden somit nicht explizit berücksichtigt<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Die Abweichungen zwischen der offiziellen CO<sub>2</sub>-Bilanz der Stadt und den Modellierungsergebnissen des Wuppertal Institutes werden in Abschnitt 10 Anhang 2 erläutert.

<sup>5</sup> Informationen zur Modellierung des Personenverkehrs als auch Gütertransports befinden sich im Anhang unter Abschnitt 9.1.4.

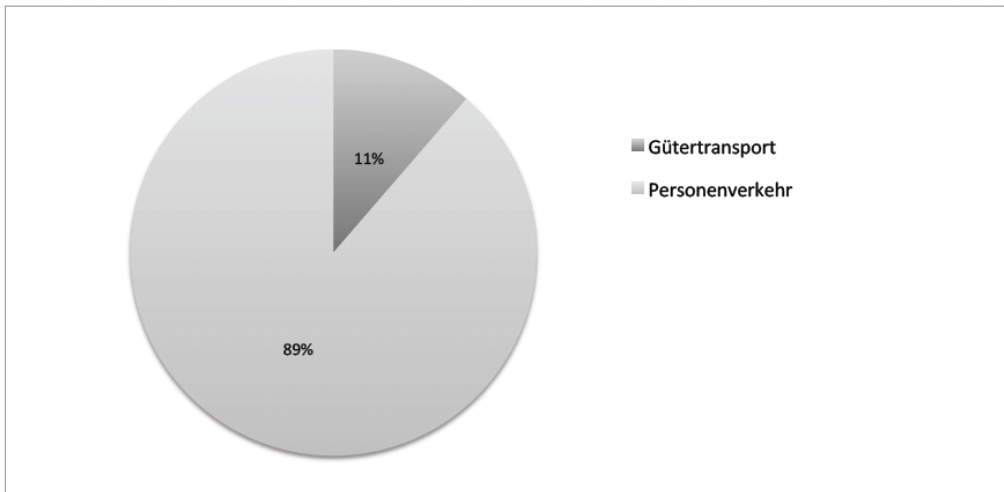


Abbildung 4 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor nach Güter-/Personentransport für das Jahr 2007; eigene Berechnung

#### 2.1.4 Industrie

Die folgende Abbildung gibt die Energieträgerstruktur der nordrheinwestfälischen Industrie im Jahr 2007 wieder. Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass sich diese Zahlen in den jeweiligen Branchen in Düsseldorf anders darstellen, sollen sie dennoch in einer ersten Annäherung für die Berechnungen des Düsseldorfer Klimaschutzszenarios herangezogen werden. Zur Präzisierung wären hier tiefere Datenerhebungen notwendig, wodurch sich jedoch potentielle Konflikte mit dem Datenschutz ergeben.

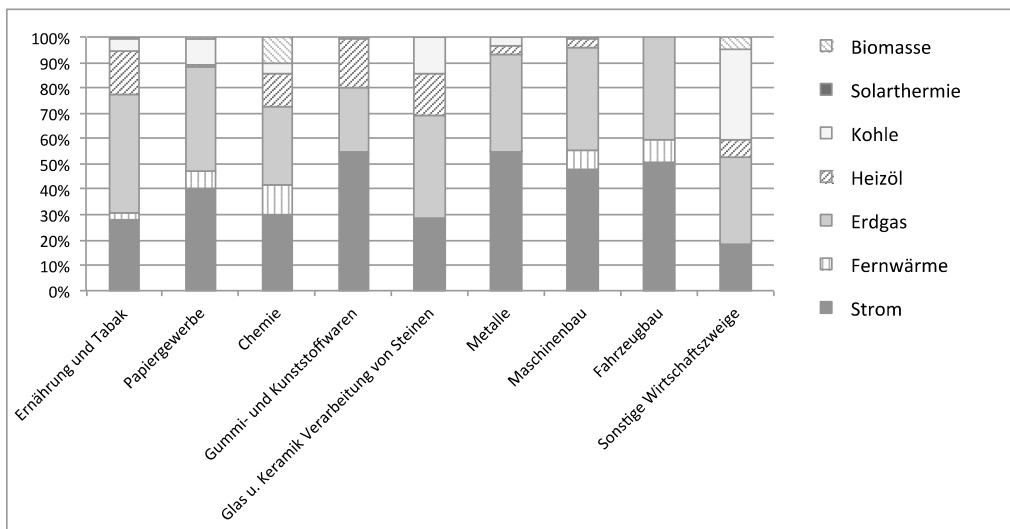


Abbildung 5 Energieträgerstruktur der nordrheinwestfälischen Industrie nach Branchen für das Jahr 2007; eigene Darstellung, it.nrw 2011

Dem Industriesektor werden im Jahr 2007 in Düsseldorf ca. 2 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> zugeschrieben. Davon entfallen jeweils in etwa ein Drittel auf die chemische Industrie sowie die Metallerzeugung und –bearbeitung. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Quellsektoren von 0,66 Millionen Tonnen liegen einwohnerbezogen in etwa im Bundesdurchschnitt (etwa 1,2 t CO<sub>2</sub>/EW/a) (vgl. prognos 2009).

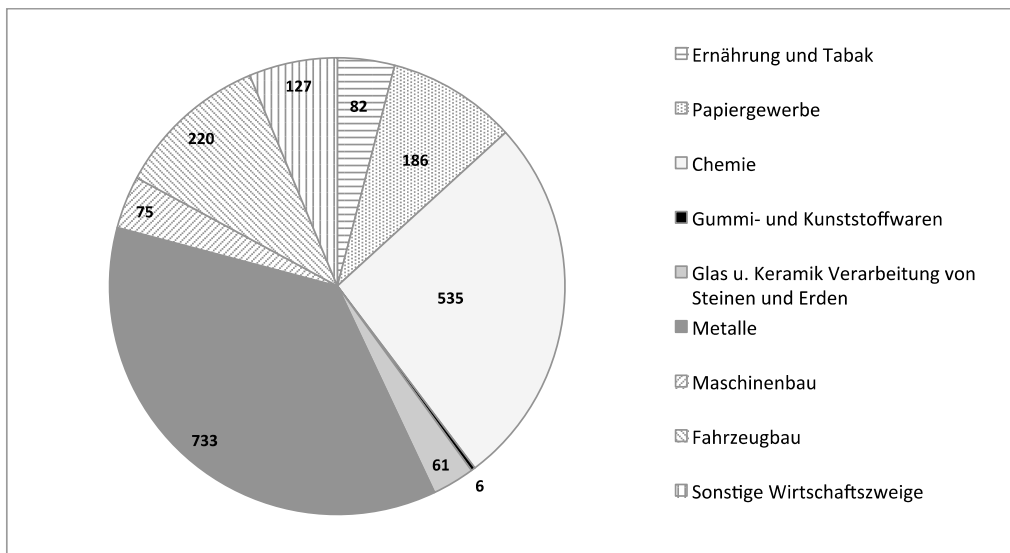


Abbildung 6 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Industriesektor nach Branchen für das Jahr 2007, Datenbeschriftung: 1.000 t CO<sub>2</sub>; Anteil in Prozent; Statistisches Bundesamt 2010, Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011c, eigene Berechnung (zur Methodik siehe Abschnitt 9.1.3)

## 2.2 Strom- und Fernwärmeerzeugung

Die Versorgung der aufgeführten Verbrauchssektoren mit Fernwärme und Strom erfolgt in Düsseldorf im Basisjahr sowohl durch Eigenerzeugung als auch durch importierten Strom. Gleichzeitig sind die Stadtwerke Düsseldorf auch Stromhandelsunternehmen (vgl. Heide und Eberhard 2009 S.13).

Die Abschätzung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt über die Multiplikation der Energiemengen mit den jeweiligen CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 1). Insgesamt entfallen auf die Strom- und Fernwärmeerzeugung etwa 2,85 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Aufgrund des hohen Anteils importierten Stroms werden diese zu großen Teilen außerhalb der Stadtgrenzen emittiert. Der Strom Eigenerzeugung sind 0,8 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> zuzuschreiben.

Der Anteil der Emissionen aus Fernwärmeerzeugung an den gesamten der Energiewirtschaft zuzurechnenden Emissionen liegt bei etwa sechs Prozent.

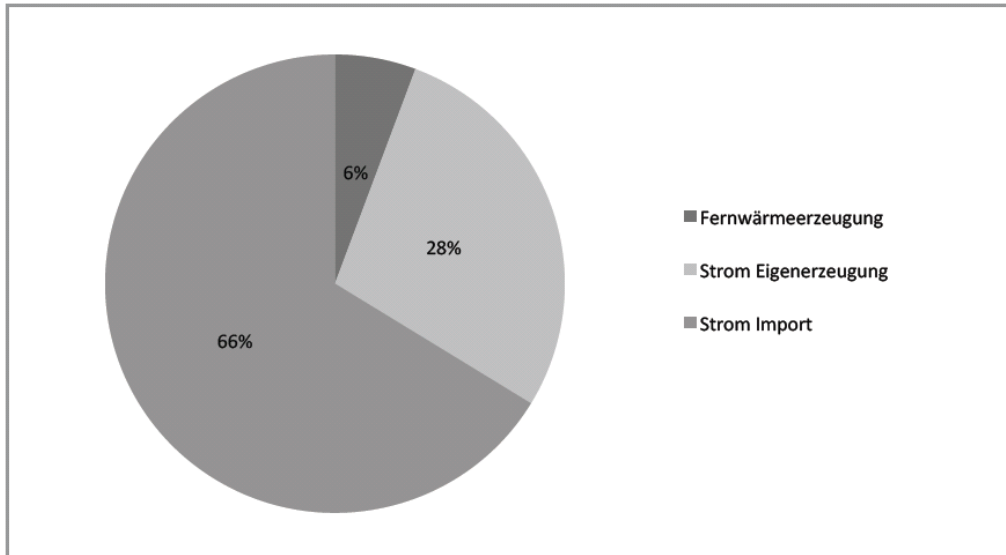


Abbildung 7 CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Strom- und Fernwärmeerzeugung nach importiertem/eigenerzeugtem Strom für das Jahr 2007; eigene Berechnung

## 2.3 Modellierungsergebnisse im Vergleich zum Bundesdurchschnitt

Im Sinne eines Plausibilitätschecks zeigt die folgende Gegenüberstellung die für Düsseldorf ermittelten Anteile der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Quellsektoren im Vergleich zum bundesweiten Durchschnitt. Die aufgeführten CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Verbrauchssektoren in Düsseldorf liegen unter den Angaben der Abschnitte 2.1.1 bis 2.1.4, da hier die Strom- und Fernwärme bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht enthalten sind. Die gewählte Abgrenzung entspricht der rechten Säule in Abbildung 1 (nach Quellsektoren).

Hier spiegelt sich die hohe Dienstleistungsorientierung der Stadt Düsseldorf in den hohen Anteilen dieses Sektors wieder. Gleichzeitig hat Düsseldorf aber für eine Großstadt ihrer Struktur relativ viel Industrie, was in etwa zu einem Emissionsanteil in Höhe des Bundesschnitts führt.

Tabelle 2 Anteil der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Quellsektoren für Düsseldorf und Deutschland; eigene Berechnung, UBA 2010

	Düsseldorf		Deutschland	
	[%]	[Mio. t]	[%]	[Mio. t]
Haushalte	16	0,93	12	88,3
GHD	8	0,48	5	40,7
Industrie	11	0,66	12	92,8
Verkehr	16	0,92	20	152,6
Strom- und Fernwärmeerzeugung	49	2,85	50	372,8
Summe	100	5,84	100	747,2

### 3 Szenarioannahmen und Abgrenzung

Wie einleitend dargelegt wurde, dient die vorliegende Studie dazu, ein Szenario abzuleiten, das sich der Frage widmet, ob und wie das Energiesystem der Stadt Düsseldorf bis zum Jahr 2050 klimaverträglich weiterentwickelt werden kann. Als Ziel wird eine Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 2007 ca. 10 auf 2 Tonnen pro Kopf angestrebt.

Um das Szenario entsprechend einordnen zu können und um einen Bezug für die für eine Realisierung erforderlichen Maßnahmen zu erhalten, wird das Klimaschutzszenario einem Basisszenario gegenübergestellt, das die Entwicklung abschätzt, die eintreten würde, wenn im Sinne eines Business-As-Usual-Pfades keine verstärkten Klimaschutzmaßnahmen ergriffen würden.

#### 3.1 Leitlinien des Klimaschutzszenarios

Klimaschutz muss vor Ort beginnen, und das gilt in besonderem Maße für die Städte. Das Klimaschutzszenario soll in diesem Zusammenhang eruieren, ob und wie die globale Forderung des IPCC, die CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Industrieländern bis 2050 um mindestens 80 Prozent gegenüber 1990 zu verringern, für Düsseldorf realisierbar ist. Dabei werden die folgenden Leitlinien<sup>6</sup> – die Hebel, mit denen der CO<sub>2</sub>-Ausstoß nennenswert reduziert werden soll – zugrunde gelegt:

- Hocheffiziente Energieanwendungen in allen Energieverbrauchssektoren (Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen, Industrie und Verkehr) – dank sparsamer Technologien wird bei gleichem Komfort und Nutzen weniger Energie verbraucht.
- Anpassung der Infrastruktur im Wärme-, Strom- und Verkehrsbereich an die durch Effizienzgewinne verringerte Nachfrage.
- Weitgehende Umstellung der verbleibenden Energieversorgung auf erneuerbare Energien.
- Kein Autarkie-Anspruch – die Stadt Düsseldorf führt Energie zum Teil von außen ein. Auch hier kann – vor allem im Strombereich – eine aktive Strategie zur regenerativen Beschaffung verfolgt werden.

Natürlich kann das Szenario nicht jede denkbare Effizienz- beziehungsweise Emissionsminderungsmaßnahmen berücksichtigen. Dennoch werden die Potenziale der wesentlichen technologischen Optionen – beispielsweise der Einsatz von regenerativen Energien, von effizienten in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) betriebenen Kraftwerken, von Elektrofahrzeugen oder von intelligenter Verkehrs- und Gebäudeleittechnik sowie von Passivhauskonzepten – berücksichtigt und in die Strategiebildung des Klimaschutzszenarios einbezogen. Dabei baut das Szenario auf den Vorgängerarbeiten im Rahmen des Projekts

---

<sup>6</sup> Diese Leitlinien wurden im Rahmen der Studie "München 2058: Wege zur CO<sub>2</sub>-Freiheit" entwickelt und können auch auf das Klimaschutzszenario für Düsseldorf übertragen werden.



Technologiematrix Deutschland auf. Die Studie berücksichtigt Verhaltensänderungen der Verbraucher nur, insofern sie mit der Einführung neuer Technologien oder notwendigen Investitionsentscheidungen einhergehen. Inwieweit die Emissionen sonst noch durch Verhaltensänderungen beeinflusst werden könnten, wird dagegen nicht näher betrachtet.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die wesentlichen Annahmen und Strategien des Klimaschutzszenarios. Zum Vergleich und zur besseren Einordnung werden die im Basisszenario "ohnehin" erwarteten Entwicklungen ebenfalls dargestellt.

Tabelle 3: Eingangsgrößen für die Szenariopfade

	Klimaschutzszenario	Basisszenario
<b>Gebäude</b>		
Wärmeerzeugungstechnologien	Steigende Anteile: Wärmepumpen, Solarthermie, Biomasse, Fernwärme Sinkende Anteile: Erdgas, Erdöl, Nachtspeicherheizungen	Die Anteile der einzelnen Technologien zur Wärmeerzeugung bleiben unverändert
<b>Haushaltssektor</b>		
energetische Sanierungsrate	0,5% ansteigend auf 3%	0,5% auf 2% steigend
<b>GHD</b>		
spezifischer Raumwärmebedarf (kWh/m <sup>2</sup> /a)	- 50% bis 2050	- 20% bis 2050
<b>Industrie</b>		
Energieintensität	-40% (ungewichteter Durchschnitt)	-20% (ungewichteter Durchschnitt)
<b>Verkehr</b>		
Modal Split	deutliche Stärkung des Umweltverbunds	unverändert
Fahrleistung	zurückgehend bei Benzin-, Diesel-, und Erdgasfahrzeugen, ansteigend bei Hybrid-, Plug-In Hybrid und Elektrofahrzeugen	unverändert
Verbrauch (l/100 km)	stark sinkend	leicht sinkend
<b>Strom- und Fernwärmeerzeugung</b>		
konventionelle Kraftwerke	Neubau Lausward Block F, Stilllegung alter Blöcke	Neubau Block F, Weiterbetrieb alter Blöcke
Solarthermie und Photovoltaik	Ausnutzung der Potentiale im Stadtgebiet	leichter Ausbau
Wind	leichter Ausbau <sup>7</sup>	kein Ausbau

<sup>7</sup> In der forcierten Ausbaustrategie für erneuerbare Energie wird eine intensive Nutzung von Potenzialen außerhalb des Stadtgebietes notwendig

Biomasse	ambitionierter Ausbau <sup>5</sup>	leichter Ausbau
----------	------------------------------------	-----------------

Für beide Entwicklungsverläufe werden im Folgenden die zugrunde liegenden Annahmen erläutert.

### 3.2 Basistrends

Im Folgenden werden die Annahmen zu zentralen Basistrends der sozioökonomischen Entwicklung Düsseldorfs in den kommenden Jahrzehnten dargestellt. Da diese Entwicklungen wichtige Determinanten des künftigen Bedarfs an Energiedienstleistungen sind, stellen sie wichtige Grundlagen beider Szenarien dar.

#### 3.2.1 Bevölkerungsentwicklung

Grundlage für Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung sind die Prognosen im Demographiebericht Düsseldorf (Amt für Statistik und Wahlen Landeshauptstadt Düsseldorf 2009 S.200 ff<sup>8</sup>) für die Zeit bis 2020. Demnach steigt die Bevölkerungszahl von rund 585.000 Einwohnern im Jahr 2007 auf ca. 600.000 Einwohner im Jahr 2020. Für den Zeitraum darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die Bevölkerungszahl stagniert (Einschätzung des Amtes für Statistik der Landeshauptstadt Düsseldorf).

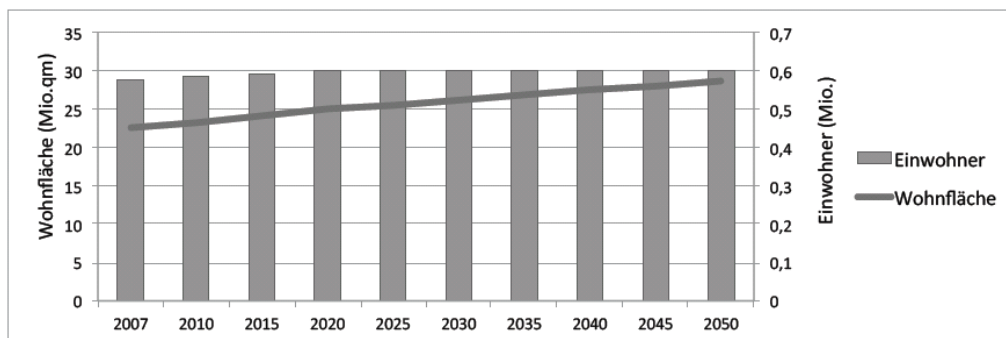


Abbildung 8 Bevölkerungsentwicklung Düsseldorfs bis 2050; eigene Darstellung, Amt für Statistik und Wahlen Landeshauptstadt Düsseldorf 2009

Bei der Prognose des zukünftigen Wohnflächenbedarfs wird angenommen, dass der Wert von aktuell durchschnittlich  $39 \text{ m}^2$  pro Kopf auf über  $47 \text{ m}^2$  im Jahr 2050 ansteigen wird. Diese Einschätzung basiert auf der Fortführung der historischen Entwicklung, wie in der Energie- und  $\text{CO}_2$ -Bilanz 2007 dargestellt (Heide und Eberhard 2009 S.9). Bei einem Vergleich dieser mit der Prognose im WWF-Modell Deutschland (prognos 2009 S.34, 37) fällt auf, dass im bundesweiten Durchschnitt mit einem etwas stärkeren Anstieg von etwa  $39,8 \text{ m}^2$  (Wert ist interpoliert) auf etwa  $48,8 \text{ m}^2$  pro Kopf gerechnet wird.

<sup>8</sup> Zwischenzeitlich liegt der Demographiebericht 2012 vor. Die aktuellen Resultate entfalten keine Wirkung auf die Ergebnisse der vorliegenden Studie.

### 3.2.2 Bruttowertschöpfung der Industrie

Annahmen über die Entwicklung der Wertschöpfung und Produktion der Industrie am Standort Düsseldorf sind aufgrund der geringen Anzahl von Betrieben stets mit einer großen Unsicherheit behaftet. Für die Zwecke dieser Studie wurden keine näheren Analysen der Perspektiven der Düsseldorfer Industrie durchgeführt. Stattdessen wird näherungsweise angenommen, dass sich die Unternehmen etwa im Gleichklang mit den bundesweit in ihrer Branche erwarteten Trends entwickeln. Die entsprechenden Annahmen beruhen auf aktuellen Abschätzungen aus jüngeren Energieszenarien der Studie WWF-Modell Deutschland (prognos 2009 S.308).

Für die künftige Bruttowertschöpfung im Industriesektor wird daher angenommen, dass diese insgesamt bis zum Jahr 2050 um 30 Prozent steigen wird.

### 3.2.3 Beschäftigte im Sektor GHD

Hinsichtlich der Beschäftigten im GHD-Sektor wird angenommen, dass ihre Zahl bis zum Jahr 2020 um ca. acht Prozent im Vergleich zum aktuellen Wert steigt. Diese Einschätzung folgt dem Stadtentwicklungskonzept der Landeshauptstadt (Stadtplanungsamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2008 S.64). Für die Entwicklung über diesen Zeitraum hinaus wird davon ausgegangen, dass die Beschäftigtenzahl auf diesem Niveau stagniert. Die folgende Abbildung zeigt dies auf und gibt wieder, wie sich die Beschäftigtenzahlen in den einzelnen Bereichen des Sektors entwickeln.

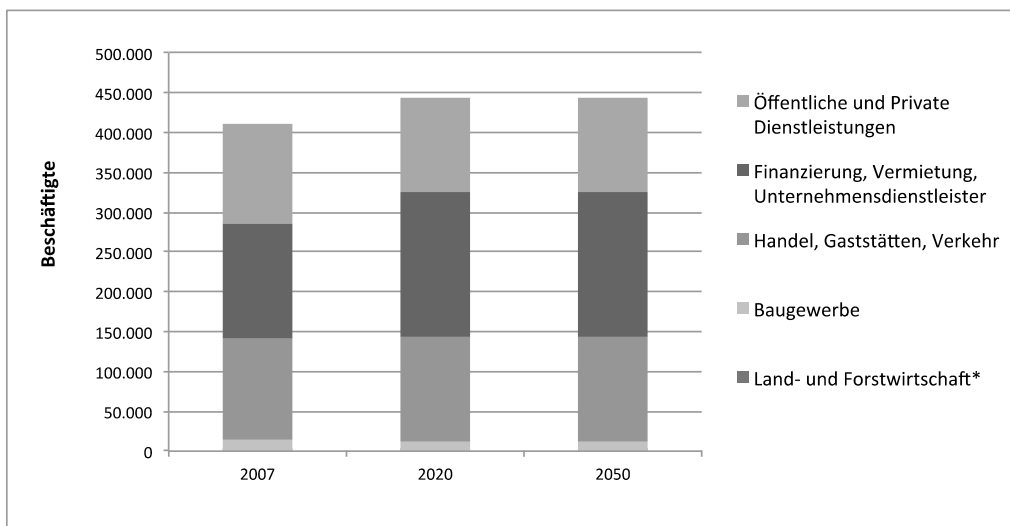


Abbildung 9 Beschäftigungsentwicklung im GHD, \*Land- und Forstwirtschaft: 1.200; eigene Darstellung, Stadtplanungsamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2008

### 3.2.4 Zukünftige Pkw-Nutzung

Der Entwicklung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs, der spezifischen Fahrleistung sowie der angemeldeten Fahrzeuge nach Antriebstechnologien liegen im Basis- und Klimaschutzszenario jeweils unterschiedliche Trends zugrunde (siehe Abschnitt 5.1.4.1). Bei der Pkw-Nutzung wird in beiden Szenarien von

einer leicht rückläufigen Tendenz ausgegangen. Die Fahrzeugzahl pro Einwohner sinkt leicht um 3% auf 0,5.

### 3.2.5 Veränderungen im fossilen Kraftwerkspark

Die Annahmen zu Veränderungen (Neubau und Rückbau) im Kraftwerkspark der Landeshauptstadt sind mit den Stadtwerken Düsseldorf (SWD) abgestimmt. Im Zentrum der zukünftigen Entwicklung steht der Neubau eines Kraftwerksblocks am Standort Lausward. Hier soll im Jahr 2016 ein GuD-Kraftwerk mit einer elektrischen Leistung von 420 MW in Betrieb genommen werden. Die daraus resultierenden Veränderungen, beispielsweise im Bereich der Fernwärme, werden im Folgenden noch detaillierter dargestellt. Dabei unterscheiden sich die Szenarien in Hinblick auf die Strategie zum Weiterbetrieb der existierenden Kraftwerksblöcke.

In Bezug auf den Import von Strom wird in den Szenarien angenommen, dass sich der Erzeugungsmix und die Emissionen gemäß dem Referenzszenario des Energiekonzepts der Bundesregierung entwickeln (prognos 2010). Dies ist insgesamt eine eher konservative Annahme, da Emissionsminderungsbeiträge, die außerhalb von Düsseldorf erbracht werden nur moderat berücksichtigt werden. Allerdings werden so Exporte aus der Kraft-Wärme-Kopplung auf dem Düsseldorfer Stadtgebiet mit einem insgesamt etwas höherem Wert gutgeschrieben, als sich in einem bundesweit ambitionierteren Szenario ergeben würde.

### 3.2.6 Anteil erneuerbarer Energien im deutschen Stromerzeugungsmix

Zugrunde liegende Annahme für die beiden abgeleiteten Szenariopfade ist, dass erneuerbare Energiequellen im Bund im Jahr 2050 50 Prozent der Stromerzeugung ausmachen (EnBW et al 2009 S. 314 f). Dieser konservative Pfad (Szenarien von WWF, Greenpeace oder dem BMU rechnen mit einem deutlich höheren Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung) wurde gewählt, da sich die Pfade im Klimaschutzszenario explizit auf Maßnahmen in Düsseldorfer Stadtgebiet beziehen sollen (Entwicklungen außerhalb Düsseldorfs laufen auf einem Business-As-Usual Pfad).

Wären zudem externe Faktoren (in diesem Fall der Strom-Emissionsfaktor im deutschen Strommix) je nach Szenario verschieden, so würde dies die prognostizierte Wirkung einzelner Maßnahmen innerhalb Düsseldorfs verfälschen. Sinkt der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des bundesweiten Strommixes im Klimaschutzszenario schneller als im Basisszenario (wenn z.B. der Anteil erneuerbarer Energien bundesweit schneller ansteigt), so führt dies z.B. dazu, dass eine in Düsseldorf klimaneutral (Wind, PV etc.) erzeugte Kilowattstunde im Fall des Exports im Basisszenario einen höheren CO<sub>2</sub>-Minderungseffekt hätte, als dies im Klimaschutzszenario der Fall wäre.

### 3.2.7 Hocheffiziente Energieanwendungen

Während das Basisszenario mit einer konservativen Steigerung der Effizienz elektrischer Geräte (1%/a) rechnet, wird im Klimaschutzszenario von wesentlichen Effizienzgewinnen ausgegangen. Basierend auf Abschätzungen des Energienachfragemodells DEESY (WI 2010) wird folgend dargestellter Verlauf der Energieeffizienz zugrunde gelegt.

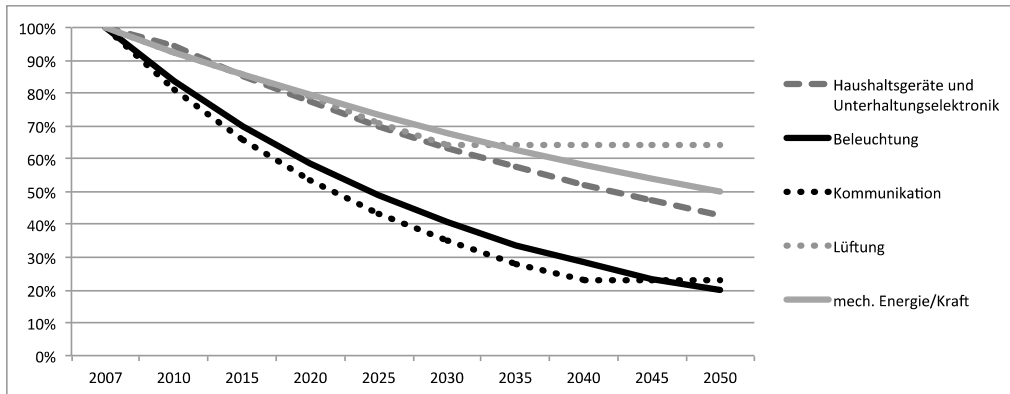


Abbildung 10 Verlauf der Energieeffizienz elektrischer Geräte im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung, WI 2010

## 4 Vertiefende Analyse von Wärmeversorgungsoptionen

Die Wärmeversorgung von Wohn- und Nichtwohngebäuden stellt einen der größten CO<sub>2</sub>-Emissionsbereiche in Düsseldorf dar. Außerdem wird angenommen, dass sich hier zukünftig besondere infrastrukturelle Herausforderungen stellen werden, die zum Großteil auch auf städtischer Ebene zu bewältigen sind. Hinzu kommt, dass in diesem Segment des Energiemarktes die Interessen zahlreicher Akteure zusammentreffen. Die frühzeitige Entwicklung strategischer Vorstellungen und Zielsetzungen ist daher besonders wichtig.

Vor diesem Hintergrund werden hier – neben den Hauptstrategien der energetischen Sanierung des Gebäudebestands sowie der optimierten Erstellung von Neubauten und der Effizienzsteigerung der Heizungstechnologien – zunächst die Potenziale zweier in Düsseldorf relevanter Strategien der Wärmeversorgung näher analysiert.

- Dies ist zum einen der Ausbau der Fernwärmenutzung. Diese Strategie bietet die Möglichkeit, Abwärme aus der Stromerzeugung der KWK-Kraftwerke der Stadtwerke Düsseldorf zu nutzen. Aufgrund der Ausbauplanungen der Kraftwerke stehen prinzipiell zusätzliche Wärmemengen für die Fernwärmeversorgung zur Verfügung.
- Eine weitere mögliche Strategie ist die Forcierung der Heizung mit elektrischen und gasbetriebenen Wärmepumpen. Hier ist zu beachten, dass insbesondere die elektrischen Wärmepumpen nicht in jedem Fall eine Option zur CO<sub>2</sub>-Emissionsminderung darstellen. Sie leisten einen positiven Klimaschutzbeitrag ausschließlich in energetisch hocheffizienten Gebäuden und bei Vorhandensein emissionsarmer Stromversorgungsmöglichkeiten. Durch höhere Grundwassertemperaturen und oberflächennahes Grundwasser ergeben sich in Düsseldorf (im Vergleich zum Bundesdurchschnitt) bei Grundwasserwärmepumpen leicht günstigere Jahresnutzungsgrade.

Neben diesen, im Szenario berücksichtigten Strategien fördert die Stadt Düsseldorf Energieeinsparung durch Nutzerverhalten (Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2009 S. 48). Auf diese Weise realisierte Energieeinsparungen leisten einen weiteren wesentlichen Beitrag bei der Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

### 4.1 Strategie: Ausbau der Fernwärmenutzung

Im Fall effizienter Erzeugungsanlagen stellt die kombinierte Produktion von Strom und Wärme, bei gleichzeitiger Nutzung der Wärme in Fernwärmenetzen, eine wichtige Klimaschutzoption dar. Die folgenden Ausführungen befassen sich daher vertiefend mit der Frage, wie sich die Fernwärmeversorgung in den kommenden Jahrzehnten in Düsseldorf entwickeln könnte bzw. wo sie konkret zum Einsatz kommen könnte. Entsprechende Annahmen für das Klimaschutzszenario werden daraus abgeleitet. Dabei wird insbesondere der Frage nachgegangen, ob bzw. wo Fernwärme in Bereichen mit überwiegend denk-

malgeschützten Gebäuden eingesetzt werden könnte, in denen die energetische Gebäudesanierung als Klimaschutzmaßnahme weniger gut umsetzbar ist.

Verbunden mit dem oben dargelegten Kraftwerksneubau gehen die Stadtwerke Düsseldorf davon aus, den Fernwärmeabsatz in den darauffolgenden Jahren um 25 Prozent ausbauen zu können. 1.000 GWh Wärme könnten theoretisch durch den Neubau pro Jahr zusätzlich in das Fernwärmenetz eingespeist werden. Es wird damit gerechnet, dass einige der heute betriebenen Kraftwerksblöcke bis 2050 ihre technische Lebensdauer überschreiten und vom Netz gehen. Die auskoppelbare Fernwärmemenge sinkt nach dieser Annahme langfristig bis 2050 auf etwa 1.200 GWh<sup>9</sup> (siehe Abb. 13).

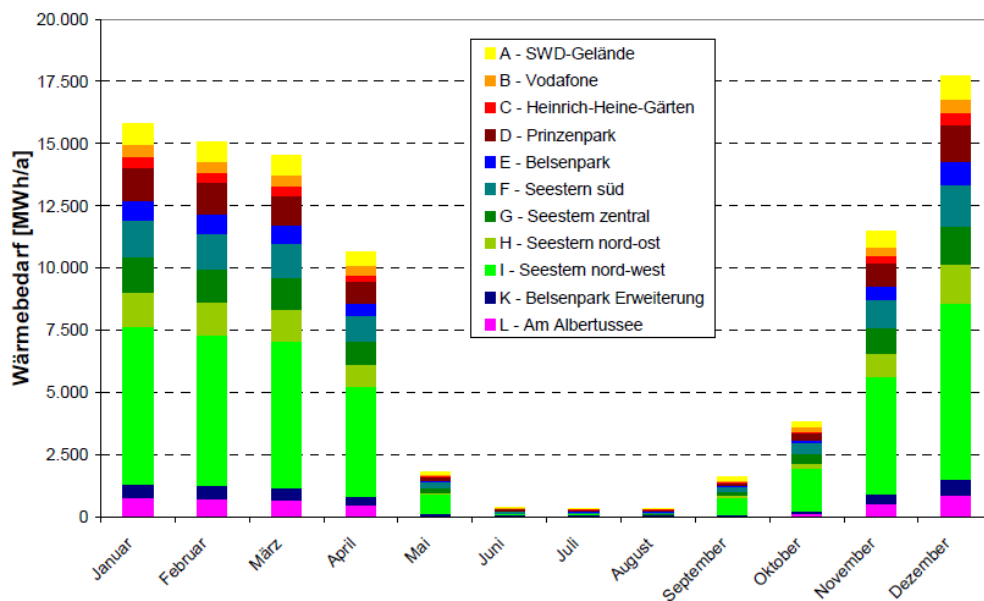


Abbildung 11 Wärmebedarf des linksrheinischen Versorgungsgebiets; Steinwider, T. 2010 S. 83

Auf der Nachfrageseite ist das linksrheinische Versorgungsgebiet in Oberkassel eine wichtige Option (linksrheinischer Energieverbund). Der potenzielle Fernwärmeabsatz in diesem Gebiet (Gewerbe und Wohngebäude) liegt bei rund 91,5 GWh (siehe Abbildung 11). Das Versorgungsgebiet wird durch den GHD-Sektor dominiert, Wohngebäude finden sich überwiegend in den Bereichen *Belsenpark*, *Belsenpark Erweiterung* und *Heinrich-Heine-Gärten*. Entsprechend wird die zukünftig steigende Nachfrage nach Fernwärme aus diesem Bereich in den Szenarioberechnungen vollständig dem GHD-Sektor zugerechnet.

Als eine weitere Option wird im Klimaschutzszenario angenommen, dass zusätzliche Wohngebiete durch Fernwärme erschlossen werden. Hier bieten sich vor allem Wohngebiete an, die in räumlicher Nähe zu bestehenden Wärmenetzen liegen. Zudem wird angenommen, dass besonders im denkmalgeschützten Bereich Einsatzmöglichkeiten für Fernwärmeversorgung bestehen. Eine ambitionierte energetische Sanierung ist hier - auch aus Kostengründen -

<sup>9</sup> Dies entspricht in etwa dem Absatz, den die SWD bis 2020 anstreben.

häufig nur eingeschränkt bzw. weniger gut möglich. Eine effiziente Wärmeversorgung aus KWK stellt hier eine Möglichkeit dar, auch in diesem Gebäude-segment anspruchsvolle Klimaschutzziele zu erreichen.

Im Stadtteil Oberkassel, in unmittelbarer Nähe zu dem bereits beschriebenen linksrheinischen Versorgungsgebiet, liegt ein größeres Gebiet, welches unter die Denkmalbereichssatzung fällt. Der Wärmebedarf für Raumwärme und Warmwasser liegt im Gebäudebestand dieses Gebietes bei etwa 120 GWh/a. Nimmt man an, dass 80 Prozent der Wohngebäude in diesem Bereich an Fernwärme angeschlossen werden (96 GWh), wäre eine Entwicklung möglich, wie sie in der folgenden Abbildung dargestellt ist.

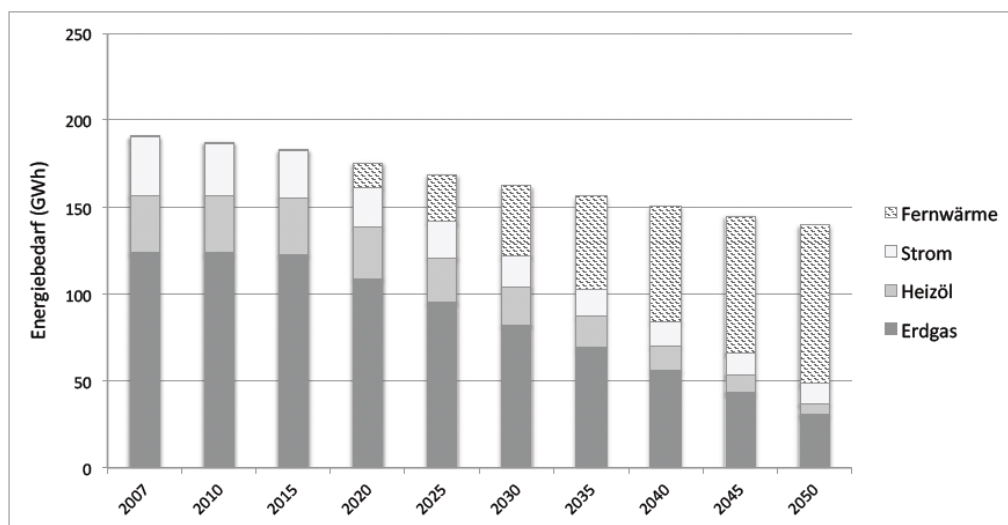


Abbildung 12 Entwicklung des Wohngebäude - Endenergiebedarfs innerhalb der Denkmalbereichssatzungsgebiete; eigene Berechnung

Hierbei handelt es sich um theoretische Annahmen für das Szenario, die selbstverständlich entsprechende Anreizsysteme zum Wechsel des Versorgungssystems erforderlich machen. Ebenso ist hier die unternehmerische Entscheidung der Stadtwerke ausschlaggebend – immerhin kommt es durch den Anschluss an die Fernwärme zu einer Verdrängung der Gasnutzung, die ebenfalls ein Produkt der Stadtwerke ist.

Folgt man den theoretischen Annahmen, ließen sich linksrheinisch im oben beschriebenen GHD-Gebiet und im denkmalgeschützten Wohngebäudebestand Oberkassel ca. 185 GWh Fernwärme absetzen. Dies entspricht etwa 80 Prozent der von den Stadtwerken geplanten Absatzsteigerung.

Auch für die restlichen 20 Prozent der geplanten Absatzsteigerung bieten sich Realisierungspotenziale u.a. im denkmalgeschützten Bereich. Umfangreicher Netzausbau wäre hierfür nicht notwendig, da auch in den bestehenden Netzen durch Arrondierungsmaßnahmen weitere Gebäude angeschlossen werden könnten. Das Potenzial hierfür liegt sogar deutlich höher als die von den Stadtwerken angestrebte Ausbaumarkte. Detaillierte Ausführungen hierzu finden sich im Anhang (vgl. Seite 83 ff.).



Insgesamt kann für das Klimaschutzscenario die in der folgenden Abbildung dargestellte sektorale Entwicklung angenommen werden. Aufgrund der gewählten Abgrenzung wird hier der Bedarf an industrieller Prozesswärme und Wärme aus Contractinganlagen der SWD nicht berücksichtigt.

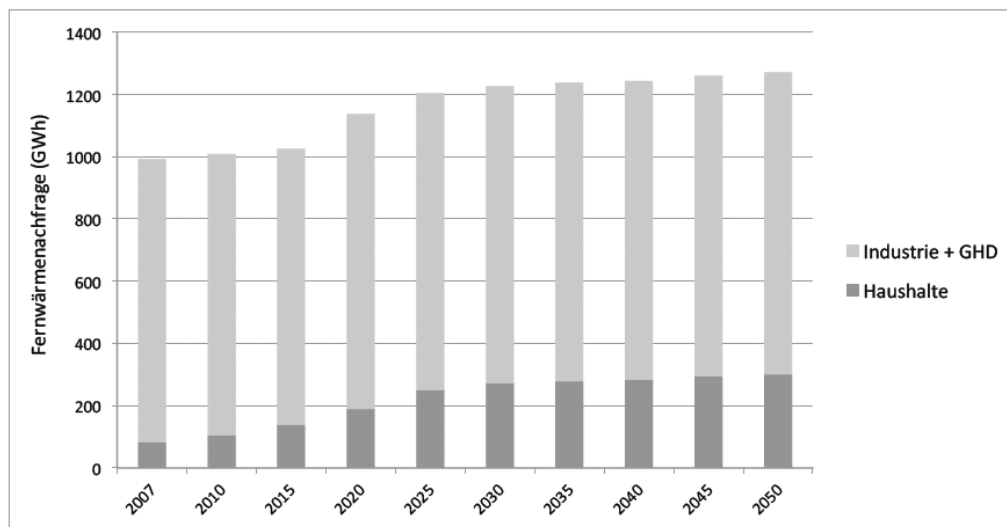


Abbildung 13 Entwicklung der Fernwärmefrage nach Sektoren im Klimaschutzscenario; eigene Berechnung

13 Prozent des Düsseldorfer Wohngebäudebestands bzw. 385 Baublöcke (ggü. ca. 44 Baublöcken im Jahr 2007) müssen dazu bis 2050 an das Fernwärmenetz angeschlossen sein<sup>10</sup>. Aufgrund des Rückgangs des spezifischen Raumwärmebedarfs liegt diese Zahl erheblich über der eigentlichen Absatzsteigerung.

Folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu den zugrunde liegenden Einsatzpotentialen von Fernwärme im Wohngebäudebestand.

Tabelle 4 Einsatzpotentiale von Fernwärme im Wohngebäudebestand; eigene Berechnung Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011a

Bestandsgebäude innerhalb Denkmalsbereichssatzung		
Gebiet	Entfernung zu FW-Netz	Zus. Absatzpotential <sub>2007</sub> [GWh]
Altstadt	keine	21
Gerresheimer Höhen	hoch	5
Oberkassel	gering	120
Urdenbach	hoch	16
Übrige Bestandsgebäude		
Gebiet	Entfernung zu FW-Netz	Zus. Absatzpotential <sub>2007</sub> [GWh]
FW-Netz Lausward-Flingern	keine	1042
Rest	mittel bis hoch	3132

<sup>10</sup> Die Werte basieren auf einer durchschnittlichen Wohnfläche von 10.000 m<sup>2</sup> pro Baublock (Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011b) sowie weiteren dem Klimaschutzscenario zugrunde liegenden Annahmen.

## 4.2 Strategie: Gezielter Ausbau der Nutzung von Wärmepumpen

Eine weitere Klimaschutzoption, die hier näher betrachtet wird, ist der Einsatz von Grundwasser-Wärmepumpen im Neubau und in ambitioniert sanierten Altbauten. Dafür wird evaluiert, wie groß das Gebäudesegment ist, in dem sich der Einsatz von Wärmepumpen theoretisch lohnen könnte. Ausgangspunkt für diese Überlegungen ist die Tatsache, dass Düsseldorf über ein überdurchschnittliches Temperaturniveau des Grundwassers verfügt. Die Temperaturen liegen bei rund 14°C, im Bundesschnitt bei 11°C. Dieser Sachverhalt ergibt sich aufgrund der Lage Düsseldorfs in der Niederterrasse des Rheins, sowie dem allgemein höheren Grundwasser-Temperaturniveau in Großstädten. Weiterhin ist das Grundwasser in Düsseldorf oberflächennah anzutreffen. Der Einsatz von Grundwasser-Wärmepumpen könnte daher in Düsseldorf besonders effizient sein und eine entsprechend höhere Klimaschutzwirkung erzielen.

Aufgrund der angeführten Überlegungen wird eine Düsseldorf spezifische Jahresarbeitszahl<sup>11</sup> (JAZ) ermittelt<sup>12</sup>. Die Düsseldorf spezifischen Berechnungen zeigen, dass sich die JAZ aufgrund des erhöhten Wassertemperaturniveaus um etwa 5% erhöht, wie die folgende Abbildung zeigt<sup>13</sup>.

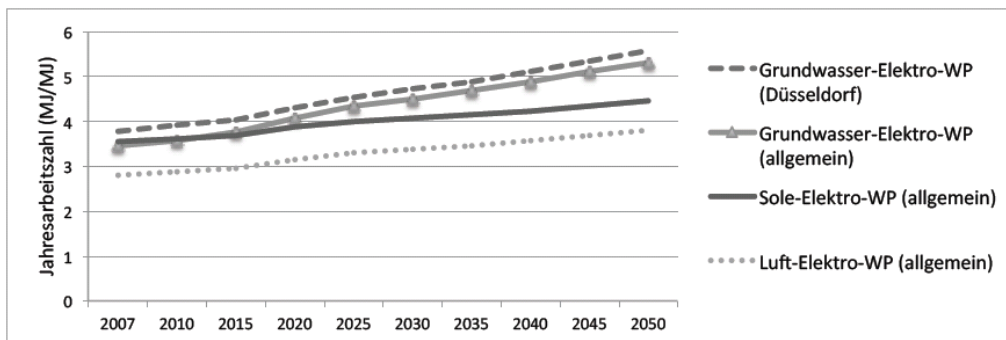


Abbildung 14 Entwicklung der JAZ von elektrisch betriebenen Wärmepumpen im Vergleich; eigene Berechnung, BWP 2009

Aufgrund des Vorteils wird angenommen, dass im Klimaschutzenszenario in Düsseldorf verstärkt Grundwasser-Wärmepumpen eingesetzt werden. Nach einer Branchenstudie des Bundesverbands Wärmepumpe (BWP 2009 S.16) wird erwartet, dass deutschlandweit der Marktanteil von Grundwasser-Wärmepumpen leicht zurück gehen wird, von heute ca. 10% auf etwa 8%. Wird der Einsatz von Grundwasser-Wärmepumpen besonders gefördert, kann

<sup>11</sup> Die Jahresarbeitszahl (JAZ) kennzeichnet die Energieeffizienz einer Wärmepumpe. Beispiel: eine JAZ von 3,4 bedeutet 3.400 Kilowattstunden Nutzwärme bei einem Einsatz von 1.000 Kilowattstunden Energie im Jahr (vgl. Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2008). Die steigende JAZ folgt Annahmen zur Effizienzsteigerung des Bundesverbandes für Wärmepumpen (vgl. BWP 2009)

<sup>12</sup> Die zugehörigen Berechnungsschritte können im Anhang 5: Hintergrundinformationen zur Berechnung des zukünftigen Einsatzes von Grundwasser-Wärmepumpen auf den Seiten 85 ff. eingesehen werden.

<sup>13</sup> Diesen Berechnungen liegt die theoretische Annahme zugrunde, dass das Grundwasser gleichbleibend intensiv bis 2050 genutzt werden kann. Langfristig ist denkbar, dass die Grundwassertemperaturen aufgrund der verbesserten Wärmeisolierung der Gebäude absinkt.

im Klimaschutzszenario von einer Steigerung des Anteils auf 30% bis zum Jahr 2050 ausgegangen werden. Die Auswirkungen dieser besonderen Förderung von Grundwasser-Wärmepumpen auf Endenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen werden am Ende des Kapitels dargestellt. Nach der auf diese Weise angepassten Prognose des Bundesverbands Wärmepumpe (BWP 2009 S.16), entwickeln sich die Anteile der Wärmepumpen wie in der folgenden Abbildung dargestellt. Hierzu ist anzumerken, dass die dargestellten Marktanteile der einzelnen Technologien aus den Bundesprognosen abgeleitet sind. Durch die ortsspezifischen Besonderheiten kann es insbesondere im Verhältnis zwischen Sole- und Grundwasser-Wärmepumpen, zu Verschiebungen kommen<sup>14</sup>.

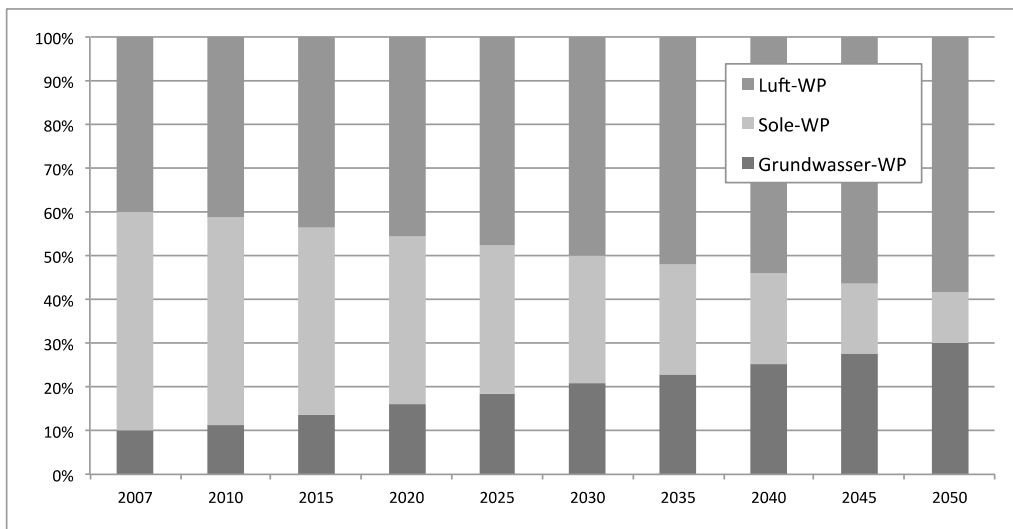


Abbildung 15 Anteile der eingesetzten Wärmepumpen im Klimaschutzszenario, eigene Berechnung auf Grundlage der Annahmen und BWP 2009 S.16

Für Neubauten wird davon ausgegangen, dass diese ab 2015 ausschließlich Passivhausstandard (Raumwärmebedarf bei 15 kWh/m<sup>2</sup>/a) aufweisen. Im Klimaschutzszenario werden daher ab diesem Zeitpunkt in diesem Gebäudesegment ausschließlich Luft-WP eingesetzt.

Mit Hilfe dieser Annahmen kann die durchschnittliche JAZ aller in Düsseldorf eingesetzten Wärmepumpen berechnet und den Prognosen des BWP für Deutschland gegenübergestellt werden. Folgende Grafik veranschaulicht dies.

<sup>14</sup> Weiterhin muss an dieser Stelle einschränkend angemerkt werden, dass mit dem Einsatz der Grundwasser-Wärmepumpe teilweise nicht unerhebliche Eingriffe in den Grundwasserhaushalt verbunden sind. Angesichts des vergleichsweise geringen positiven Effektes der spezifischen Grundwassersituation in Düsseldorf auf den Wirkungsgrad der Wärmepumpen sollte der großflächige Einsatz dieses Wärmepumpentyps sorgfältig abgewogen werden. Gegebenenfalls kann es in der Gesamtabstimmung sinnvoller sein, auf Sole-Wärmepumpen zu setzen. Die Szenarioergebnisse würden sich hierdurch möglicherweise leicht verändern – eine detaillierte und ortsspezifische Untersuchung zu den Einsatzmöglichkeiten der Sole-Wärmepumpe wurde im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen.

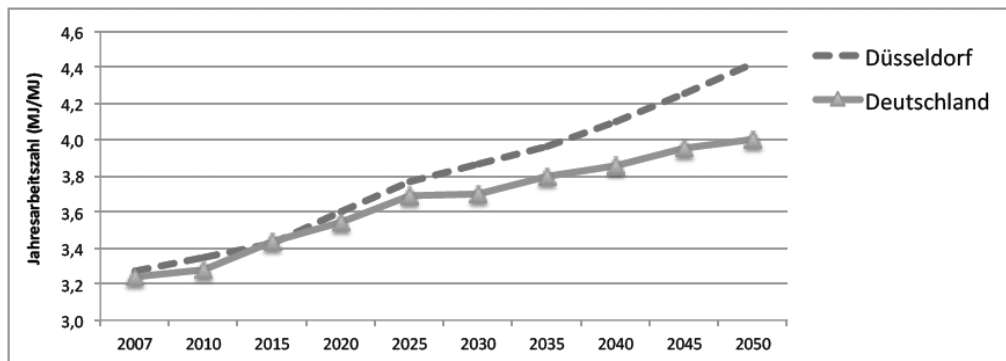


Abbildung 16 Durchschnittliche Jahresarbeitszahl der in Düsseldorf eingesetzten Wärmepumpen im Klimaschutzscenario im Vergleich zu einer Entwicklung auf Basis von Prognosen des BWP; eigene Berechnungen, BWP 2009

Aus den oben dargestellten Berechnungen und Annahmen, lässt sich auf Basis des Wärmekatasters der Stadt Düsseldorf konkret das theoretische Einsatzpotenzial von Wärmepumpen errechnen<sup>15</sup>. Von den etwa 2.252 Baublöcken auf Düsseldorfer Stadtgebiet (exklusive Gebäudebestand innerhalb Denkmalbereichssatzung) liegen etwa 450 Baublöcke innerhalb des Fernwärmenetzes. Da diese Baublöcke an das Fernwärmenetz angeschlossen werden können, werden sie als potentielle Einsatzgebiete für Wärmepumpen ausgeschlossen. Aus reiner Standortsicht eignen sich somit grundsätzlich 1.802 Baublöcke theoretisch für den Einsatz von Wärmepumpen. Unter den oben getroffenen Annahmen zur energetischen Sanierungsrate kann davon ausgegangen werden, dass ein Teil dieser Blöcke (ca. 500) bis 2050 nicht, oder nur unzureichend saniert wird und daher für den Einsatz der Wärmepumpen ausscheidet.

Bei einer etwa 60 prozentigen Realisierung des verbleibenden Potentials könnten Wärmepumpen im Jahr 2050 etwa ein Drittel der Düsseldorfer Gebäude beheizen und dabei eine Wärmemenge von etwa 780 GWh bereitstellen. Die Wärmepumpen haben dabei einen Endenergiebedarf (Strom und geringe Anteile Erdgas) von etwa 230 GWh. Der Endenergiebedarf der zur Zeit noch vorhandenen Elektrodirektheizungen im Vergleich dazu lag im Jahr 2007 bei etwa 88 GWh - bei einer erzeugten Wärmemenge von allerdings lediglich rd. 88 GWh. Folgende Abbildungen zeigen die erzeugte Wärme nach Heiztechnologie sowie den Endenergiebedarf der einzelnen Heiztechnologien bis 2050.

Der ansteigende Wärmebedarf im Basisszenario ist Ergebnis steigender Einwohnerzahlen und einer zunehmenden Wohnfläche pro Kopf. Diese beiden Entwicklungen kompensieren die Einsparungen aus energetischer Sanierung im Basisszenario. Im Klimaschutzscenario kommt es dagegen zu signifikanten Einsparungen beim Wärmebedarf. Die dafür eingesetzte Endenergie unter-

<sup>15</sup> Der Verweis auf das theoretische Potenzial erfolgt, weil im Rahmen dieses Gutachtens keine detaillierten Standortanalysen durchgeführt wurden. Datengrundlage ist das Wärmekataster der Stadt Düsseldorf, welches den Sanierungszustand und die bestehende Wärmeversorgung für Baublöcke ausweist. Die hier durchgeführten Berechnungen können daher nur eine Annäherung für Analysen zum tatsächlichen Einsatzpotenzial darstellen. Dieses hängt im Wesentlichen von den Gebäudestrukturen und Zugangsmöglichkeiten zum Erdreich ab.

schiedet sich aufgrund der steigenden Wirkungsgrade der Heizungstechnologien deutlicher. Dies gilt insbesondere für das Klimaschutzszenario, wobei sich hier vor allem die hohen endenergetischen Wirkungsgrade der Wärmepumpen bemerkbar machen.<sup>16</sup>

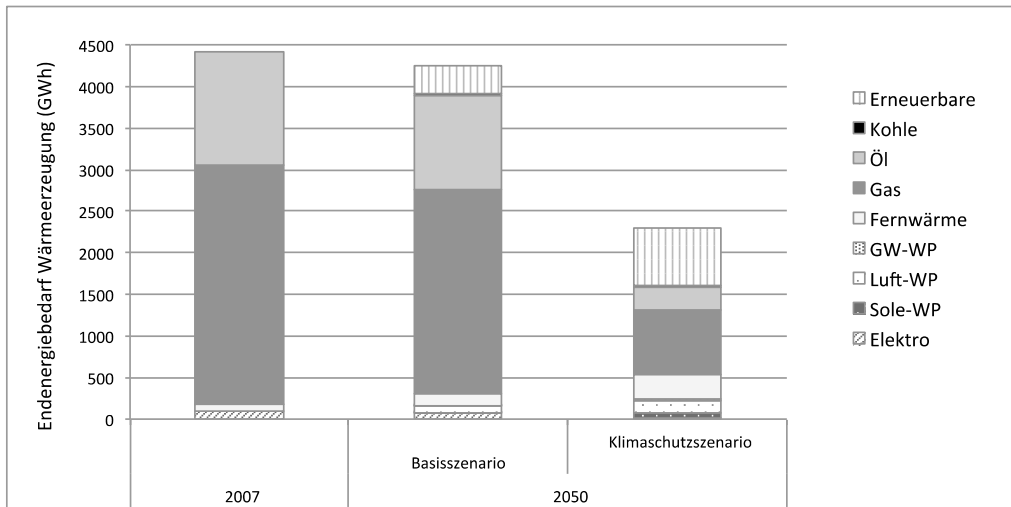


Abbildung 17 Nutzwärmebereitstellung im Haushaltssektor nach Wärmeerzeugungstechnologie; eigene Berechnung

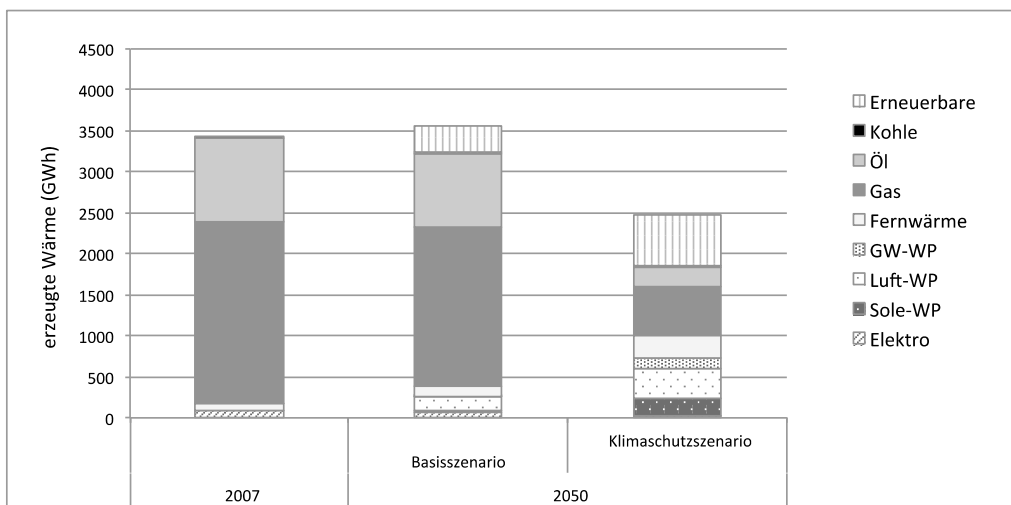


Abbildung 18 Endenergiebedarf zur Wärmeerzeugung im Haushaltssektor nach Wärmeerzeugungstechnologie; eigene Berechnung

Aufgrund einer verstärkten Förderung von GW-WP, deren Jahresarbeitszahl über denen der Sole- und Luft-Wärmepumpen liegt (siehe Abbildung 14), werden für die selbe Wärmeerzeugung ca. 12 GWh weniger Strom benötigt, als wenn eine Entwicklung der Marktanteile der Wärmepumpentechnologien

<sup>16</sup> Diesem hohen endenergetischen Wirkungsgrad ist bei Elektrowärmepumpen allerdings der geringe primärenergetische Wirkungsgrad der Stromerzeugung gegenüber zu stellen. Die Beurteilung der Vorteilhaftigkeit von Wärmepumpenstrategien darf daher nie auf die Endenergieebene beschränkt werden.

gemäß der Prognose des BWP angenommen würde. Im Ergebnis führt dies zu einer Einsparung von 6.030 Tonnen CO<sub>2</sub> im Jahr 2050.

Der verstärkte Einsatz von Wärmepumpen insgesamt hat die in folgender Tabelle dargestellten Auswirkungen auf CO<sub>2</sub>-Emissionen, Endenergiebedarf und Strombedarf im Jahr 2050.

Tabelle 5 Auswirkungen des verstärkten Einsatzes von Wärmepumpen (Klimaschutzszenario) im Jahr 2050; eigene Berechnung

	Endenergiebedarf [GWh]	Strombedarf [GWh]	CO <sub>2</sub> -Emissionen [Mio.t]
Klimaschutzszenario	9.813	3.238	1,22
ohne verstärkten Einsatz von WP	10.715	3.041	1,45
Differenz	902	-196	0,23

Den Annahmen liegt zugrunde, dass im Jahr 2050 knapp 30% des Wärmebedarfs von Wohngebäuden mit einem spezifischen Raumwärmebedarf von < 85 kWh/m<sup>2</sup>/a durch Wärmepumpen bereitgestellt wird. Bei Neubauten liegt dieser Anteil bei knapp 50%. Um die Quote von 30% im Gebäudebestand zu erreichen, müssten theoretisch etwa 13.700 m<sup>2</sup> bzw. 14 Baublöcke<sup>17</sup> pro Jahr (7 Baublöcke im Neubau) auf die Versorgung mit Wärmepumpen umgestellt werden.

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass der Einsatz von Wärmepumpen zwar zu einem Strommehrbedarf von 196 GWh führt, im Gegenzug der gesamte Endenergiebedarf jedoch um 902 GWh gesenkt werden kann. Der verstärkte Einsatz von Wärmepumpen führt zu einer Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um rd. 230.000 Tonnen<sup>18</sup>.

Um eine Empfehlung für bzw. gegen die verstärkte Förderung der GW-WP oder Wärmepumpen im allgemeinen abgegeben zu können, ist es notwendig, in vertiefenden Analysen die Auswirkungen den entstehenden Kosten gegenüberzustellen.

<sup>17</sup> Ein Baublock (vgl. Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011a) hat eine durchschnittliche Fläche von knapp 10.000 m<sup>2</sup>

<sup>18</sup> Bei der Analyse wurde angenommen, dass die von den Wärmepumpen erzeugte Energiemenge im Fall "ohne verstärkten Einsatz von WP" von erdgasbetriebenen Heizungen bereitgestellt wird. Kann die Wärmemenge teilweise mit solarthermischen Anlagen oder Biomasse erzeugt werden (im Fall der Solarthermie würde dies jedoch zu einem geringeren Ausbau der Photovoltaikanlagen führen), ist mit geringeren Einsparungen zu rechnen.

## 5 Szenarien

Zielsetzung des Klimaschutzszenarios ist es, einen Weg aufzuzeigen, wie die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Stadt Düsseldorf in den kommenden Jahrzehnten auf zwei Tonnen pro Einwohner und Jahr gesenkt werden können. Auf diese Weise soll das Ziel eines klimafreundlichen Düsseldorfs im Jahr 2050 erreicht werden. Hierfür müssen sehr detaillierte Annahmen getroffen werden, die im Folgenden für die einzelnen Sektoren bzw. Verursachungsbereiche dargelegt werden. Neben den Annahmen für das Klimaschutzszenario wird die sogenannte Business-As-Usual Entwicklung (Basisszenario) in den Blick genommen. Sie zeigt auf, wie sich Energieerzeugung und –verbrauch sowie resultierende CO<sub>2</sub>-Emissionen zukünftig entwickeln werden, wenn kein ambitionierter Klimaschutzpfad beschritten wird, der über die bereits ergriffenen Maßnahmen hinaus geht.

### Klimaschutzszenario

Die Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen hängt im Klimaschutzszenario im wesentlichen an dem durch den Ausbau erneuerbarer Energien sinkenden CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor in der Stromerzeugung, an der Steigerung der Energieeffizienz (u.a. energetische Gebäudesanierung im Haushaltssektor, Senkung der Energieintensität im Industriesektor, Stärkung des ÖV bzw. der Elektromobilität im Verkehrssektor) und dem Einsatz innovativer Technologien (Wärmepumpen, Biomasse, Solarthermie) zur Wärmeerzeugung unter Verdrängung von Erdgas- und Ölheizungen. Bis 2050 kommt es zu folgenden Einsparungen gegenüber dem Basisjahr 2007:

- Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 79% auf 2 t / Einwohner / a
- Endenergiebedarf: -49%

### Basisszenario

Das Basisszenario geht davon aus, dass die bisher eingeschlagenen Maßnahmen zum Klimaschutz in Düsseldorf weiter verfolgt werden, dass es aber nicht zu einer deutlich ambitionierteren Klimaschutzstrategie kommen wird. Entsprechend geht der Endenergiebedarf im Basisszenario nur leicht zurück. Die Struktur der eingesetzten Energieträger zur Energieerzeugung in Düsseldorf ändert sich nicht signifikant. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sinken im Basisszenario vorwiegend durch die Inbetriebnahme des effizienten Gaskraftwerks am Standort Lausward (Block F). Im weiteren Verlauf gehen die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die dem Stromverbrauch zugerechnet werden, vor allem deshalb zurück, weil der Anteil erneuerbarer Energien im deutschen Strommix weiter zunimmt und Düsseldorf große Mengen Strom importieren muss (siehe Abb. 45).

Bis 2050 kommt es zu folgenden Einsparungen gegenüber dem Basisjahr 2007:

- Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 37% auf 6,1 t / Einwohner / a
- Endenergiebedarf: -14%

## 5.1 Verbrauchssektoren

Die im Folgenden dargestellte Modellierung der zukünftigen Entwicklung erfolgt in Kapitel 5.1 entlang der Verbrauchssektoren (Haushalten, Industrie, GHD und Verkehr) – darauf aufbauend werden in Kapitel 5.2 die Ergebnisse der Modellierung der Erzeugungsseite dargestellt. Die Eingangsgrößen für die beiden Szenariopfade finden sich in Tabelle 3..

### 5.1.1 Haushalte

#### 5.1.1.1 Szenarioannahmen

Der Energiebedarf der Haushalte wird im Wesentlichen durch die Wärmenachfrage beeinflusst. Dementsprechend wurde im Klimaschutzszenario ein besonderes Augenmerk auf die energetische Wohngebäudesanierung gelegt. Während im Basisszenario die Sanierungsrate bis zum Jahr 2050 auf 2% ansteigt, liegt diese im Klimaschutzszenario zu diesem Zeitpunkt bei 3% (Richtwerte des Umweltamts Düsseldorf 04/2011).

Tabelle 6 Entwicklung des spezifischen Raumwärmebedarfs von Neubauten/energetisch sanierten Gebäuden und der energetischen Sanierungsrate im Klimaschutz- und Basisszenario; eigene Darstellung, Richtwerte des Umweltamts Düsseldorf 04/2011

	2007	2009	2015	2020	2030	2040	2050
<u>Klimaschutzszenario</u>							
Sanierungsrate	0,5%	1%	2,5%	3%	3%	3%	3%
spez. Raumwärmebedarf sanierter Altbau [kWh/m <sup>2</sup> /a]	85	85	60	60	40	30	30
spez. Raumwärmebedarf Neubau [kWh/m <sup>2</sup> /a]	70	55	15	15	15	10	10
<u>Basisszenario</u> (zum Vergleich)							
Sanierungsrate	0,5%	1%	1,5%	2%	2%	2%	2%
spez. Raumwärmebedarf sanierter Altbau [kWh/m <sup>2</sup> /a]	120	100	90	80	60	50	40
spez. Raumwärmebedarf Neubau [kWh/m <sup>2</sup> /a]	100	70	55	40	40	30	20

Darüber hinaus wurde eine detaillierte Analyse des Gebäudebestandes unternommen. Grundlage hierfür sind die Daten des Düsseldorfer Wärmekatasters, welches baublockscharfe Informationen zu Fläche und Altersklasse sowie den eingesetzten Versorgungsvarianten (Fernwärme, Gas, Nachtspeicherheizung) liefert. Zudem lässt sich der spezifische Energiebedarf pro Baublock ableiten. Auf Basis dieser Zahlen werden die Berechnungen zum energetischen Zustand



des Gebäudebestandes und die daraus abgeleitete Sanierungsstrategie präzisiert.

Die Übersichtstabelle (Tabelle 7) legt dar, wie sich der Sanierungsstand aktuell in Düsseldorf darstellt. Der Begriff „Bestand“ bezieht sich im Weiteren jeweils auf den Gebäudebestand des Jahres 2007.

Der denkmalgeschützte Bereich ist aufgenommen, da hier energetische Sanierungsmaßnahmen oftmals nur mit deutlich erhöhtem Aufwand durchzuführen sind. Hierfür gilt es weitere Strategien für die zukünftige Wärmeversorgung aufzuzeigen. Dieses erfolgt im Abschnitt 4.1 und 4.2, ausführliche Erläuterungen zu den Berechnungen für den Gebäudebestand finden sich in Anhang (ab Seite 70).

Tabelle 7 Gebäudesegmente in Düsseldorf nach Baublöcken und Wohnfläche; eigene Berechnung, Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011b

	Anzahl Baublöcke	Wohnfläche [Mio. m <sup>2</sup> ]
energetisch zu sanierende Bestandsgebäude	2.031	18,7
Bestandsgebäude mit gutem energetischen Standard	217	3,1
Bestandsgebäude innerhalb der Denkmalbereichssatzung	98	0,8

#### 5.1.1.2 Veränderung des Energiebedarfs

Der größte Teil aller Wohngebäude hat im Jahr 2050 einen Raumwärmebedarf von weniger als 85 kWh/m<sup>2</sup>/a.

Grundlage für die Berechnungen des Wärmebedarfs nach Wohnflächen sind zum einen, die in Abbildung 17 und 18 dargestellten Entwicklungen für die unterschiedlichen Heiztechnologien. Während der Erdgas- und Ölbedarf stark zurückgeht, kommt es zu einem deutlichen Anstieg der Fernwärmenutzung im Jahr 2020 und zu einem stetigen Anstieg des Anteils von Biomasse und Solarthermie. Da Effizienzgewinne bei elektrischen Geräten den Mehrbedarf an Elektrizität im Haushaltssektor aufgrund des verstärkten Einsatzes von Wärmepumpen kompensieren können, geht auch der Strombedarf leicht zurück.

Weiterhin ist die Entwicklung der Wohnflächen nach Gebäudesegmenten entscheidend. Sie ist in den folgenden Abbildungen für beide Szenariopfade dargestellt.

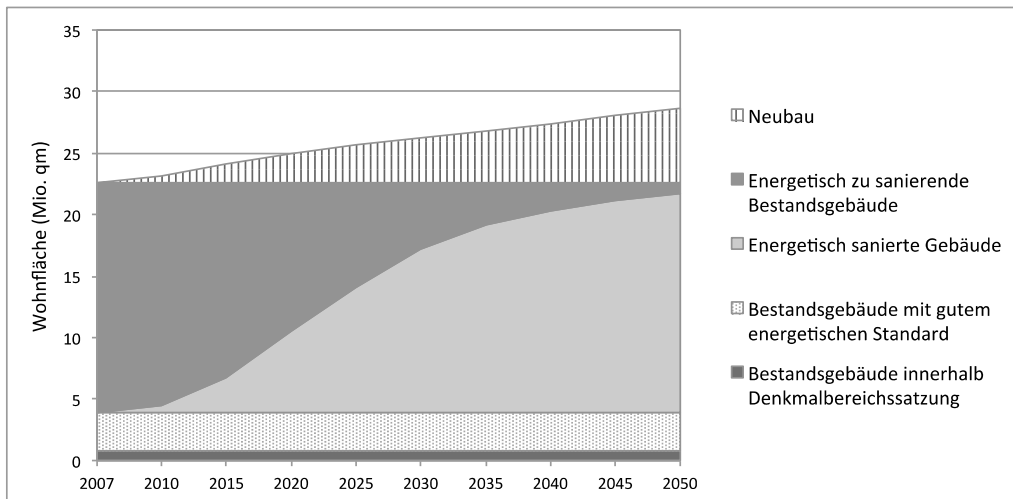


Abbildung 19 Verteilung der Wohnfläche nach Gebäudesegmenten im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung

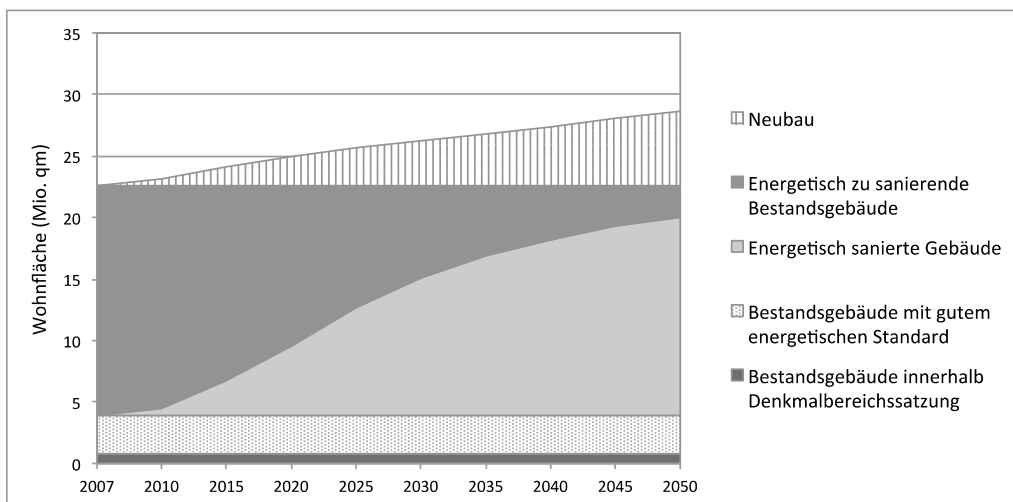


Abbildung 20 Verteilung der Wohnfläche nach Gebäudesegmenten im Basisszenario; eigene Berechnung

Als energetisch zu sanierende Bestandsgebäude gilt der Gebäudebestand (des Jahres 2007) mit einem Raumwärmebedarf von  $> 85 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$ . Bestandsgebäude (des Jahres 2007) mit gutem energetischen Standard weisen einen Raumwärmebedarf von  $< 85 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  auf (siehe Abschnitt 11.2 und 11.3).

Ein Abgleich der hier dargestellten Entwicklung der Neubauten, mit einer Prognose der Stadt Düsseldorf (vgl. Stadtplanungsamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2008 S.133) zeigt, dass auch hier mit einem erheblichen Anstieg gerechnet wird. Bis 2020 sollen demnach 28.000 zusätzliche Wohneinheiten entstehen. Bei gleichbleibender Fläche je Wohneinheit (vgl. Heide und Eberhard 2009 S.8) entspricht dies einer Fläche von etwa 2 Mio.  $\text{m}^2$ . Grundlage für diese Entwicklung ist auch, dass für die Szenarien kein Abriss angenommen wurde. Es handelt sich also um eine sehr konservative Abschätzung. Eine andere Entwicklung ergäbe sich, wenn ein Abriss von Gebäuden mit schlechter energetischer Substanz angenommen würde, die durch Neubau mit entsprechenden Standards ersetzt würden.

Die Entwicklung des Endenergiebedarfs zur Raumwärmeerzeugung (ohne Warmwasser wie in den vorher genannten Abbildungen) ist im Folgenden dargestellt.

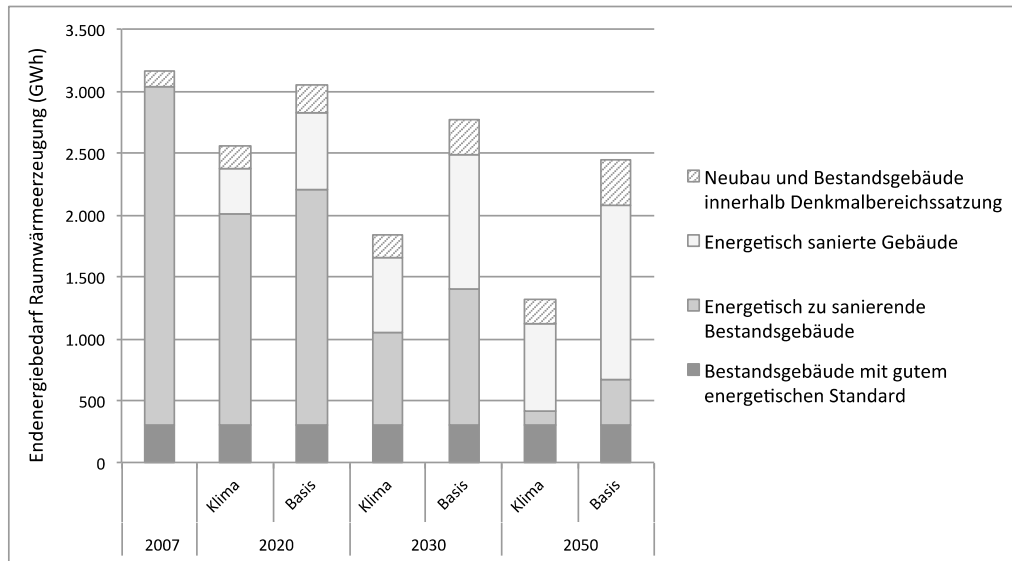


Abbildung 21 Endenergiebedarf zur Erzeugung von Raumwärme nach Gebäudesegmenten; eigene Berechnung

Der Endenergiebedarf sinkt insgesamt um mehr als die Hälfte und verlagert sich anteilig vom energetisch zu sanierenden Gebäudebestand auf energetisch sanierte Gebäude. Aufgrund des sehr geringen spezifischen Raumwärmebedarfs von Neubauten, fällt der Endenergiebedarf dieser Bauten, trotz einer Fläche von 6 Mio. m<sup>2</sup> (siehe Abbildung 19) kaum ins Gewicht.

Der Anschluss von Wohngebäuden innerhalb der Denkmalbereichssatzung in Oberkassel an das Fernwärmenetz, führt bis 2050 zu einer starken Veränderung der Energieträgerstruktur des Wohngebäudebestands innerhalb der Denkmalbereichssatzung (siehe folgende Abbildung).

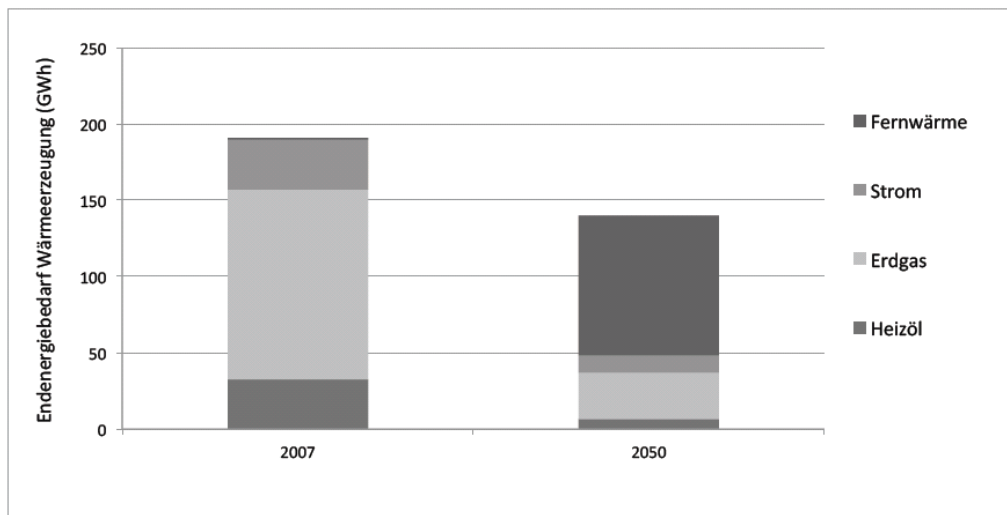


Abbildung 22 Energieträgerstruktur innerhalb der Denkmalbereichssatzung im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung

### 5.1.1.3 Effizienzsteigerung in der Wärmezeugung

Die Effizienzsteigerung in der Wärmezeugung ist zweite treibende Größe für die zukünftige Ausgestaltung der Energieversorgung, wobei sie für beide Szenariopfade gleich angenommen wird (siehe Tabelle). Der Prognose von Prognos (prognos 2010) und Daten aus dem differenzierten bottom-up Energienachfragemodell DEESY (WI 2010) folgend, wird davon ausgegangen, dass die Effizienz der Wärmezeugung in den kommenden Jahrzehnten deutlich ansteigt.

Es ist erkennbar, dass vor allem im Bereich der Wärmepumpen erhebliche Steigerungen zu erwarten sind, hier insbesondere bei den elektrisch betriebenen Grundwasser-Wärmepumpen. Die deutlich höheren Steigerungsraten bei Wärmepumpen im Vergleich zu erprobten Varianten wie Solarthermie und Biomasse sind vor dem Hintergrund des technologischen Entwicklungsstandes bzw. Reifegrades zu sehen.

Tabelle 8 CO<sub>2</sub>-Emissionen der verschiedenen Heiztechnologien pro erzeugter kWh<sub>th</sub> Nutzenergie bis 2050 einschließlich Umwandlungsverlusten; eigene Berechnung, prognos 2010, DEESY

CO <sub>2</sub> -Emissionen [g/kWh <sub>th</sub> ]	2007	2010	2020	2030	2050
<b>Elektro-Wärmepumpen</b>					
Grundwasser *)	146	133	109	69	49
Sole	155	144	121	80	61
Luft	197	181	148	97	71
<b>Gas-Wärmepumpen</b>					
Grundwasser	160	154	140	128	108
Sole	170	164	149	136	115
Luft	215	209	192	178	158
<b>konventionelle Wärmeerzeugung</b>					
Fernwärme	171	171	171	139	142
Gas	247	244	233	231	226
Öl	371	365	335	331	325
Kohle	508	508	508	508	508
<b>regenerative Wärmeerzeugung</b>					
Solarthermie	0	0	0	0	0
Biomasse	0	0	0	0	0

\*) Werte an die spezifische Situation in Düsseldorf angepasst (s.u.)

#### 5.1.1.4 Resultierende CO<sub>2</sub>-Emissionen

Im Klimaschutzszenario sinken die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor private Haushalte bis 2050 um 76%. Bestandgebäude mit gutem energetischen Standard des Jahres 2007 (siehe Abschnitt 11.3 auf Seite 81) werden im Zeitraum bis 2050 nicht energetisch saniert. Anfallende Reparaturen o.ä. nötige Maßnahmen, die auch in diesem Gebäudesegment zu einer energetischen Verbesserung und Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen, werden nicht berücksichtigt. Die Sanierungstätigkeit beschränkt sich auf „energetisch zu sanierende Bestandsgebäude“ mit einem Endenergiebedarf von durchschnittlich 147 kWh/m<sup>2</sup>/a im Jahr 2007.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Gebäudesegmenten im Klimaschutzszenario sowie im Vergleich dazu im Basisszenario sind im Folgenden dargestellt.

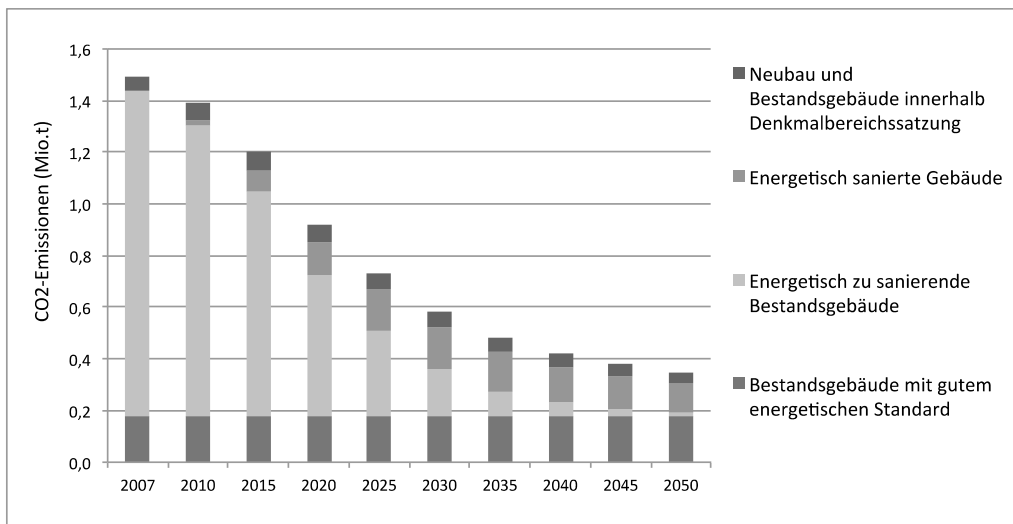


Abbildung 23 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Haushaltssektor nach Gebäudesegmenten im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung

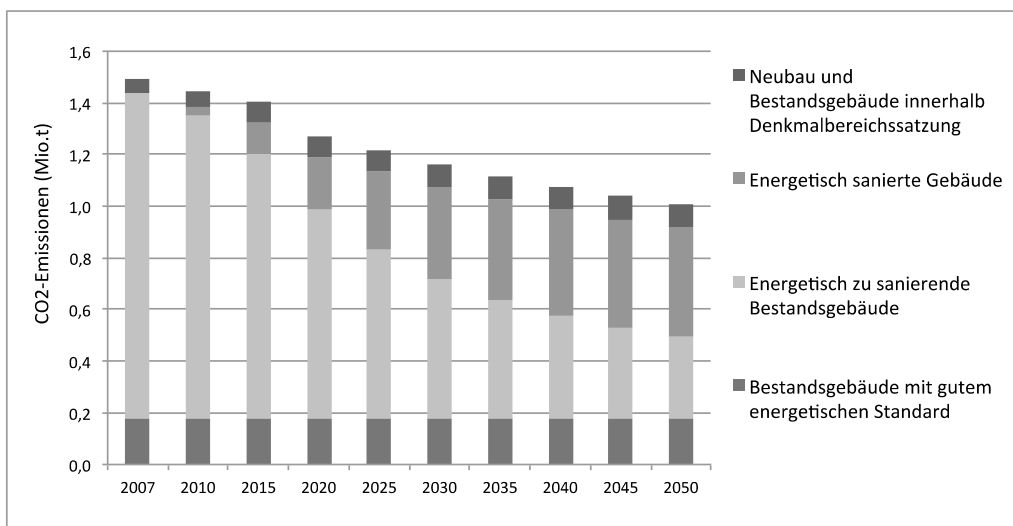


Abbildung 24 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Haushaltssektor nach Gebäudesegmenten im Basisszenario; eigene Berechnung

## 5.1.2 GHD

### 5.1.2.1 Szenarioannahmen

Für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistung wird angenommen, dass der Raumwärmebedarf (ausgedrückt in kWh/m<sup>2</sup>/a) bis 2050 um 50 Prozent sinken wird. Im Basisszenario sinkt der Raumwärmebedarf um lediglich 20 Prozent. Diese Annahmen sind aus der Modellierung des Haushaltssektors abgeleitet. Dementsprechend wird im GHD-Sektor von analogen Grundannahmen ausgegangen. Dies sind vor allem: Anteile der Gebäudesegmente, Sanierungsquote, Raumwärmebedarf nach energetischer Sanierung bzw. Neubau und Effizienzsteigerung der Heizungstechnologien.

Der spezifische Nutzenergiebedarf für Prozesswärme, Prozesskälte und Beleuchtung, sowie Kommunikation, Lüftung und Maschinen (ausgedrückt in kWh/Erwerbstätigen/a) bleibt in den nächsten Jahrzehnten etwa konstant.

Insgesamt sinkt der Endenergiebedarf in diesem Sektor jedoch aufgrund steigender Energieeffizienz der Geräte und Anlagen.

#### 5.1.2.2 *Veränderung des Energiebedarfs*

Im Sektor GHD werden ähnliche Sanierungsquoten wie im Haushaltssektor angesetzt. Dies führt auch hier zu einer deutlichen Senkung des Raumwärmebedarfs, auch wenn die verstärkte Nutzung von Klima- und Lüftungsanlagen zu einem steigenden Energiebedarf führt. Insbesondere durch die Zunahme von Hitzeereignissen ist hier mit einer Steigerung zu rechnen. Der Mehrbedarf fällt jedoch, aufgrund einer Steigerung der Effizienz elektrischer Geräte und Senkung des Raumwärmebedarfs, nicht so stark ins Gewicht (vgl. prognos 2009 S.198f). Der relative Energiebedarf für Kühlung/Prozesswärme nimmt aber deutlich zu. Durch den verstärkten Einsatz regenerativer Energien zur Wärmeerzeugung kann Ergas und Heizöl kompensiert werden. Insgesamt sinkt der Energiebedarf um 55 Prozent bis zum Jahr 2050. Auch hier sei darauf verwiesen, dass sich diese Aussagen aus dem Szenarien für die gesamtdeutsche Entwicklung ableiten. Die ortsspezifische Analyse kann hier zu leichten Veränderungen führen. Dieses gilt zum Beispiel für die Zunahme der Hitzetage – für das Rheinland kann hier eine überdurchschnittliche Entwicklung angenommen werden.

Der spezifische Endenergiebedarf pro Erwerbstätigen sinkt im Klimaschutzszenario von etwa 11.000 kWh im Jahr 2007 auf knapp 5.000 kWh im Jahr 2050 (siehe folgende Abbildung).

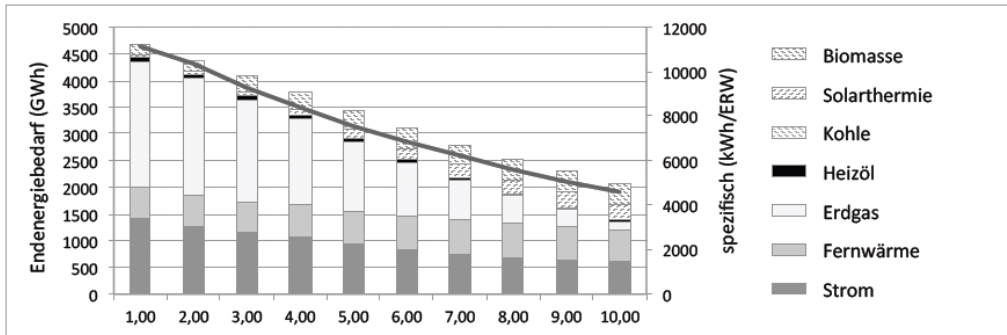


Abbildung 25 Endenergiebedarf im GHD-Sektor im Klimaschutzszenario nach Energieträgern; eigene Berechnungen

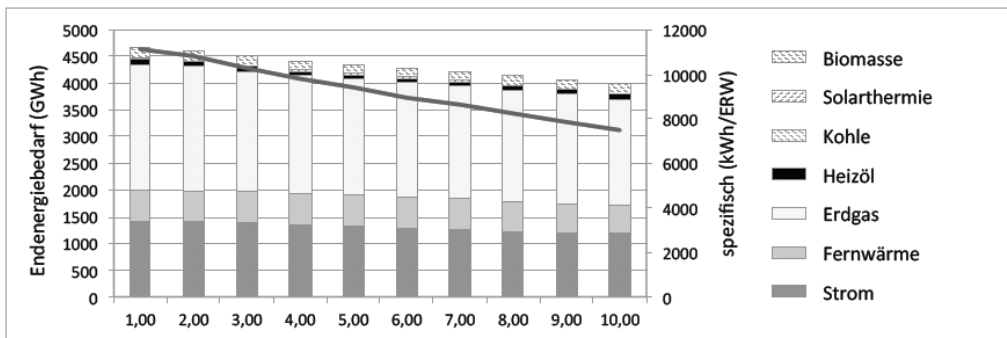


Abbildung 26 Endenergiebedarf im GHD-Sektor im Basisszenario nach Energieträgern; eigene Berechnungen

### 5.1.2.3 Resultierende CO<sub>2</sub>-Emissionen

Im Klimaschutzszenario sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen bis 2050 um 85%. Das Verhältnis von Prozesswärme zu Prozesskälte liegt im Basisjahr bei etwa 1:1 (eigene Berechnung, WI 2010). Während die Emissionen durch die Erzeugung von Prozesswärme im Betrachtungszeitraum stark zurück gehen, kommt es bei der Erzeugung von Prozesskälte zu höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen (siehe oben). Die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Anwendungsbereichen wird im Folgenden dargestellt.



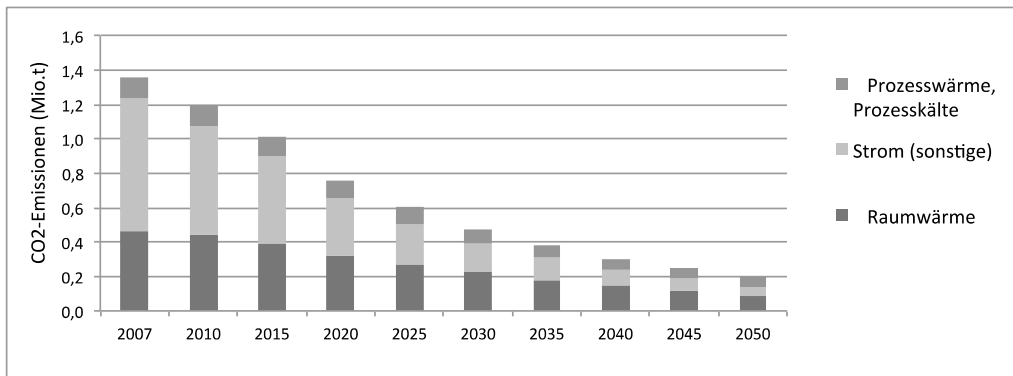


Abbildung 27 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor GHD nach Anwendungsbereichen im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung, die Kategorie Strom (sonstige) umfasst alle Stromverbräuche außer für Wärmepumpen und Elektroheizungen

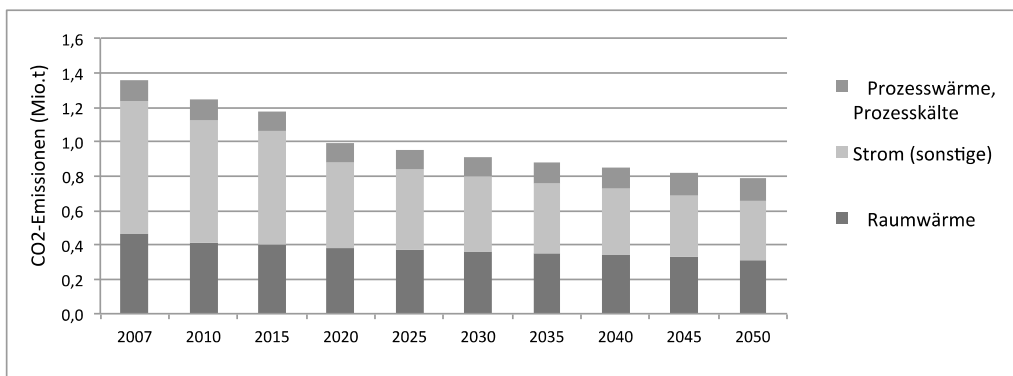


Abbildung 28 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sektor GHD nach Anwendungsbereichen im Basisszenario; eigene Berechnung, die Kategorie Strom (sonstige) umfasst alle Stromverbräuche außer für Wärmepumpen und Elektroheizungen

### 5.1.3 Industrie

#### 5.1.3.1 Szenarioannahmen

Für die Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind im Industriesektor zwei Dynamiken entscheidend. Neben der Umstellung der Energieträgerstruktur und der Einführung entsprechender Technologien zur Wärmeerzeugung kann vor allem die Erhöhung der energetischen Produktivität einen erheblichen Beitrag leisten. Man versteht hierunter den Energieverbrauch im Verhältnis zur Bruttowertschöpfung (BWS)<sup>19</sup>.

Mangels geeigneter Prognosen zur möglichen Entwicklung der energetischen Produktivität der Düsseldorfer Industrie, wird an dieser Stelle auf Berechnungen des WWF Szenarios für Deutschland (prognos 2009 S. 311) zurückgegriffen. In dieser Studie wird sehr differenziert eine mögliche Entwicklung der

<sup>19</sup> Zur Erreichung der internationalen Klimaschutzziele ist es erforderlich die Energieeffizienz in der industriellen Produktion zu erhöhen. Um die dabei erzielten Erfolge eines Unternehmens angemessen zu beurteilen, sind auf lokaler Ebene die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht geeignet. Geeigneter Maßstab für überregional operierende Unternehmen sind die spezifischen Emissionen, bezogen auf die erzeugte Produktmenge.

energetischen Produktivität dargestellt. Für das Klimaschutzscenario wird die Entwicklung des Innovationsszenarios, für das Basisszenario die Entwicklung des Referenzszenarios herangezogen. Auf Grundlage dieser Daten steigt die energetische Produktivität im Klimaschutzscenario, durch von "Effizienzinnovationen getriebene Veränderungen" (prognos 2009 S.200), im ungewichteten Durchschnitt von 40 €Cent auf 70 €Cent pro eingesetzter Kilowattstunde. Im Basisszenario steigt die energetische Produktivität auf lediglich 50 €Cent pro Kilowattstunde. Informationen zur Berechnung der Werte für das Basisjahr befinden sich im Anhang unter Abschnitt 9.1.3.

Die folgende Abbildung gibt die Energieintensität für die Branchen wieder. Auch hier gilt es wieder zu beachten, dass es bei der Betrachtung der jeweiligen Branchen in Düsseldorf zu Abweichungen kommen wird. Entsprechend detaillierte Untersuchungen wären hierfür notwendig.

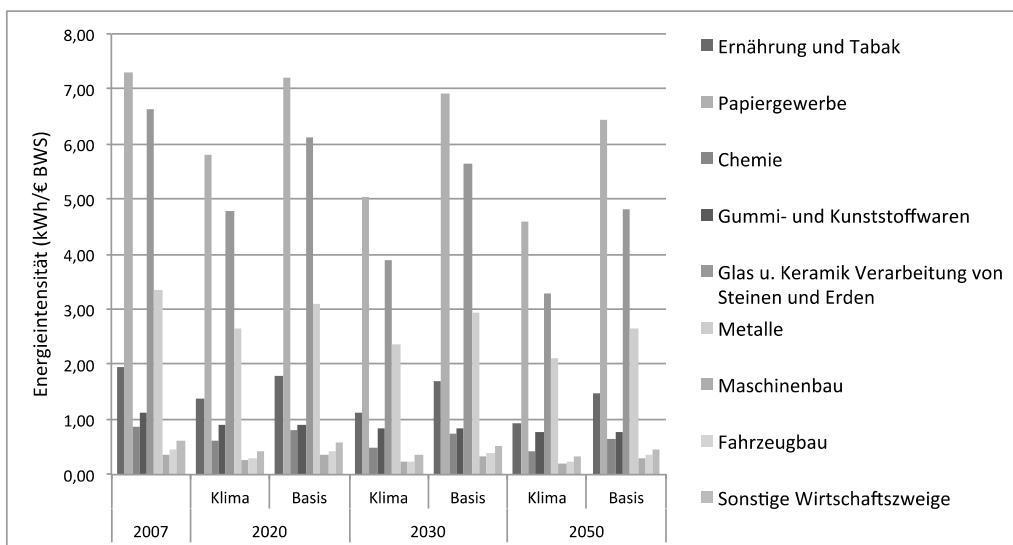


Abbildung 29 Energieintensität der Düsseldorf Industrie nach Branchen für 2007 und 2050 im Klimaschutzscenario; eigene Berechnung

Grundlage der Berechnungen ist die Energieträgerstruktur der nordrhein-westfälischen Industrie im Jahr 2007 (it.nrw 2011). Auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass sich diese Zahlen in den jeweiligen Branchen in Düsseldorf anders darstellen, sollen sie dennoch in einer ersten Annäherung für die Berechnungen des Düsseldorfer Klimaschutzszenarios herangezogen werden. Zur Präzisierung wären hier tiefergehende Datenerhebungen notwendig, wodurch sich jedoch Konflikte mit dem Datenschutz ergeben. Im Folgenden ist die (Ziel-)Energieträgerstruktur der Industrie nach Branchen für das Jahr 2050 dargestellt. Die zweite Abbildung zeigt die Energieträgerstruktur für das Jahr 2050 im Basisszenario (keine Veränderung ggü. dem Jahr 2007).

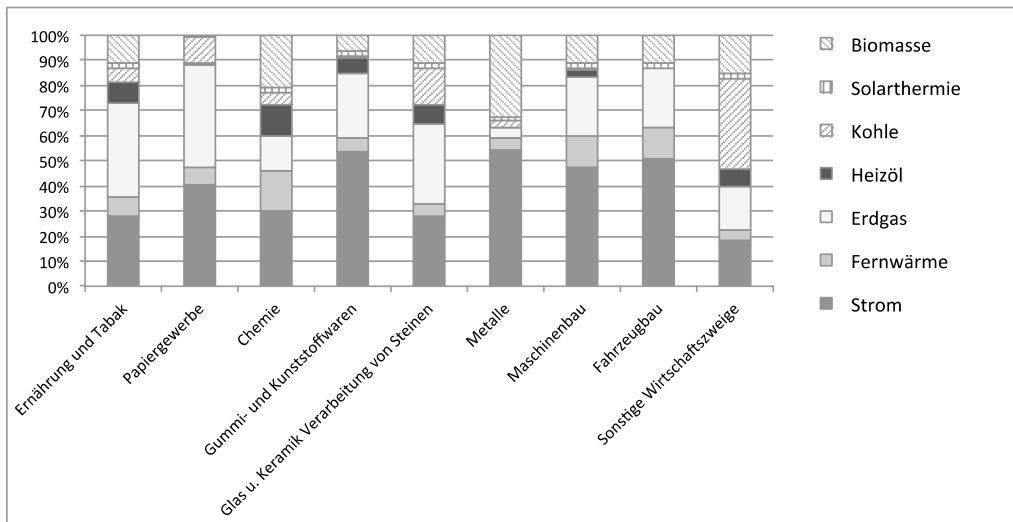


Abbildung 30 Energieträgerstruktur der Industrie nach Branchen im Klimaschutzszenario für das Jahr 2050; eigene Berechnung

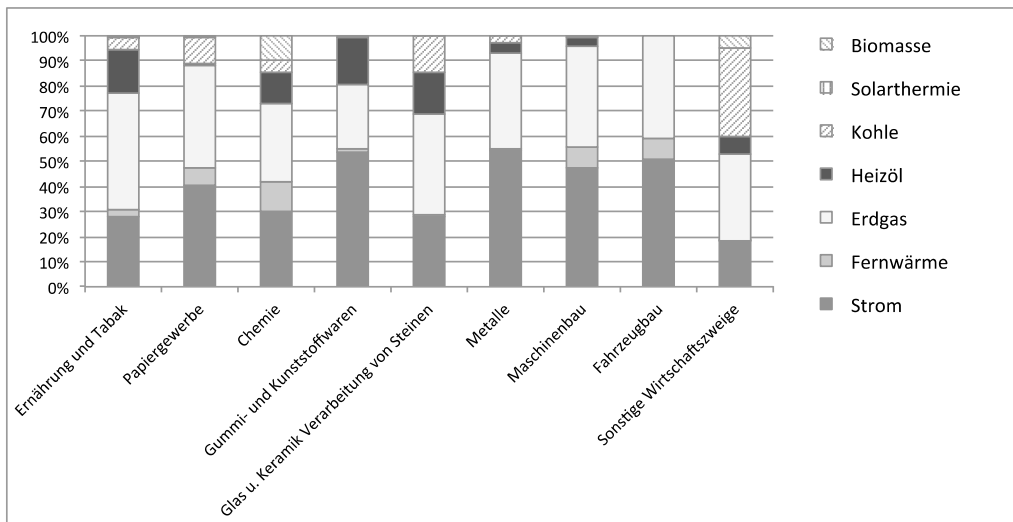


Abbildung 31 Energieträgerstruktur der Industrie nach Branchen im Basisszenario für das Jahr 2050; eigene Darstellung

Zur Einordnung der Annahmen des Klimaschutzszenarios sind diese im Folgenden (in aggregierter Form) den Annahmen des Innovationsszenarios im WWF-Modell Deutschland<sup>20</sup> jeweils für das Jahr 2050 (prognos 2009 S. 209) gegenübergestellt.

<sup>20</sup> Mineralöle als Heizöl, darunter: Heizöl leicht, Heizöl schwer, übrige Mineralölprodukte; Gase als Erdgas, darunter: Naturgase, Flüssiggas, Raffineriegas, Kokereigas, Gichtgas

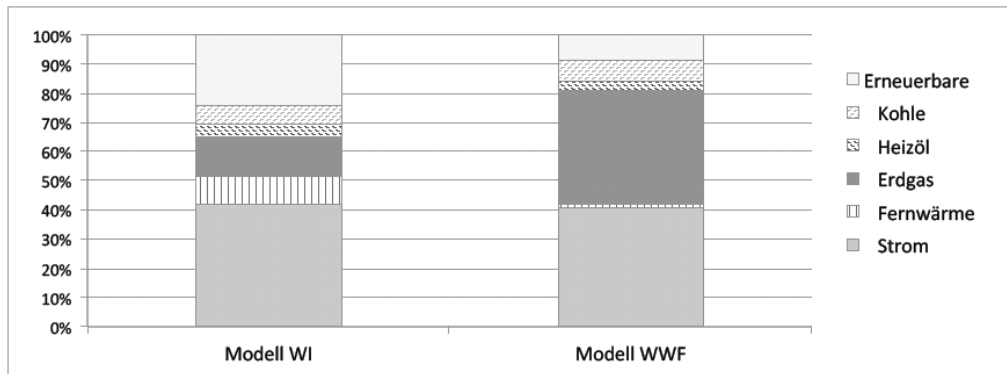


Abbildung 32 (Ziel-)Energieträgerstruktur des Industriesektors im WWF-Modell Deutschland gegenüber der (Ziel-)Energieträgerstruktur im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung, prognos 2009 S.209

Strom hat im Jahr 2050 in beiden Szenarien einen großen Anteil am Endenergiebedarf des Industriesektors. Anders als im WWF-Modell geht das Klimaschutzszenario von einem höheren Anteil erneuerbarer Energien (überwiegend Biomasse) aus, aufgrund der Düsseldorf spezifischen Rahmenbedingungen liegt auch der Fernwärmeanteil über den Prognosen des WWF-Modells. Im WWF-Modell wird Biomasse strategisch zur Kraftstoffmittelproduktion für den Güterverkehr eingesetzt (vgl. prognos 2009 S.209). Im Klimaschutzszenario für Düsseldorf wird dagegen überwiegend auf Elektromobilität gesetzt. Aufgrund dieser Rahmenentscheidung kann im Klimaschutzszenario von einem verstärkten Einsatz von Biomasse im Industriesektor ausgegangen werden.

#### 5.1.3.2 Veränderung des Energiebedarfs

Endenergiebedarf: -32% bis 2050

Durch steigende energetische Produktivität von 40 €Cent auf 70 €Cent pro Euro Bruttowertschöpfung (im ungewichteten Mittel) im Jahr 2050 (eigene Berechnungen, prognos 2009 S.311, Statistisches Bundesamt 2010), kann im Industriesektor eine enorme Energiemenge eingespart werden. Da jedoch für die Bruttowertschöpfung bis 2050 eine Zunahme um 30% prognostiziert wird, fällt die Reduktion des Energiebedarfs mit rund 32 Prozent bis zum Jahr 2050 deutlich geringer aus als in den übrigen Sektoren. Wärmeerzeugung durch den Einsatz von Biomasse führt im Weiteren zur Einsparung großer Mengen von Erdgas. Die chemische Industrie und die Metallindustrie haben auch im Jahre 2050 noch einen Anteil von 60% am gesamten Endenergieverbrauch im Industriesektor.

### 5.1.3.3 Resultierende CO<sub>2</sub>-Emissionen

Im Klimaschutzszenario sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Sektor um 76% bis 2050. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Branchen sind im Folgenden dargestellt.

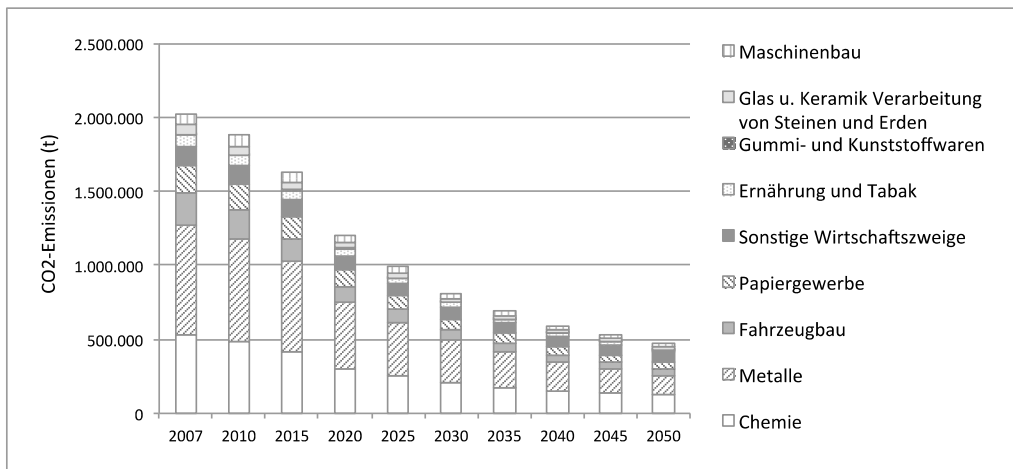


Abbildung 33 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Klimaschutzszenario nach Branchen; eigene Berechnung

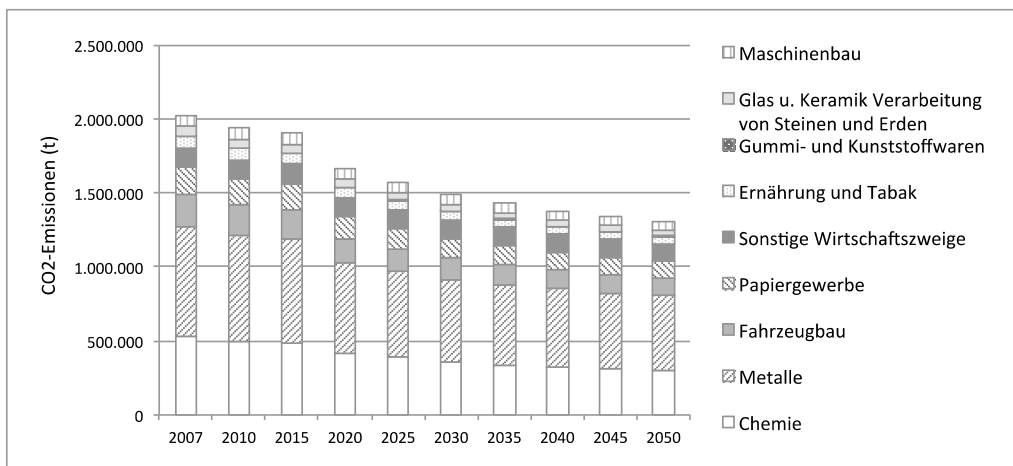


Abbildung 34 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Basisszenario nach Branchen; eigene Berechnung

### 5.1.4 Verkehrssektor

#### 5.1.4.1 Szenarioannahmen

Für die zukünftige Entwicklung im Verkehrsbereich wird angenommen, dass es zu einer verstärkten Nutzung des öffentlichen Personennahverkehrs kommen wird, und zudem elektrische Antriebe eine wachsende Bedeutung spielen. Datengrundlage für die Berechnungen sind im Wesentlichen die in Düsseldorf gemeldeten Fahrzeuge. Da keine genaueren Daten zu spezifischem Kraftstoffbedarf und Fahrleistung der in Düsseldorf gemeldeten Fahrzeuge vorliegen, wird auf verschiedene Studien zu aktuellen und zu erwartenden Werten für die gesamte Bundesrepublik Deutschland zurückgegriffen.

Für die Entwicklung des spezifischen Kraftstoffverbrauchs und der spezifischen Fahrleistungen der Fahrzeuge wird eine Entwicklung entsprechend des WWF-Szenarios (prognos 2009 S. 218), für die Anzahl der gemeldeten Fahr-

zeuge entsprechend der Prognos-Szenarien II/III (prognos 2010 S. 10) angenommen.

Im Klima- als auch Basisszenario wird davon ausgegangen, dass die Fahrzeugzahl pro Einwohner bis 2050 leicht zurückgeht (siehe Abschnitt 3.2.4). Spezifischer Kraftstoffverbrauch und Fahrleistung entwickeln sich im Klimaschutz-szenario laut Innovationsszenario, im Basisszenario laut Referenzszenario (prognos 2009 S. 96). Um die CO<sub>2</sub>-Minderungsziele zu erreichen, muss es bis 2050 zu einer signifikanten Veränderung des Fahrzeugparks kommen. Der Anteil von Biodiesel und Ethanol an Diesel bzw. Benzin steigt auf 30 Energieprozent<sup>21</sup>.

Folgende Abbildungen zeigen die notwendige Entwicklung der Pkw-Zahlen; die Tabelle den spezifischen Kraftstoffbedarf der Pkws nach Antriebstechnologie. Die zwischenzeitlich steigenden Pkw-Zahlen sind der Bevölkerungsentwicklung geschuldet.

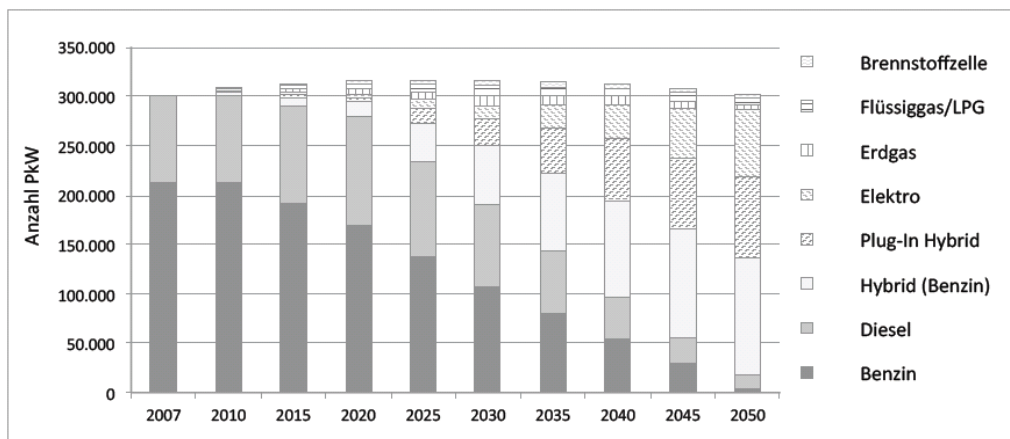


Abbildung 35 Angemeldete Personenkraftwagen nach Antriebstechnologie im Klimaschutz-szenario; eigene Berechnung, prognos 2010

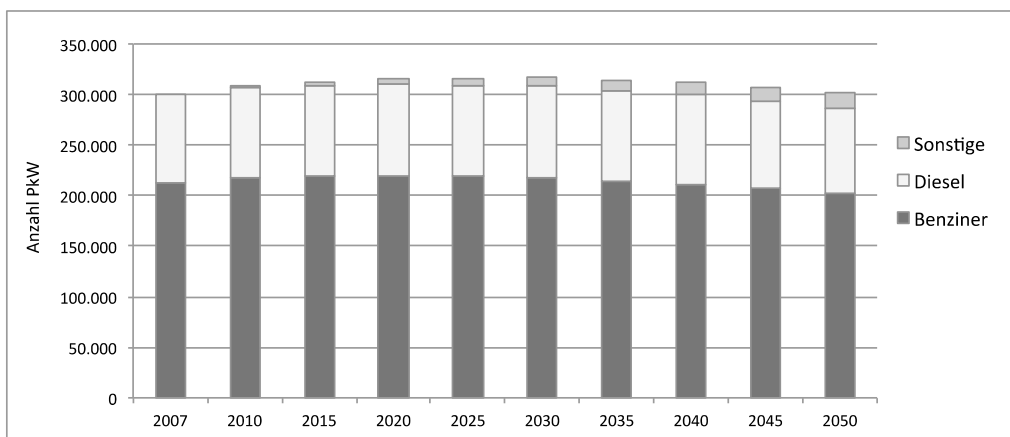


Abbildung 36 Angemeldete Personenkraftwagen nach Antriebstechnologie im Basisszenario; Die Kategorie Sonstige umfasst Hybrid, Plug-In Hybrid, Elektro, Erdgas, Flüssiggas/LPG, Brennstoffzelle; eigene Berechnung, prognos 2010

<sup>21</sup> Ein Modal Split zu den Szenarioergebnissen kann für den Gesamtverkehr nicht ausgewiesen werden, da nur der motorisierte Verkehr modelliert wurde. Zu den Grundannahmen siehe auch Tabelle 3.

Tabelle 9 Entwicklung des spezifischen Pkw-Kraftstoffbedarfs nach Antriebstechnologie im Basis- und Klimaschutzszenario bis 2050; eigene Berechnung, prognos 2009

Pkw-Kraftstoffbedarf [MJ/100km]	2007	Klimaschutz	Basis
Flüssiggas/LPG	282	143,5	171,3
Brennstoffzelle	257	200,2	157,3
Benziner	254	119,4	153,1
Diesel	241	152,1	159,2
Hybrid	190	98,0	140,8
Plug-In Hybrid	162	92,5	97,9
Erdgas	106	55,1	64,6
Elektro	74	50,0	50,4

Beide Stellgrößen (Anzahl der Fahrzeuge und spezifischer Kraftstoffverbrauch) tragen wesentlich zu einer Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrssektors bei.

#### 5.1.4.2 Veränderung des Energiebedarfs

Bis zum Jahr 2050 verschwinden ausschließlich mit Diesel oder Benzin betriebene PKW fast vollständig von den Straßen. An ihre Stelle treten zunehmend Hybrid-, Plug-In Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Ein geringer Anteil von Fahrzeugen wird mit Erdgas, Flüssiggas und Wasserstoff betrieben. Hauptsächlich durch Effizienzsteigerungen und Veränderungen im Modal Split sinkt der Endenergiebedarf bis zum Jahr 2050 im Verkehrssektor um 70 Prozent. Folgende Abbildungen zeigen die Entwicklung des Energiebedarfs und der resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor.

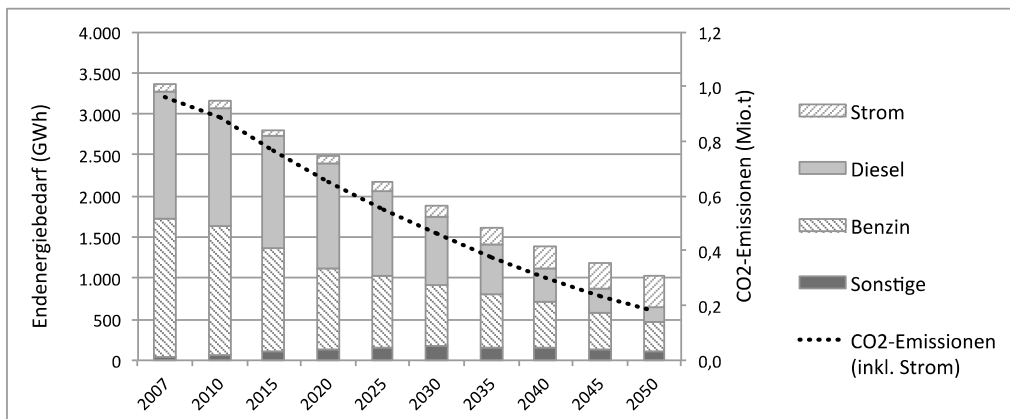


Abbildung 37 Endenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor im Klimaschutzszenario nach Treibstoff, Die Kategorie Sonstige umfasst Erdgas, Flüssiggas/LPG, Wasserstoff und Kerosin; eigene Berechnung

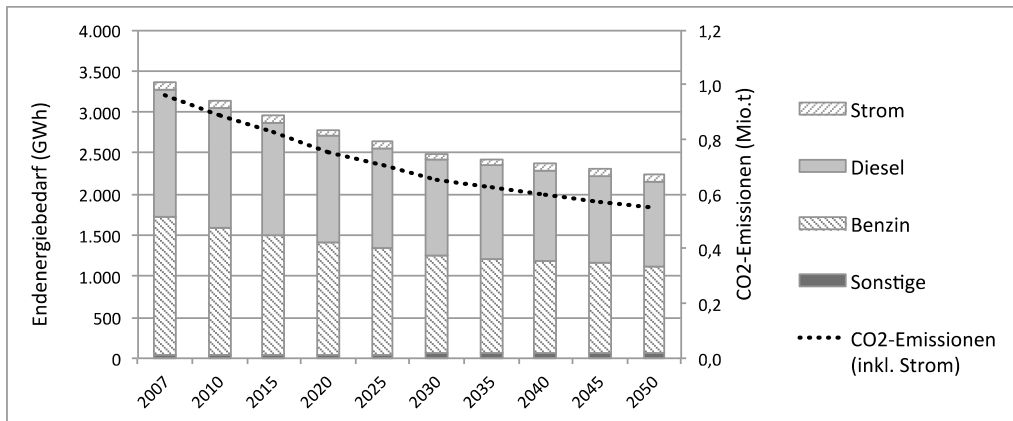


Abbildung 38 Endenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor im Basisszenario nach Treibstoff, Die Kategorie Sonstige umfasst Erdgas, Flüssiggas/LPG, Wasserstoff und Kerosin; eigene Berechnung

#### 5.1.4.3 Resultierende CO<sub>2</sub>-Emissionen

Im Klimaschutzscenario sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Sektor um 81% bis 2050. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Personenverkehr/Gütertransport sind im Folgenden dargestellt (zur Modellstruktur siehe Kapitel 9.1.4).

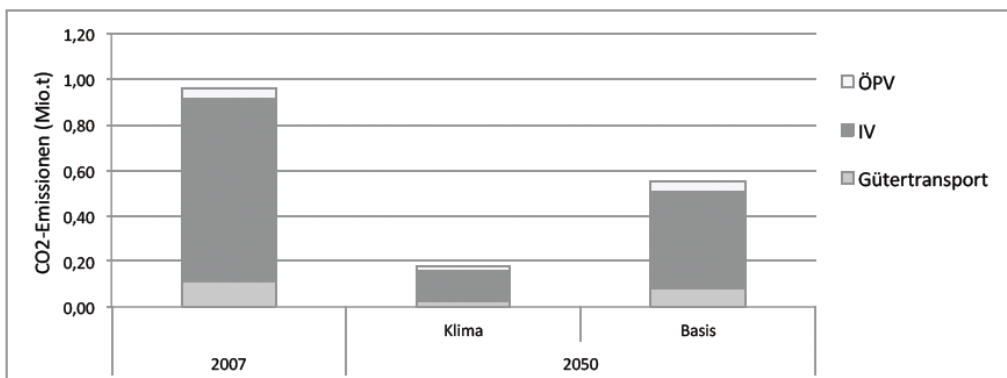


Abbildung 39 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehrssektor nach Personenverkehr/Gütertransport im Klimaschutz- und Basisszenario; eigene Berechnung

Die Verteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gütertransport nach Transportmittel stellt sich wie in der folgenden Abbildung gezeigt dar.

Ein sinkender spezifischer Verbrauch sowie die teilweise Hybridisierung von LKW und leichten Nutzfahrzeugen führen dazu, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen auch im Basisszenario leicht (um etwa 27.000 Tonnen) zurückgehen.



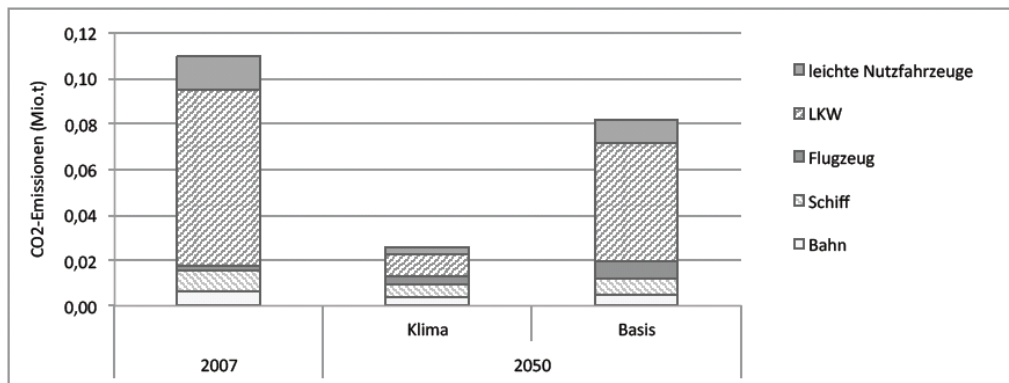


Abbildung 40 CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gütertransport nach Transportmittel im Klimaschutz- und Basisszenario; eigene Berechnung

## 5.2 Strom- und Fernwärmeerzeugung

### 5.2.1.1 Szenarioannahmen

#### *Ausbau fossiler Kraftwerke*

Ohne eine grundlegende Veränderung der Energieversorgungsstruktur ist das CO<sub>2</sub>-Minderungsziel nicht zu erreichen. Um eine realistische Modellierung der Szenarien zu gewährleisten, werden als Grundlage für die Annahmen zur Veränderung der Energieerzeugung im Strom- und Wärmebereich in erster Linie die Planungen der Stadtwerke Düsseldorf herangezogen.

Für die fossile Energieerzeugung wird in den kommenden Jahrzehnten der wesentliche Treiber der Kraftwerksneubau am Standort Lausward sein. Die Stadtwerke planen hier für das Jahr 2016, einen GuD-Kraftwerksblock mit einer Leistung von 420 MW<sub>el</sub> in Betrieb zu nehmen.

Nach Inbetriebnahme des Kraftwerks stehen zwei Optionen zur Verfügung. Um die für das Klimaschutzenszenario beste Variante auszuwählen, werden die beiden Optionen im Folgenden gegenübergestellt. Eine Steigerung des Fernwärmeabsatzes um 25% wird in beiden Varianten angestrebt (siehe Abschnitt 4.1). Zum Vergleich wird zusätzlich dargestellt, wie sich die wesentlichen Kenngrößen (Energieerzeugung und gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionen) entwickeln, sollte das Kraftwerk nicht gebaut werden.

Fall 1:

- Inbetriebnahme von Block F zwischen 2015 und 2020

Fall 2:

- Inbetriebnahme von Block F zwischen 2015 und 2020
- Außerbetriebnahme der restlichen Kraftwerke in der Lausward zwischen 2015 und 2020

Fall 3:

- Block F wird nicht gebaut

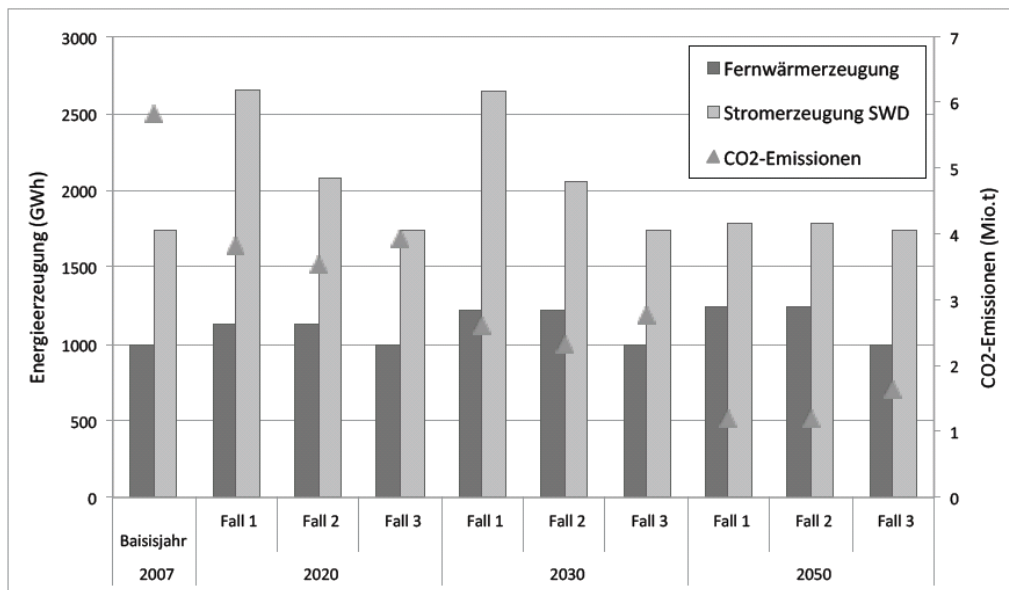


Abbildung 41 Energieerzeugung<sup>22</sup> und (gesamte) CO<sub>2</sub>-Emissionen bei unterschiedlichen Energieerzeugungsstrategien der Stadtwerke Düsseldorf; eigene Berechnung

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass in Fall 2 die Gesamtemissionen in Düsseldorf im Jahr 2020 6% und im Jahr 2030 10% unter den Emissionen in Fall 1 liegen. Da bis 2050 auch in Fall 2 die restlichen Kraftwerksblöcke vom Netz gehen, liegen die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu diesem Zeitpunkt auf gleichem Niveau. Insgesamt zeigen sich zudem die positiven Auswirkungen hinsichtlich einer Erreichung der Klimaschutzziele durch den Bau des neuen Gaskraftwerks in der Lausward sowie einer Steigerung des Fernwärmeabsatzes. Ohne die Durchführung dieser Vorhaben lägen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2050 bei etwa 2,7 Tonnen pro Einwohner.

Entsprechend den Ergebnissen dieser Analyse wird für das Klimaschuttszenario die Annahme von Fall 2 zugrunde gelegt. Für das Basisszenario wird von einer Entwicklung entsprechend Fall 1 ausgegangen. Möglich wäre auch eine Teillösung. Die Kraftwerkskapazitäten der übrigen Kraftwerke könnten weiter verfügbar gehalten und eingesetzt werden, um zusätzliche Dienstleistungen im Energiesystem zu erbringen. Gaskraftwerke eignen sich besonders gut, aufgrund ihrer Flexibilität bei der Stromerzeugung, die fluktuierende Einspeisung aus erneuerbaren Energien auszugleichen. Aufgrund vieler Unwägbarkeiten kann dieser Fall nicht näher betrachtet werden.

### *Ausbau erneuerbarer Energien*

Die fossile Energieerzeugung unter Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung wird in Ballungsgebieten wie der Stadt Düsseldorf auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Bei ambitionierten Zielsetzungen, wie einer klimaneutralen Stadt im Jahr 2050, werden große Anteile CO<sub>2</sub>-frei erzeugter Energie jedoch unumgänglich sein.

<sup>22</sup> Die in der Abbildung ausgewiesene Strom- und Fernwärmeerzeugung bezieht sich auf den gesamten Kraftwerkspark der SWD-AG.

Um diese Anteile zu erzielen, bieten sich auf Düsseldorfer Stadtgebiet Möglichkeiten, die jedoch nicht ausreichend sein werden, um die erforderlichen Energiemengen zu erzeugen. Die Produktion klimaneutraler Energie außerhalb der Stadtgrenzen muss daher in den Blick genommen werden. Die folgenden Ausführungen schätzen zuerst die Potenziale auf Düsseldorfer Stadtgebiet ab und zeigen darauf aufbauend, welche darüber hinausgehenden Möglichkeiten sich bieten.

Während es im Basisszenario nur zu einem moderaten Ausbau erneuerbarer Energien kommt, wird für das Klimaschuttszenario angenommen, dass die Potenziale für Solarthermie und Photovoltaik im Düsseldorfer Stadtgebiet in den kommenden Jahrzehnten weitestgehend erschlossen werden. Nach Angaben des Umweltamts der Stadt Düsseldorf beträgt die geeignete Dachfläche 12 km<sup>2</sup> (Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011b). Um den Ausbau von Solarthermie und Photovoltaik in dieser Größenordnung zu gewährleisten, wird eine Unterstützung seitens der Stadt Düsseldorf vorausgesetzt. Der Flächenbedarf pro installierter Kilowatt Peak-Leistung liegt näherungsweise bei ca. 10 m<sup>2</sup> im Fall der Photovoltaik (vgl. ecovis 2011), bzw. bei ca. 2 m<sup>2</sup> bei solarer Warmwasserbereitung (vgl. Bajric, E. et al 2011). Die globale Einstrahlung liegt in Düsseldorf bei etwa 1.090 kWh/m<sup>2</sup>/a auf einer zu 35° geneigten nach Süden gerichteten Fläche (PVGIS 2011). Bei vollständiger Ausschöpfung der Potentiale könnten etwa 1.000 GWh Strom oder 5.400 GWh Wärme erzeugt werden.

Die angenommenen Potenzialausschöpfungen im Bereich der Solarenergie können als ambitioniert angesehen werden, dennoch verbleibt im Klimaschuttszenario ein nicht unerheblicher Restbedarf an CO<sub>2</sub>-frei erzeugter (v.a. elektrischer) Energie. Als Quellen bieten sich Windenergie und Biomassenutzung an. Beiden Quellen werden im Stadtgebiet zur Zeit nur geringe bis gar keine Einsatzmöglichkeiten zugesprochen:

- Das Potenzial für Windenergie wird im Düsseldorfer Stadtgebiet als vergleichsweise gering eingestuft, vor allem im Bereich großer Anlagen (Umweltamt Düsseldorf 04/2011). Dementsprechend niedrig wird ihr Beitrag zur zukünftigen Energieerzeugung angesetzt.
- Auch die Möglichkeiten zur Biomasseerzeugung sind im Stadtgebiet eingeschränkt. Theoretisch bieten sich verschiedene Optionen. Zum einen ist denkbar, dass von Seiten der Stadtwerke eine gezielte Biomasse-Strategie aufgesetzt wird, die darauf abzielt, alle anfallenden biogenen Reststoffe (Grünschnitt, Haushaltsabfälle, gewerbliche Abfälle, Klärschlamm usw.) zu sammeln und energetisch zu verwerten. Selbst wenn man davon ausgeht, dass theoretisch pro Einwohner und Jahr rund 200 Kilogramm biogener Abfall aus den genannten Quellen anfällt, entspricht dieses in Düsseldorf einer Abfallmenge von etwa 100.000 Tonnen, die sich energetisch nutzen ließe. Die tatsächlichen, technisch realisierbaren Mengen dürften deutlich niedriger ausfallen – dementsprechend gering ist der Beitrag zur zukünftigen Energieerzeugung, der sich hier erzielen lässt.

- Ein weiterer Beitrag könnte sich aus der landwirtschaftlichen Produktion von Energiepflanzen ergeben. Rund 20 Prozent der Bodenfläche der Stadt Düsseldorf fallen in den Bereich landwirtschaftlicher Flächen (Angaben von Destatis, Wald unberücksichtigt). Diese sind jedoch einer starken Nutzungskonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion ausgesetzt, sodass im Rahmen der hier vorliegenden Analyse nicht von einer nennenswerten landwirtschaftlichen Energiepflanzenproduktion ausgegangen wird.

Im Klimaschutzszenario wurde davon ausgegangen, dass zusätzlich zur Solarenergieerzeugung etwa 20 Prozent des zukünftigen Stroms aus erneuerbaren Energien erzeugt werden – dieses entspricht etwa 700 GWh. Wenn, wie dargestellt, die Möglichkeiten auf dem Stadtgebiet begrenzt sind, bleibt der Import CO<sub>2</sub>-neutraler Energie. Hierfür gäbe es z.B. die folgenden Optionen.

- Eine vergleichsweise einfache Möglichkeit besteht darin, fossiles Erdgas mittel- bis langfristig durch Biomethan zu substituieren. Das GuD-Kraftwerk am Standort Lausward bietet sich dafür an. Vorteile dieser Option lägen zum einen darin, dass weiterhin die hohen Nutzungsgrade der KWK-Ablage zum Tragen kämen und mit der Abwärme aus der Stromerzeugung das Fernwärmenetz bedient würde und zum anderen in der möglichen Rolle von gasgefeuerten KWK-Anlagen als Puffer in einem deutschlandweit weitestgehend regenerativen Stromverbundsystem. Zusätzlich wäre auch der Import fester Biomasse denkbar.
- Wünschenswert ist auch eine Beteiligung der Stadtwerke Düsseldorf an regenerativen Stromerzeugungsanlagen außerhalb des Stadtgebietes. Hierzu wurde bereits eine Tochter – die Grünwerke GmbH – gegründet. Erzeugungsanlagen könnten Windparks oder solarer Strom über PV oder Solarthermie (im Mittelmeerraum) sein. Um die genannte Menge von 700 GWh zu erzeugen, wären ca. 100 moderne Onshore-Windkraftanlagen bzw. 50 Offshore-Anlagen notwendig.
- Im Rahmen der hier vorliegenden Studie kann in diesem Zusammenhang nur ansatzweise das Portfolio an Möglichkeiten aufgezeigt werden. Für die Ausrichtung des zukünftigen Energiesystems sind hier zentrale strategische Entscheidungen zu treffen, die auf deutlich detaillierteren Potenzialberechnungen aufsetzen müssen.

#### 5.2.1.2 Bilanzierungsmethodik

Importiertem Strom wird der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des deutschen Strommixes (siehe Abschnitt 3.2.6) zugrunde gelegt. Die Modellierung berücksichtigt weder die Möglichkeit des Imports von regenerativ erzeugtem Strom, noch den Strombezug von Ökostromanbietern. Es ist möglich, Investitionen in erneuerbare Energien außerhalb Düsseldorfs als regenerative Energieerzeugung für Düsseldorf zu bilanzieren, diese Vorgehensweise kann jedoch dazu führen, dass Maßnahmen innerhalb Düsseldorfs vernachlässigt werden. Gleiches gilt

für den Bezug von Ökostrom. Bei Ökostrom kommt erschwerend hinzu, dass der Zusatznutzen<sup>23</sup> oft nicht gegeben, oder schwer abschätzbar ist. Aufgrund der angesprochenen Problematik, wird die Möglichkeit von Investitionen in erneuerbare Energien außerhalb Düsseldorfs, ausschließlich als Alternative zur Stromerzeugung mit Biomasse vorgeschlagen.

### 5.2.1.3 Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten

Folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Kapazitäten zur regenerativen (Biomasse, Wind, PV, Biomasse-HKW Garath<sup>24</sup>) und fossilen (Kraftwerke Flingern, Lausward<sup>25</sup>) Stromerzeugung.

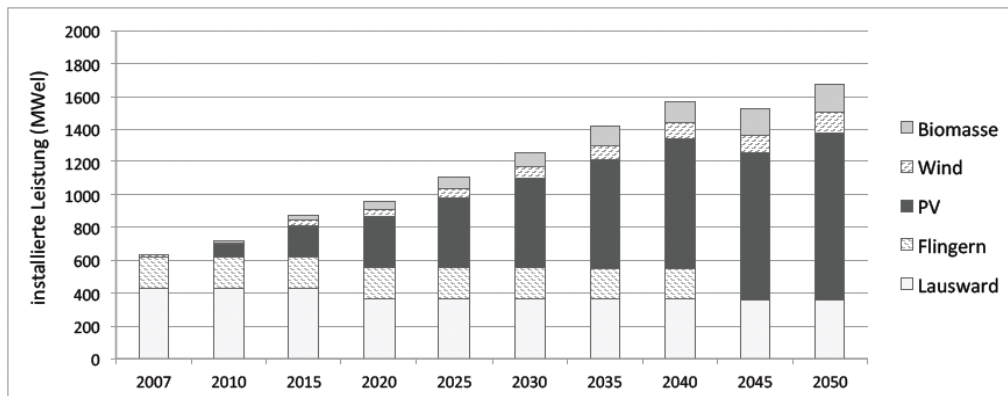


Abbildung 42 Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten Düsseldorfs im Klimaschutzszenario bis 2050. Das Kraftwerk Garath (3,5 MW<sub>el</sub>) ist in der Abbildung nicht dargestellt; eigene Berechnung

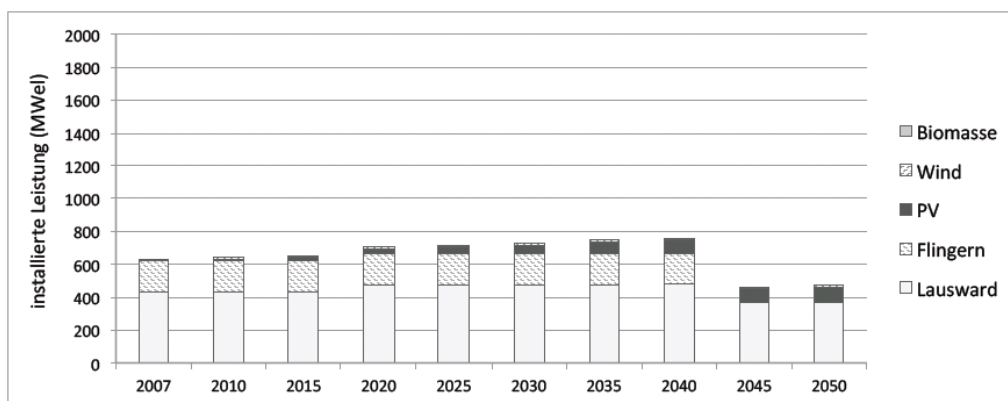


Abbildung 43 Entwicklung der Kraftwerkskapazitäten Düsseldorfs im Basisszenario bis 2050. Das Kraftwerk Garath (3,5 MW<sub>el</sub>) ist in der Abbildung nicht dargestellt; eigene Berechnung

<sup>23</sup> Damit ist die Investition in neue regenerative Stromerzeugungsanlagen gemeint, in die nicht ohnehin (auf Grundlage einer Förderung durch das Gesetz zum Vorrang erneuerbarer Energien) investiert worden wäre.

<sup>24</sup> Der fossil betriebene Heizkessel in Garath erzeugt ausschließlich Wärme. Das Biomasse-Heizkraftwerk arbeitet auf Basis regenerativer Rohstoffe (vgl. SWD 2011a).

<sup>25</sup> In den Kraftwerken in der Lausward und Garath werden Erdgas, sowie geringe Mengen Heizöl eingesetzt.

Die Abbildung zeigt auch den deutlichen Anstieg der installierten Leistung am Kraftwerksstandort Lausward, der mit dem Neubau des GuD-Blocks verbunden ist. Der Modellierung liegt eine 40-jährige technische Lebensdauer der fossilen Kraftwerke zugrunde (SWD 2011b). Weiterhin wird angenommen, dass die Kraftwerke am Standort Garath nach Ablauf der technischen Lebensdauer erneuert werden. Dies ist nötig, um das Fernwärmenetz Garath weiterhin mit Fernwärme zu versorgen.

Im Folgenden wird vertiefend darauf eingegangen, welche Möglichkeiten dieser Kraftwerksneubau für die netzgebundene Wärmeversorgung bieten könnte. Die netzgebundene Wärmeversorgung ist ein wichtiger Baustein innerhalb des Klimaschutzszenarios.

#### *5.2.1.4 Veränderung der Energieerzeugung*

Das neue GuD-Kraftwerk am Standort Lausward und der Ausbau erneuerbarer Energien führen dazu, dass Düsseldorf im Jahre 2030 (rein bilanziell) keinen Strom mehr importieren muss. In den darauffolgenden Jahren wird in Düsseldorf mehr Strom produziert als benötigt. Da der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des in Düsseldorf erzeugten Stroms unter dem bundesweiten Durchschnitt liegt, und der exportierte Strom diesen weniger klimafreundlichen Strom verdrängt, können Düsseldorf im entsprechenden Maße CO<sub>2</sub>-Einsparungen gutgeschrieben werden.

Das Kraftwerk Flingern, sowie Block A und ein Heizkessel am Standort Lausward werden zwischen 2040 und 2045 stillgelegt, sodass sie in den darauffolgenden Jahren nicht mehr zur Stromerzeugung bereitstehen. Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung in Düsseldorf steigt bis zum Jahr 2050 auf knapp 50 Prozent.

#### *5.2.1.5 Resultierende CO<sub>2</sub>-Emissionen*

Im Klimaschutzszenario sinken die CO<sub>2</sub>-Emissionen in diesem Sektor um 80% bis 2050. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Stromimport, Eigenerzeugung sowie Gutschriften für Export) sind im Folgenden dargestellt. Düsseldorf anzurechnende Emissionen ergeben sich über die Summe aus Eigenerzeugung und Import bzw. Gutschriften für Export (negative CO<sub>2</sub>-Emissionen).

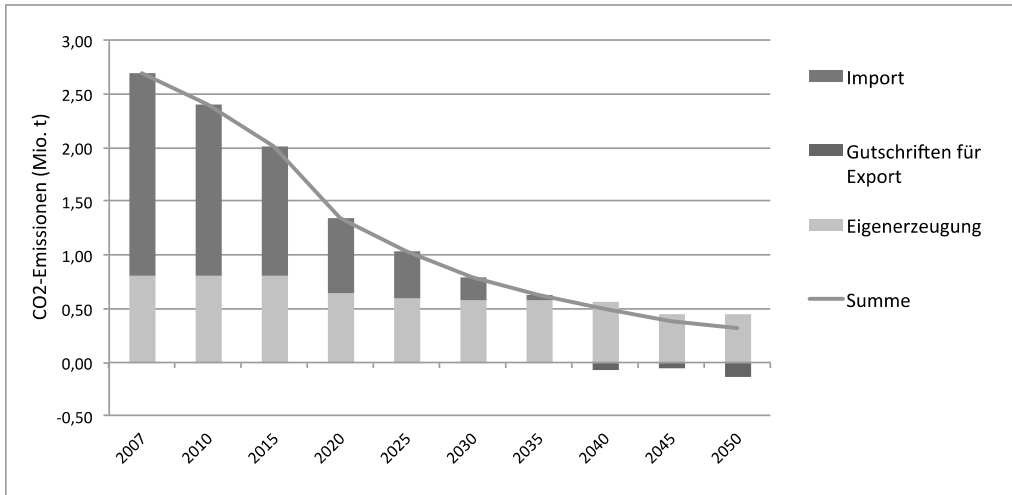


Abbildung 44 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Strom- und Fernwärmeerzeugung im Klimaschutzszenario; eigene Berechnung

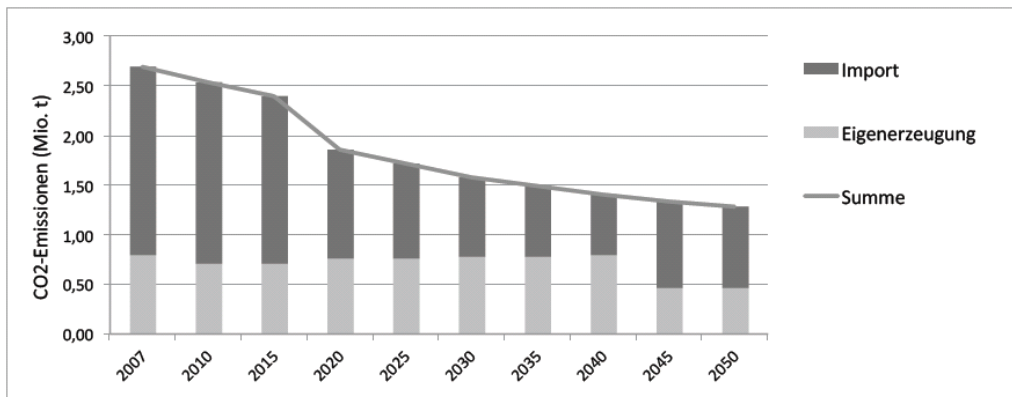


Abbildung 45 CO<sub>2</sub>-Emissionen der Strom- und Fernwärmeerzeugung im Basisszenario; eigene Berechnung

## 6 Emissionsminderungsbeiträge im Klimaschutzscenario

Bei einer Analyse der CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungsbeiträge der einzelnen dem Klimaschutzscenario zugrunde liegenden Maßnahmen<sup>26</sup> zeigt sich folgendes Bild.

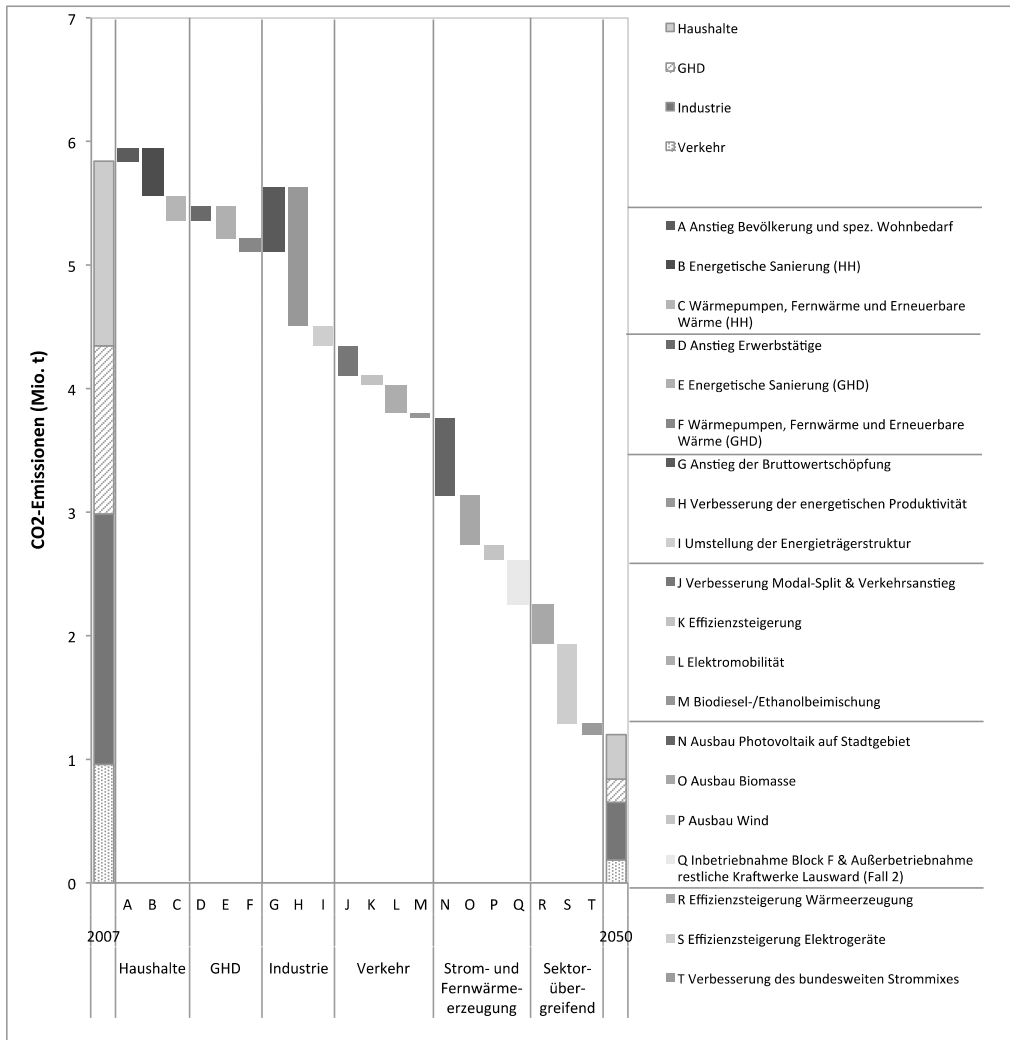


Abbildung 46 Emissionsminderungsbeiträge im Klimaschutzscenario nach zugrundeliegenden Maßnahmen, UWS = Strom- und Fernwärmeerzeugung; eigene Berechnung

Die Abbildung zeigt die 14 wichtigsten Kernstrategien zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen Düsseldorfs von heute ca. 5,8 auf 1,2 Mio. Tonnen bis zum Jahr 2050. Außerdem wird nochmals die hohe Bedeutung der Kraftwerke, d.h. des Stromeinsatzes für die Emissionsbilanz deutlich.

Entsprechend trägt der Bereich der Strom- und Fernwärmeerzeugung auch signifikant zu den Emissionsminderungen im Klimaschutzscenario bei. Maßnahme zur Minderung dieses Emissionsbereichs ist zunächst eine gesteigerte

<sup>26</sup> Abbildung 52 auf Seite 87 zeigt die Emissionsminderungsbeiträge unterteilt nach energetischer Sanierung, nachhaltiger Energieerzeugung und Energieeffizienz. Anhang 6 enthält zusätzlich eine größere Darstellung von Abbildung 46.



Energieeffizienz elektrischer Geräte und Anlagen. Durch den Neubau des Blocks F in der Lausward, der im Klimaschutzszenario die älteren Kraftwerksblöcke weitgehend ersetzt, können die Emissionen ebenfalls deutlich vermindert werden – da dieser Block aber weiterhin mit Erdgas, d.h. fossil, betrieben wird, stellt er auf der anderen Seite aber im Jahr 2050 die mit Abstand größte verbliebene Emissionsquelle dar. Hinzu kommen der Ausbau der Anlagen für Photovoltaik, Biomasse und in geringerem Umfang für Windkraft auf dem Stadtgebiet.

Im Verkehrssektor können die Emissionen vor allem durch effizientere Fahrzeuge verringert werden. Hinzu kommen die verstärkte Nutzung des ÖPNV sowie der verstärkte Ausbau alternativer Kraftstoffe bzw. Antriebsarten.

In den Haushalten wie auch im GHD-Sektor sind (neben der Stromeinsparung) drei wesentliche Strategien vorhanden: Die forcierte Wärmedämmung der Gebäude, Verbesserung der Heizungstechnik und die Umstellung der eingesetzten Energieträger, vor allem von Erdgas hin zu Fernwärme, Strom in Wärmepumpen und Biomasse.

In der Industrie schließlich liegen die Minderungspotenziale vor allem in der Steigerung der energetischen Produktivität, d.h. der Verringerung des Energieeinsatzes pro Einheit Bruttowertschöpfung, was durch effizientere Geräte und Anlagen, aber auch durch organisatorische Verbesserungen oder strukturelle Änderungen im Produktionsportfolio erreicht werden kann. Hinzu kommt eine Veränderung der Energieträgerstruktur, hin zu Biomasse, Solar- und Fernwärme.

Die folgende Tabelle stellt noch einmal dar, welche CO<sub>2</sub>-Minderungen sich in den einzelnen Sektoren bis zum Jahr 2050 erreichen lassen, und stellt dem die im Basisszenario ohnehin zu erwartenden Trends entgegen.

Tabelle 10 Minderung der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 im Basis- und Klimaschutzszenario im Vergleich zum Jahr 2007; eigene Berechnung

	2007	Klimaschutz		Basis	
Haushalte	0,93 Mio. t	-74%	0,24 Mio. t	-14%	0,80 Mio. t
GHD	0,48 Mio.t	-92%	0,04 Mio. t	-15%	0,40 Mio. t
Industrie	0,66 Mio.t	-63%	0,25 Mio. t	-7%	0,61 Mio. t
Verkehr	0,92 Mio.t	-84%	0,14 Mio. t	-43%	0,52 Mio. t
Strom- und Fernwärmeerzeugung	2,85 Mio.t	-80%	0,56 Mio. t	-54%	1,33 Mio. t
<b>Insgesamt</b>	<b>5,84 Mio. t</b>	<b>-79%</b>	<b>1,23 Mio. t</b>	<b>-37%</b>	<b>3,67 Mio. t</b>
Pro Kopf	10 t		2 t		6,1 t

Es wird deutlich, dass die energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen Düsseldorfs im Klimaschutzszenario bis 2050 um knapp 80% auf dann nur noch 2 t pro Kopf

zurückgehen. Dies bedeutet eine deutliche Beschleunigung gegenüber dem Trend im Basisszenario, in dem die Emissionen lediglich auf 6,1 t pro Einwohner sinken. Das bedeutet, dass mit den bisher getroffenen Klimaschutzmaßnahmen ein richtiger Weg eingeschlagen ist, den es in Zukunft jedoch – in allen Sektoren – deutlich zu forcieren gilt.

Ansatzpunkte für diese Forcierung liegen dabei insbesondere in einer integrierenden Strategie aus energetischer Gebäudesanierung und klimafreundlichen Wärmeversorgungsoptionen für den Neubau und den Gebäudebestand. Es wurde dargelegt, dass ein wichtiger Schritt in Richtung einer derartigen Strategie die detaillierte Analyse des energetischen Zustandes der Gebäude ist. Eine wichtige Grundlage dafür ist das Düsseldorfer Wärmekataster, das für jeden der 2.346 Baublöcke einen ersten Überblick über den energetischen Standard gibt.

Aufbauend auf dieser Erfassung der Gebäudestruktur gilt es, Sanierungsmöglichkeiten und Versorgungsvarianten abzugleichen. In den Detailanalysen zum Klimaschutzszenario wurde herausgestellt, dass erstens in großen zusammenhängenden denkmalgeschützten Bereichen der Einsatz von Fernwärme insbesondere dann sinnvoll sein kann, wenn Maßnahmen zur ambitionierten energetischen Sanierung der Gebäude nicht bzw. nicht so leicht möglich sind. Es wurde herausgearbeitet, dass vor allem im Bereich Oberkassel Möglichkeiten bestehen, eine solche integrierende Vorgehensweise umzusetzen. Seitens der Stadtwerke wird in unmittelbarer Nähe zu einem denkmalgeschützten Stadtbereich der Aufbau eines Wärmenetzes geplant, mit dem Neubau eines Kraftwerksblocks am Standort Lausward stehen entsprechende Wärmemengen bereit, die Nachfrage zu decken. Weitere Potenziale zur Fernwärmeversorgung werden darüber hinaus im Bereich der Altstadt gesehen. Bisher werden hier vor allem gewerbliche Kunden mit Wärme versorgt. Arondierungs- und Nachverdichtungsmaßnahmen könnten hier auch Wohngebäude erschließen, die bisher kaum mit Fernwärme versorgt sind.

Das im Szenario angenommene Ausbaupotenzial der Fernwärme liegt bei etwa 96 GWh in Bestandsgebäuden innerhalb der Denkmalbereichssatzung. Der Fernwärmeabsatz im Haushaltssektor steigt im Klimaschutzszenario insgesamt um 220 GWh.

Ein weiteres strategisches Element, auf das in der Untersuchung vertiefend eingegangen wurde, ist der Einsatz von Grundwasser-Wärmepumpen – insbesondere im ambitioniert sanierten Gebäudebestand. Die Bedingungen für den Einsatz von Grundwasser-Wärmepumpen in Düsseldorf sind aufgrund des vergleichsweise hohen Temperaturniveaus und der oberflächennahen Lage des Grundwassers günstig. Die Technologie könnte daher zu einer relevanten Säule in der zukünftigen Energieversorgung werden – unter Berücksichtigung der in Abschnitt 4.2 gemachten Einschränkungen. Voraussetzung für einen sinnvollen Einsatz von Wärmepumpen im Gebäudebestand ist die ambitionierte energetische Sanierung der Gebäude und die Nutzung von Niedertemperaturheizsystemen. Hierfür müssen detaillierte Analysen der Gebäudestrukturen aufzeigen, welcher Teil des theoretischen Potenzials sich tatsächlich umsetzen lässt. Hier

wird angenommen, dass 60% der theoretischen Potentiale realisiert werden können (siehe Abschnitt 4.2).

Eine weitere Erkenntnis der Analysen ist, dass der Industrie in Düsseldorf eine besondere Bedeutung beim Klimaschutz zukommt. Aktuell trägt die Industrie in der Stadt deutlich zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen bei und auch in den Berechnungen des Klimaschutzszenarios für 2050 liegt der Beitrag des Sektors noch immer bei fast 40 Prozent, einzelne Branchen liefern hier besonders große Anteile. Hieraus ergibt sich ein Ansatz für vertiefende Analysen auch unter Einbezug der relevanten Stakeholder. Diese sollten zum Ziel haben, auch für die Industrie eine gezielte Düsseldorf spezifische Klimaschutzstrategie abzuleiten. Inzwischen wurde im Masterplan Industrie ein Dialog in Gang gesetzt und hierzu die ersten Schritte festgelegt. In den entsprechenden Ausführungen war bereits darauf verwiesen worden, dass zum Beispiel bei den Szenarioberechnungen zum branchenspezifischen Energieverbrauch auf landesbezogene Daten zurückgegriffen werden musste. Hier wäre ein nächster Analyseschritt, diese Daten mit den lokalen Gegebenheiten abzugleichen.

Schließlich wurden im Klimaschutzszenario keine kommunalen Maßnahmen außerhalb von Düsseldorf berücksichtigt. Über eine aktive Strombeschaffungsstrategie der Stadtwerke könnten hier ggf. weitere Emissionsminderungspotenziale erschlossen werden, die in dieser Studie zunächst außen vor gelassen wurden.

## 7 Handlungsempfehlungen und weiterer Prozess

Die vorliegende Szenarioanalyse für Düsseldorf bis zum Jahr 2050 ist ein weiterer Schritt im Rahmen der Anforderungen einer langfristig ausgerichteten Klimaschutzpolitik.

Dennoch können bereits auf dieser Basis erste grobe Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, die sich zum einen auf inhaltliche Schwerpunkte einer klimaverträglichen Entwicklung richten und zum anderen Hinweise zur weiteren Ausgestaltung des Planungsprozesses geben.

### 7.1 Inhaltliche Handlungsempfehlungen

Maßgeblich für die Berechnungen im Klimaschutzszenario der vorliegenden Studie war die Prüfung, wie sich ein, aus internationalen Vorgaben (2-Grad-Ziel) abgeleitetes, Klimaschutzziel in Düsseldorf umsetzen lässt.

Die Szenarioanalysen der vorliegenden Studie haben verdeutlicht, **dass ein ambitionierter Klimaschutzpfad eingeschlagen werden muss**, um eine klimaneutrale Stadtentwicklung in Düsseldorf bis zum Jahr 2050 zu realisieren. Die bisher getroffenen Maßnahmen (wie im Basisszenario dargestellt) sind aus der langfristigen Perspektive eines notwendigerweise weitgehenden Ausstiegs aus der Nutzung fossiler Energiequellen noch nicht ausreichend und müssen fortentwickelt werden. Insbesondere in den folgenden Bereichen konnte Handlungsbedarf herausgearbeitet werden:

- Neben der Umgestaltung der Stromerzeugung ist in den vorliegenden Ausführungen besonderes Augenmerk auf die Wärmeerzeugung gelegt worden, denn eine **Strategieentwicklung „Wärmeversorgung Düsseldorf 2050“**, aufbauend auf dem bestehenden Wärmekataster, wird als zentraler Baustein einer klimaneutralen Stadtentwicklung angesehen.
  - Es konnte aufgezeigt werden, dass in Düsseldorf gute Bedingungen für eine **Ausweitung der Fernwärmeversorgung** bestehen. Die Ausbauziele der Stadtwerke korrespondieren gut mit Wärmesenken in räumlicher Nähe zu bestehenden Netzen. Vor allem in denkmalgeschützten Stadtgebieten, in denen sich ambitionierte Sanierungsstrategien nicht ohne weiteres umsetzen lassen, bietet sich Potenzial. Darüber hinaus bieten sich aufgrund der vorherrschenden Grundwassersituation ggf. **überdurchschnittliche Einsatzmöglichkeiten für Grundwasser-Wärmepumpen** – in Abwägung der mit einem großflächigen Einsatz verbundenen Risiken sollte auch der Einsatz von Sole-Wärmepumpen geprüft werden.
  - Die Wärmestrategie sollte blockscharf Vorranggebiete für die unterschiedlichen Versorgungsoptionen (vor allem Fernwärme und Wärmepumpen als wichtige Elemente einer Klimaschutzstrategie) ausweisen und zudem aufzeigen, in welchen Berei-

chen ambitionierte Sanierungsstrategien greifen können bzw. wo hierzu Alternativen entwickelt werden müssen.

- Eine wichtige Grundlage einer solchen Strategie ist die detaillierte Analyse der Einsatzmöglichkeiten unterschiedlicher Versorgungsoptionen vor dem Hintergrund der baulich-strukturellen Begebenheiten. Der Erfolg einer derartigen Strategie hängt wesentlich von der frühzeitigen Beteiligung aller relevanten Stakeholder (vom Energieerzeuger bis zum Endverbraucher) ab.
- Die **Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen** sollte ebenfalls verstärkt in den Blick genommen werden. Zielsetzungen für den Ausbau der Photovoltaik sind bereits getroffen, für den Bereich der Biomassenutzung gilt es, geeignete Strategien abzuleiten.
  - Zu prüfen ist, welche Potenziale sich auf Düsseldorfer Stadtgebiet vor allem im Bereich der Abfallverwertung bieten und welche Rolle die Nutzung von nicht in Düsseldorf anfallender Biomasse in der Langfriststrategie spielen sollte.
  - Als Alternativen zur (im Klimaschutzszenario angenommenen) landwirtschaftlichen Biomasseproduktion z.B. zur Vermeidung von Flächenkonkurrenzen (mit Nahrungsmittelproduktion, Naturschutz etc.) müssten ggf. geeignete Kompensationsstrategien entwickelt werden. Als alternative Strategien kämen z.B. der mittelfristige Einsatz von Biomethan in bestehenden Kraftwerken oder die Beteiligung an Windparks und anderen Erzeugungsanlagen außerhalb des Stadtgebietes in Frage.
  - Die Studie zeigt, dass der Energiebedarf eines klimaneutralen Düsseldorfs auch langfristig nicht autark auf der Stadtfläche durch erneuerbare Energien gedeckt werden kann. Dies ist im Sinne der bestehenden Arbeitsteilung zwischen städtischen Ballungsräumen und den sie umgebenden Regionen auch nicht sinnvoll. Es sollte von daher ein intensiver Austausch in der Region bezüglich einer nachhaltigen Energieversorgung angestrebt werden. Als Themenfelder bieten sich hierbei der Import von regenerativen Stroms oder Biogas (zum Beispiel Strom aus Windkraftanlagen oder Biogas aus nachhaltiger Biomasse) und der Export von Strom aus dem hocheffizienten Gas- und Dampfkraftwerks an der Lausward an.

- Die Modellierung entlang der Verbrauchssektoren offenbart **Hot Spots**, d.h. Sektoren mit hoher Relevanz für Emissionen und Klimaschutzmaßnahmen, die sich für die zukünftige Strategieentwicklung anbieten.
  - Zum einen verdeutlichen die Analysen, dass dem Industriesektor eine wichtige Rolle auf dem Weg zu einer klimaneutralen Stadtentwicklung zukommt. Hier gilt es die Untersuchungen zu präzisieren – die bisherigen Berechnungen berücksichtigen die spezifischen Energieverbrauchsstrukturen der Düsseldorfer Industrie nur in geringem Maß. Dieses sollte deutlich detaillierter erfolgen, um auf dieser Grundlage geeignete Handlungsstrategien abzuleiten. Der frühzeitige Einbezug relevanter Akteure ist hierbei zu empfehlen.
  - Zum anderen spiegelt sich in den aktuellen Emissionsstrukturen die Bedeutung der Stadt als hochrangiger Verwaltungs- und Dienstleistungsstandort wieder. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll für diesen Sektor, d.h. sowohl für private als auch für öffentliche Dienstleistungsstandorte, gezielte Strategien zu entwickeln. Hier können mit Blick auf die spezifischen Akteursstrukturen potenziell vorbildliche Umsetzungsstrategien entwickelt werden.

## 7.2 Strukturelle Empfehlungen für die Aufstellung einer langfristigen Klimaschutzstrategie

In der Einführung des vorliegenden Gutachtens wurde bereits dargestellt, dass die hier vorgenommenen quantitativen **Szenarioberechnungen im Rahmen für die langfristig angelegte Gesamtstrategie** auf dem Weg zur Klimaneutralität im Jahr 2050 sein sollten, auf deren Basis nun politische Entscheidungen getroffen werden können. Sie stellen eine wichtige Grundlage dar und liefern **Orientierungswissen** auf verschiedenen Ebenen.

- Zum einen verdeutlichen sie, dass die bisher getroffenen mittelfristig ausgerichteten Maßnahmen eine richtige Richtung einschlagen, jedoch nicht ausreichend sind um langfristig eine klimaneutrale Entwicklung zu gewährleisten.
- Weiterhin lassen die Szenarioberechnungen erkennen, in welchen Bereichen gezielt angesetzt werden sollte, um die gewünschte langfristige Entwicklung zu erreichen. Die besondere Bedeutung von Industrie und GHD wurde bereits angesprochen – für die weitere Ausarbeitung einer umfassenden Klimaschutzstrategie wird empfohlen, relevante Akteure frühzeitig, beispielsweise im Rahmen von Stakeholder-Foren, zu involvieren.

- Die im Klimaschutzszenario angelegte Entwicklung bringt einen Strukturwandelprozess mit sich, der Chancen und Risiken birgt. Durch einen transparenten Kommunikationsprozess lässt sich gewährleisten, dass die Veränderungen von möglichst vielen betroffenen Akteuren mit getragen werden.

Als nächster konkreter Schritt zur Verwertung der vorliegenden Szenarioergebnisse empfiehlt sich das Aufsetzen einer **Roadmap mit entsprechenden Maßnahmenpaketen**. Diese legt dar, in welchem zeitlichen Rahmen und mithilfe welcher Instrumente sich die aufgezeigten Technologiestrategien implementieren lassen. Sie entwirft einen Fahrplan, der es ermöglicht, die langfristige Entwicklung in planbare Einzelschritte zu gliedern und sollte regelmäßig überprüft und angepasst werden. Auch hier gilt die Empfehlung, die Ausarbeitung einer solchen Roadmap unter Einbezug der relevanten Stakeholder vorzunehmen.

## 8 Literatur

- Amt für Statistik und Wahlen Landeshauptstadt Düsseldorf, 2009: Demographiebericht Düsseldorf
- Amt für Verkehrsmanagement Landeshauptstadt Düsseldorf, 2003: Verkehrsentwicklungsplan Landeshauptstadt Düsseldorf
- Bajric, E. et al, 2011: Solarthermie & Geothermie, Präsentation
- BWP (Bundesverband Wärmepumpe), 2009: Branchenstudie 2009 - Szenarien und politische Handlungsempfehlungen, S.16).
- Brundtland, Gro Harlem, 2007: Rede auf dem Gleneagles Dialogue - 3rd Ministerial Conference. Berlin, 10. September 2007, Hg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
- Ecovis, 2011: Leitfaden Photovoltaik
- EnBW et al, 2009: Energiezukunft 2050 - Szenario 3
- Heide und Eberhard, 2009: Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz 2007
- IDM, 2001: Bestimmung der Jahresarbeitszahl und Förderfähigkeit von Wärmepumpen, [www.idm-energie.com](http://www.idm-energie.com) (05.06.2011)
- ISE, 2011: Wärmepumpen Effizienz - Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb
- it.nrw, 2011: Energiebilanz Nordrhein Westfalen 2007 Tabelle B in Terajoule
- IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- PVGIS (Photovoltaik Geographical Information System), 2011: Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php> (20.03.2011)
- prognos, 2009: WWF Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, Endbericht
- prognos, 2010: Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, Projekt Nr. 12/10
- Stadtplanungsamt Landeshauptstadt Düsseldorf, 2008: Stadtentwicklungskonzept Düsseldorf 2020<sup>+</sup> - Wachstum fördern, Zukunft gestalten
- Statistisches Bundesamt, 2010: Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung Inlandsproduktrechnung Detaillierte Jahresergebnisse, Fachserie 18 Reihe 1.4, Wiesbaden 2010
- Steinwigger, T., 2010: Konzeptstudie zur nachhaltigen Energie-Nahversorgung Düsseldorf - Aufbau eines linksrheinischen Energieverbundes



SWD (Stadtwerke Düsseldorf), 2011a: Heizkraftwerk Garath, [www.swd-ag.de](http://www.swd-ag.de) (05.08.2011)

SWD (Stadtwerke Düsseldorf), 2011b: Expertenbefragung am 02.03.2011

SWD (Stadtwerke Düsseldorf), 2011c: Kraftwerksdaten Basis 2007

Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf, 2009: Klimabericht 2009 Die Schöpfung bewahren – Initiativen für den Klimaschutz in Düsseldorf

Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf, 2011a: Wärmekataster der Stadt Düsseldorf, Kartenmaterial

Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf, 2011b: Solarkataster der Stadt Düsseldorf

Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf, 2011c: Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach Wirtschaftsbereichen (2-Steller WZ08) in Düsseldorf 2009

UN Foundation, Club de Madrid, 2007: Framework for a Post-2012 Agreement on Climate Change. A Proposal of Global Leadership for Climate Action, 10. September 2007

UBA (Umweltbundesamt), 2010: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2010 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2008

UBA (Umweltbundesamt), 2011: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2009 und erste Schätzung 2010 im Vergleich zum Stromverbrauch, UBA-Berechnung auf Grundlage von Daten der Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (Veröffentlichung AGEB 2010/Energiebilanzen bis 2008) und des Statistischen Bundesamtes (Destatis 2009), FG I 2.5, Stand März 2011

WI (Wuppertal Institut), 2010: Modell HEAT

## 9 Anhang 1: Hintergrundinformationen zur Modellstruktur

Basis Jahr der Szenarien ist das Jahr 2007. Die Szenarioergebnisse werden für das Basis- sowie die Stützjahre ausgewiesen. Als Stützjahre werden die auch beim Klimabündnis verwendeten 5-Jahresperioden verwendet. Zielhorizont der Szenarien ist das Jahr 2050.

Grundlage für die Berechnung der Szenarien sind, neben eigenen Analysen des Wuppertal Instituts, zahlreiche Studien, Berichte und Statistikberichte. Im Einzelnen sind dies:

- Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz der Landeshauptstadt Düsseldorf, 2007
- Demographiebericht Düsseldorf, 2008
- Energiebericht 2010 - Energieeffizientes Planen und Bauen und Wohnen in Düsseldorf, 2010
- Klimabericht 2009 - Die Schöpfung bewahren - Initiativen für den Klimaschutz in Düsseldorf, 2009
- Das Energieprogramm 2020 - Die Zukunft der Düsseldorfer Energieversorgung, 2007
- Zahlenspiegel der Stadtwerke Düsseldorf AG, 2009
- VEP - Verkehrsentwicklungsplan Landeshauptstadt Düsseldorf, 2007
- Abfallwirtschaft und Klimaschutz, AWISTA Gesellschaft für Abfallwirtschaft und Stadtreinigung GmbH, 2009
- Nachhaltigkeitsbericht 2008 - Unsere Verantwortung, Rheinbahn AG 2020 "Unsere Signale Stehen auf Grün", 2008
- Nachhaltigkeit - Kennzahlen 2009 - kurz und knapp, , Rheinbahn AG 2020 "Unsere Signale Stehen auf Grün", 2008
- Daten und Fakten - Der Wirtschaftsstandort Düsseldorf in Zahlen, 2006
- Vorwort zu den Energiebilanzen für die Bundesrepublik Deutschland, 2008
- München 2058 – Wege in eine CO<sub>2</sub>-freie Zukunft, Wuppertal Institut, 2009
- Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung, 2010
- Wohnungsmärkte im Wandel, BBSR, 2010
- WWF Modell Deutschland - Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken, 2009

Die Entwicklung des Klimaschutzszenarios Düsseldorf 2050 erfolgt untergliedert nach den Verbrauchssektoren

- Haushalte
- GHD
- Verkehr
- Industrie

sowie der

- Strom- und Fernwärmeerzeugung

Die folgenden Ausführungen legen für die einzelnen Sektoren die Struktur und den Aufbau der Modellierung dar.

## 9.1 Verbrauchssektoren

### 9.1.1 Haushalte

Aufgrund der guten Datenlage zum Endenergieverbrauch privater Haushalte aus der Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz der Landeshauptstadt Düsseldorf für das Jahr 2007 wird in diesem Sektor der top-down Ansatz zur Modellbildung genutzt. Entsprechend des Energieverbrauchs nach Anwendungsbereich erfolgt eine prozentuale Aufteilung der Energieträger in die Bereiche Raumwärme, Warmwasser & Prozesswärme sowie sonstiger Verbraucher (Beleuchtung, Haushaltsgeräte, Unterhaltungselektronik). Mit Hilfe von Wirkungsgraden in der Wärmeerzeugung (Brennwertkessel, Wärmepumpen etc.) erfolgt eine Differenzierung nach Nutz- und Endenergieverbrauch. Möglichkeiten der Wärmeversorgung über Solarthermie- und Biomasse (z.B. Holzpellets) sind den Verbrauchssektoren (Haushalte, GHD, Industrie) zugeordnet. Dieser Ansatz wurde gewählt, da ihr Ausbau und Anteil an der Energieversorgung sich von Sektor zu Sektor unterscheidet und die Wärme vor Ort genutzt wird. Als weitere Möglichkeiten zur Wärmeerzeugung werden Elektroheizungen, Wärmepumpen (Strom, Erdgas), Brennwertkessel (Erdgas, Heizöl) sowie Öfen (Kohle, Holz) in Betracht gezogen. Die Aufteilung im GHD-Sektor erfolgt identisch. Neben einer Steigerung der Wirkungsgrade und einer Variierung der Energieträgerstruktur (z.B. durch Installation solarthermischer Anlagen) wird die Möglichkeit der energetischen Sanierung im Modell eingebunden. Diese wird über den Nutzenergiebedarf nach Sanierung [kWh/m<sup>2</sup>/a] und die energetische Sanierungsrate [% der Wohnfläche/a] modelliert. Die vertiefende Analyse von Wärmeversorgungsoptionen ermöglicht eine Spezifizierung der Modellannahmen mit Hilfe des Wärmekatasters (siehe Abschnitt 11).

### 9.1.2 GHD

Im Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) wurde, aufgrund der teilweise zusammengefassten Daten aus Industrie und GHD in der CO<sub>2</sub>-Bilanz 2007, ein "bottom-up" Ansatz für die Modellierung gewählt. Ausgehend von der Anzahl der Erwerbstätigen<sup>27</sup> (Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011c) und der beheizten Fläche pro Erwerbstätigen in den Wirtschaftszweigen (WI 2010, prognos 2009):

- Landwirtschaft/Gärtnerei,
- Baugewerbe,
- Handel,
- Industrielle Kleingewerbe Handwerk,
- Kreditinstitute Versicherungen,
- Öffentliche Verwaltung Sozialversicherung,
- Unterrichtswesen,
- Verkehr Nachrichtenübermittlung,
- Verteidigung und
- sonstige private Dienstleistungen

sowie dem spezifischen Nutzenergiebedarf pro Erwerbstätigen unterteilt nach den Anwendungsbereichen:

- Raumwärme (kWh/qm/a),
- Prozesswärme und Prozesskälte (kWh/ERW/a) sowie
- sonstiger Stromverbrauch (kWh/ERW/a) (eigene Berechnungen Wuppertal Institut, Modell Deutschland (prognos 2009))

ergibt sich der gesamte Nutzenergiebedarf des Sektors GHD. Der Raumwärmebedarf liegt bei 83 kWh/m<sup>2</sup>/a, der Prozesswärme- und Prozesskältebedarf bei 1.400 kWh/ERW/a (jeweils etwa 700 kWh/ERW/a, siehe Abschnitt 5.1.2.3) und der sonstige Stromverbrauch bei 3.300 kWh/ERW/a. Folgende Abbildung zeigt die beheizte Fläche pro Erwerbstätigen nach Branchen für das Jahr 2007.

---

<sup>27</sup> Dazu wurde die Anzahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der jeweiligen Wirtschaftsbereiche Düsseldorfs (des Jahres 2009) auf das Erwerbstätigenniveau von 2007 skaliert (Faktor: 1,3).

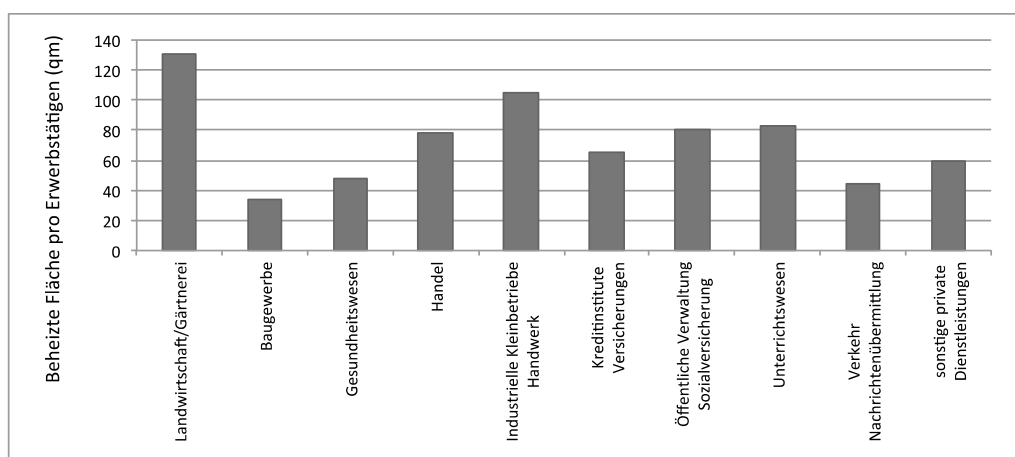


Abbildung 47 Beheizte Fläche pro Erwerbstätigen im Sektor GHD nach Branchen für das Jahr 2007; eigene Darstellung, WI 2010, prognos 2009

Die Anteile der einzelnen Energieträger zur Deckung des Verbrauchs sind dem Energiesystemmodell für Deutschland des Wuppertal Instituts entnommen. Mit Hilfe der Betrachtung von Wirkungsgraden und Entwicklung der Energieeffizienz (WI 2010) entsteht ein differenziertes Bild zum Endenergieverbrauch nach Branchen innerhalb des GHD, Anwendungsbereichen sowie eingesetzten Energieträgern.

Tabelle 11 Genutzte Datenebenen in der Modellierung des Sektors GHD; eigene Darstellung

Rubrik	2007	Datenebene
Gesamtzahl Erwerbstätige	417.900	Düsseldorf
Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte nach Wirtschaftsbereichen	317.000	Düsseldorf
Beheizte Fläche pro Erwerbstätigen (im ungewichteten Mittel)	73 m <sup>2</sup>	Deutschland
Prozesswärme/Prozesskälte und sonstiger Strombedarf pro Erwerbstätigen	1400 kWh	Deutschland
Anteile der Energieträger zur Deckung des Verbrauchs	siehe Abschnitt 5.1.2.2	Deutschland
Entwicklung der spezifischen CO <sub>2</sub> -Emissionen der verschiedenen Heiztechnologien	siehe Abschnitt 5.1.1.3	Deutschland und Düsseldorf

### 9.1.3 Industrie

Eine geeignete Methode, um Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz als auch Maßnahmen, die auf die Einsparung von Energie abzielen, im Industriesektor abzubilden, ist die Erfassung und Bewertung des Energieverbrauchs bezogen auf die Bruttowertschöpfung.

Die Aufteilung des Industriesektors in die einzelnen Wirtschaftszweige erfolgt entsprechend der Klassifikation der Ausgabe 1993 (WZ 93) und Ausgabe 2003 (WZ 2003) zur Gliederung der Energiebilanz für Deutschland:

- Gewinnung von Steinen und Erden, sonst. Bergbau
- Ernährung und Tabak
- Papiergewerbe
- Grundstoffchemie
- Sonstige chemische Industrie
- Gummi- und Kunststoffwaren
- Glas u. Keramik
- Verarbeitung von Steinen und Erden
- NE-Metalle, Gießereien (Eisen-, Leicht- und Buntmetallgießereien)
- Metallbearbeitung
- Maschinenbau
- Fahrzeugbau
- Sonstige Wirtschaftszweige

Mit Hilfe von Daten zur Bruttowertschöpfung pro Erwerbstätigen im Bundesdurchschnitt (VGR) (Statistisches Bundesamt 2010) und Angaben zu Erwerbstätigen in Düsseldorf innerhalb der einzelnen Branchen (Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011c) kann die Bruttowertschöpfung in den Branchen abgeschätzt werden. Aufgrund der Datenlage müssen einige Branchen wie folgt zusammengefasst werden:

- Grundstoffchemie und sonstige chemische Industrie
- Glas u. Keramik und Verarbeitung von Steinen und Erden
- NE-Metalle, Gießereien (Eisen-, Leicht- und Buntmetallgießereien) und Metallbearbeitung

Die Energieintensitäten (Energieverbrauch pro Bruttowertschöpfungen) werden über die Energiebilanz und Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung (VGR) für Deutschland bestimmt.

Auf Grundlage dieser Daten kann anschließend der Energiebedarf innerhalb der einzelnen Branchen abgeschätzt werden. Der Energiebedarf in den einzelnen Branchen wird anschließend noch entsprechend des nordrhein-westfälischen Durchschnitts auf die unterschiedlichen Energieträger verteilt. Im Ergebnis erhält man so eine Abschätzung z.B. über den Strombedarf im Fahrzeugbau oder Erdgasbedarf im Maschinenbau. In den Ausführungen zu den Szenarioannahmen wurde bereits dargelegt, dass sich Energiebedarf und eingesetzte Energieträger in den jeweiligen Branchen in Düsseldorf durchaus vom Landesdurchschnitt unterscheiden können. Hier besteht ein Ansatzpunkt für vertiefende Analysen, die ein exakteres Bild liefern können.

Tabelle 12 Genutzte Datenebenen in der Modellierung des Industriesektors; eigene Darstellung

Rubrik	2007	Datenebene
Bruttowertschöpfung	5150 Mio. EUR	Düsseldorf
Bruttowertschöpfung pro Beschäftigten (im ungewichteten Mittel)	71.000 EUR	Deutschland
Sozialversicherungspflichtige Beschäftigte nach Wirtschaftsbereichen	39.000	Düsseldorf
Anteile der Energieträger zur Deckung des Verbrauchs in den Wirtschaftszweigen	siehe Abschnitt 5.1.3.1	Nordrhein-Westfalen

#### 9.1.4 Verkehr

In einem ersten Modell für den Verkehrssektor wurde der Energieverbrauch dieses Sektors auf Grundlage von Daten zum Modal Split der Stadt Düsseldorf abgebildet. Aufgrund der Datenverfügbarkeit wurde dieser Ansatz verworfen. Der im Verkehrsentwicklungsplan der Landeshauptstadt Düsseldorf (Amt für Verkehrsmanagement Landeshauptstadt Düsseldorf 2003) bereitgestellte Modal Split bezieht sich auf die Anzahl der Wege im Personenverkehr. Neben diesen Daten wären zusätzliche Angaben zu Wegelängen und Anteilen der Antriebstechnologien nötig gewesen, die so nicht zur Verfügung standen.

Die daraufhin gewählte Modellierung basiert auf den in Düsseldorf gemeldeten Fahrzeugen sowie bundesweiten Durchschnittswerten für die Fahrleistung und den spezifischen Kraftstoffverbrauch.

Die bei der Verbrennung von Kraftstoffen entstehenden spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen mit steigendem Anteil von Biosprit und Ethanol am gesamten Kraftstoffbedarf zurück.

##### 9.1.4.1 Personentransport

Der Energiebedarf von Motorrädern, PKW und Bussen wird im Modell über die Anzahl gemeldeter Fahrzeuge, spezifische Kraftstoffverbräuche, spezifischer Fahrleistungen sowie dem Besetzungsgrad abgeschätzt. Der den Einwohnern Düsseldorfs zuzurechnende Energieverbrauch für die Nutzung von Straßen- und Stadtbahn, Eisenbahn (Nah- und Fernverkehr) sowie von Flugzeugen wird auf Grundlage bundesweiter Werte ermittelt. Die Modellierung berücksichtigt unterschiedliche Antriebstechnologien. Neben dem Einsatz der konventionellen Technologien, kann die Verwendung von Hybriden, Plug-in-Hybriden, reinen Elektrofahrzeugen sowie mit Erdgas, Flüssiggas und Wasserstoff betriebenen Fahrzeugen modelliert werden.

##### 9.1.4.2 Gütertransport und Nutzverkehr

Der Energiebedarf der Düsseldorfer LKW und leichten Nutzfahrzeugen wird mit Hilfe der Anzahl gemeldeter Fahrzeuge, spezifischem Kraftstoffverbrauch und spezifischer Fahrleistung ermittelt. Der Düsseldorf zuzurechnende Ener-

giebedarf zum Transport von Gütern mittels Eisenbahn, Schiff und Flugzeug muss auf Grundlage bundesweiter Werte ermittelt werden. Dazu wird zunächst die Bruttowertschöpfung der Düsseldorfer Industrie mit der gesamten deutschen Industrie ins Verhältnis gesetzt. Der so ermittelte Anteil wird mit der bundesweiten Transportleistung der genannten Transportmittel sowie den spezifischen Kraftstoffbedarfen multipliziert.

## 9.2 Strom- und Fernwärmeerzeugung

Die Modellierung der Energieerzeugung dient im Wesentlichen einer Abschätzung des anzusetzenden Emissionsfaktors für die Stromerzeugung. Die Entwicklung der prognostizierten Fernwärmeerzeugung basiert auf einer nachfrage-seitig gesteuerten Modellierung (siehe Abschnitt 10.1). Diese Vorgehensweise ist nötig, da der Ex- bzw. Import von Fernwärme nicht möglich ist.

Bei der Abschätzung der anzusetzenden CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für den Düsseldorfer Strommix ist sowohl die Eigenstromerzeugung (innerhalb Düsseldorfs) als auch die Fremdstromerzeugung zu berücksichtigen. Der innerhalb Düsseldorfs produzierte und ins Netz eingespeiste Strom kommt zum größten Teil aus den Kraftwerken Lausward und Flingern. Dezentral wird zudem Strom aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen eingespeist. Über Daten zum Brennstoffbedarf und erzeugter Strommenge wird der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für die Eigenerzeugung ermittelt. Für den importierten Strom wird der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des deutschen Strommix (siehe Abschnitt 3.1.6) zugrunde gelegt. Dies gilt ebenfalls für den Stromexport ab 2030.

Die Abwärme einiger Kraftwerksblöcke wird ausgekoppelt und als Fernwärme einer weiteren Nutzung zugeführt.



## 10 Anhang 2: Validierung der Modellergebnisse

Im Folgenden sind die Modellergebnisse der CO<sub>2</sub>-Bilanz (Heide und Eberhard 2009) gegenübergestellt.

Tabelle 13: Gegenüberstellung Modellergebnisse und CO<sub>2</sub>-Bilanz

		CO <sub>2</sub> -BILANZ 2007		WI-MODELLIERUNG		
		Endenergie [GWh]	CO <sub>2</sub> [Mio.t]	Endenergie [GWh]	CO <sub>2</sub> [Mio.t]	
Strom		4395	2,1	4878	2,7	
Fernwärme		2625	0,4	991	0,2	
Erdgas		8104	1,5	7406	1,4	
Heizöl		1339	0,4	1888	0,5	
Kohle		518	0,2	384	0,1	
Kraftstoffe		4146	1,2	3281	0,9	
Solarthermie				9		
Biomasse				396		
gesamt		21127	5,73	19233	5,84	
		CO <sub>2</sub> -BILANZ 2007		WI-MODELLIERUNG		
		Endenergie [GWh]	CO <sub>2</sub> [Mio.t]	Endenergie [GWh]	CO <sub>2</sub> [Mio.t]	
Haushalte		5287	1,32	5321,19	1,49	
GHD+Industrie		11594	3,21	10554,10	3,38	
Verkehr		4248	1,20	3358,14	0,96	
CO <sub>2</sub> -Bilanz		21129	6	19233	6	
CO <sub>2</sub> -Bilanz 2007 [GWh]	Strom	Fernwärme	Erdgas	Heizöl	Kohle	Kraftstoffe
Haushalte	993	203	3464	608	19	
GHD	1483	1219	4620	732	499	
Industrie	1838	1203				
Verkehr	81		21			4146
WI-MODELLIERUNG [GWh]	Strom	Fernwärme	Erdgas	Heizöl	Kohle	Kraftstoffe
Haushalte	993	83	2877	1368	0	
GHD	1430	908	2357	99	0	
Industrie	2381		2179	420	384	
Verkehr	77					3281

Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass die Ergebnisse in Summe nah beieinander liegen. Gründe der Abweichungen bei der Energieträgerverteilung bzw. zwischen einzelnen Sektoren werden im Folgenden kurz dargestellt.

Der Fernwärme-Endenergiebedarf in der CO<sub>2</sub>-Bilanz 2007 beinhaltet Prozesswärme (die eingespeiste Fernwärmemenge liegt unter dem Fernwärmebedarf). In der Modellierung wird ausschließlich die von den Stadtwerken Düsseldorf eingespeiste Fernwärmemenge betrachtet. Anstelle der Prozesswärme wird der Energieträgereinsatz für deren Erzeugung berücksichtigt.

Entsprechend dieser Abgrenzung liegt der Fernwärme-Endenergiebedarf in der Modellierung unter dem in der CO<sub>2</sub>-Bilanz. Eine geringer angenommene Fahrleistung von Benzin und Diesel-Pkw sowie der ebenfalls geringere spezifische Verbrauch von LKWs (prognos 2009 S.218) sind Hauptgründe für den im Ergebnis geringeren Endenergiebedarf der Modellierung des Verkehrssektors.

## 11 Anhang 3: Hintergrundinformationen zur Spezifizierung der Modellannahmen mit Hilfe des Wärmekatasters

### 11.1 Datenlage

Die verfügbaren Daten zum Wärmekataster (Endenergiebedarf<sup>28</sup> der Wohngebäude, Baublockscharf 2.357 Datensätze) sind differenziert nach

#### Haustyp

- Bedarf EFH (Einfamilienhaus)
- Bedarf MFH (Mehrfamilienhaus)
- Bedarf GMFH (Großes Mehrfamilienhaus)

#### Energieträger

- Strom
- Fernwärme
- Gas
- nicht SWD

und nach Baualtersklasse

- bis 1918
- 1919 bis 1948
- 1949 bis 1957
- 1958 bis 1978
- 1979 bis 2001

### 11.2 Datenerfassung

Im Rahmen der Analyse zum zukünftigen Fernwärmeabsatz wurden in einem ersten Schritt vier Gebiete mit überwiegender Wohnbebauung, innerhalb derer die Denkmalebene greift, identifiziert:

- Altstadt
- Gerresheimer Höhen
- Oberkassel
- Urdenbach

In folgender Abbildung sind die Gebiete in Oberkassel und der Düsseldorfer Altstadt dargestellt.

---

<sup>28</sup> Es wird jeweils der Anteil am Endenergiebedarf angegeben, der für die Erzeugung von Raumwärme benötigt wird.

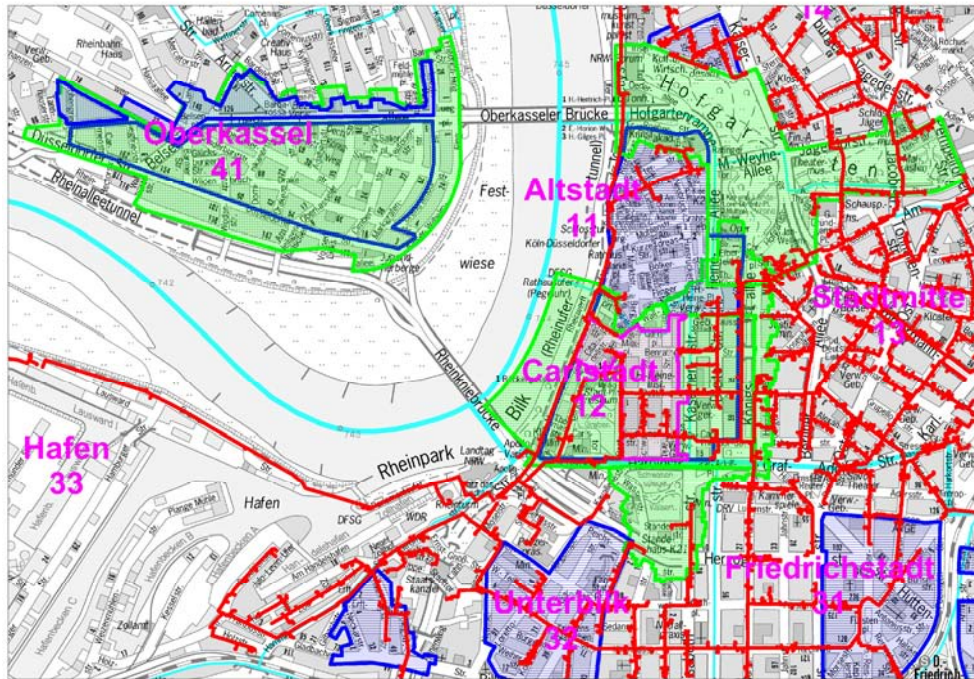


Abbildung 48 Gebiete in Oberkassel (links) und Altstadt (rechts) mit Denkmalbereichssatzung (grün schraffiert), Erhaltungssatzung (blau schraffiert), Gestaltungssatzung (lila schraffiert) und Leitungswege Fernwärmenetzes (rot), Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011a

Die genannten Gebiete werden aus den, in Kapitel 4.1, genannten Gründen gesondert betrachtet. Mit Hilfe der obigen Karte sowie einer Karte zu den betrachteten Baublocknummern im Düsseldorfer Wärmekataster (siehe Abbildung 49), werden alle Baublocknummern innerhalb der Gebiete erfasst. Anschließend werden die den jeweiligen Baublocknummern zugehörigen Datensätze in eine gesonderte Tabelle übertragen.



Abbildung 49 Baublocknummern im Bereich der Düsseldorfer Altstadt, Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011a

### 11.3 Aufbereitung der Daten

Der Raumwärmebedarf nach energetischer Sanierung wurde für das Basisjahr auf  $85 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  festgelegt (Richtwerte des Umweltamtes Düsseldorf 04/2011). Aufgrund dieser Abgrenzung ergibt die energetische Sanierung nur bei Gebäuden mit einem spezifischen Raumwärmebedarf  $> 85 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  Sinn. Um den energetisch sanierungsbedürftigen Wohngebäudebestand beziffern zu können, werden die Datensätze zunächst aufsteigend nach spezifischem Endenergiebedarf sortiert. Anschließend werden alle Baublöcke bis zu einem Raumwärmebedarf von  $85 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  (Bestandsgebäude mit gutem energetischen Standard) und alle Baublöcke mit einem Raumwärmebedarf von mehr als  $85 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$  (energetisch zu sanierende Bestandsgebäude) in gesonderten Tabellen erfasst. Dazu wird der für 2007 im Modell ermittelte Umwandlungswirkungsgrad (Verhältnis von Endenergie- zu Nutzenergiebedarf) genutzt<sup>29</sup>. In folgender Tabelle sind einige Kennwerte der betrachteten Gebäudesegmente dargestellt.

<sup>29</sup> Im Wärmekataster wird jeweils der Endenergiebedarf angegeben. Da das Grenzkriterium der spezifischer Nutzenergiebedarf ist, wird mit Hilfe des Umwandlungswirkungsgrades der entsprechende Endenergiebedarf abgeschätzt.

Tabelle 14 Kennwerte der betrachteten Gebäudesegmente; eigene Berechnung

	Wohnfläche [Mio. m <sup>2</sup> ]	Endenergiebedarf [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	durchschnittlicher Endenergiebedarf [kWh/m <sup>2</sup> ·a]
Bestandsgebäude mit gutem energetischen Standard	3,1	60 - 109	99
Energetisch zu sanierende Bestandsgebäude	18,7	110 - 256	147
Bestandsgebäude innerhalb Denkmalbereichs-satzung	0,8	81 - 212	152

#### 11.4 Übernahme der Daten in das Modell

Die auf diese Weise aufbereiteten Daten werden in das Modell eingebunden. Dabei wird die Annahme getroffen, dass sich der Energiebedarf im Jahr der Datenerhebung für das Wärmebedarfskataster (2008) nicht wesentlich vom Energiebedarf im Basisjahr des Szenarios (2007) unterscheidet. Zunächst erfolgt eine Untergliederung des Wohngebäudebestands in die o.g. Gebäudesegmente. In einem weiteren Schritt werden die nachgefragten Energieträger angepasst. Hier wird die Annahme getroffen, dass der nicht-SWD versorgte Anteil dem Heizölbedarf zur Raumwärmeerzeugung im Haushaltssektor entspricht. In der Realität fallen darunter auch Biomasse, Solarthermie, Kohle und Erdgas, welches nicht von den SWD geliefert wird. Da im Basisjahr mit einem relativ geringen Anteil von Biomasse und Solarthermie an der Wärmeerzeugung zu rechnen ist, und der deutsche Gasmarkt erst kürzlich liberalisiert wurde, erscheint diese Annahme plausibel.

## 12 Anhang 4: Hintergrundinformationen zur Berechnung des zukünftigen Fernwärmeeinsatzes

### 12.1 Strom- und Fernwärmeerzeugung des geplanten GuD Kraftwerksblocks F in der Lausward

Die Entwicklung der prognostizierten Fernwärmeerzeugung basiert auf einer nachfrageseitig gesteuerten Modellierung. Es wird dabei angenommen, dass der geplante Kraftwerksblock F am Standort Lausward flexibel zwischen optimalem Betriebspunkt (250 MW<sub>th</sub> und 420 MW<sub>el</sub>) und reinem Kondensationsbetrieb (475,6 MW<sub>el</sub>) gefahren wird. Vereinfachend wird von einer linearen Abhängigkeit entsprechend folgender Abbildung ausgegangen.

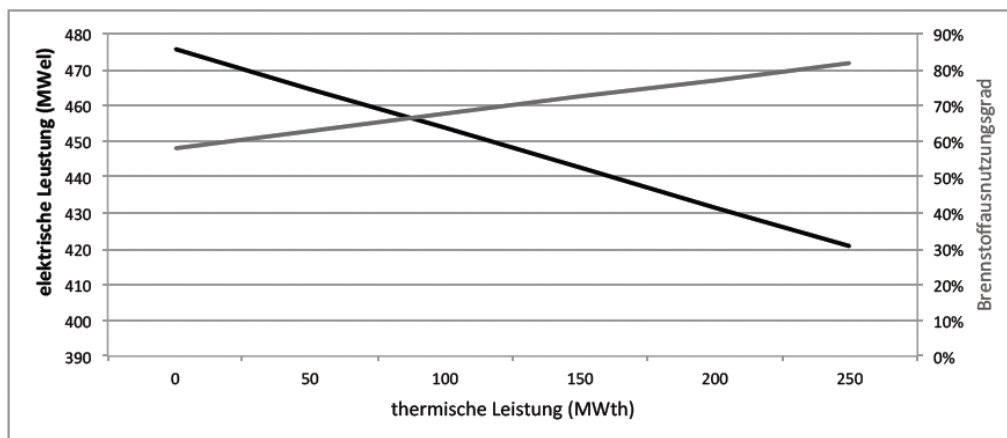


Abbildung 50 Elektrische Leistung und Brennstoffausnutzungsgrad (Y-Achse) des geplanten GuD Kraftwerksblocks F am Standort Lausward in Abhängigkeit von auskoppelbarer thermischer Leistung (X-Achse); eigene Berechnung

### 12.2 Fernwärmeabsatzpotential im Haushaltssektor durch Arondierungsmaßnahmen

Würden die 450 Baublöcke im Bereich des durch die Kraftwerke in der Lausward und das Kraftwerk Flिंगern gespeisten Fernwärmenetzes tatsächlich mit Fernwärme versorgt, könnten im Jahr 2050 theoretisch ca. 20% des gesamten Haushaltssektors mit Fernwärme versorgt werden. Dies entspricht im Jahr 2050 in etwa einem Wärmebedarf von 460 GWh und somit einem um 12% höheren Fernwärmeabsatz als im Klimaschutzszenario prognostiziert. Damit genug Fernwärme für diese Maßnahme zu Verfügung steht, kann die Erneuerung von Kraftwerken in Erwägung gezogen werden. Nach einer Kurzanalyse ist bei Umsetzung der Maßnahme mit einer weiteren Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zu rechnen.



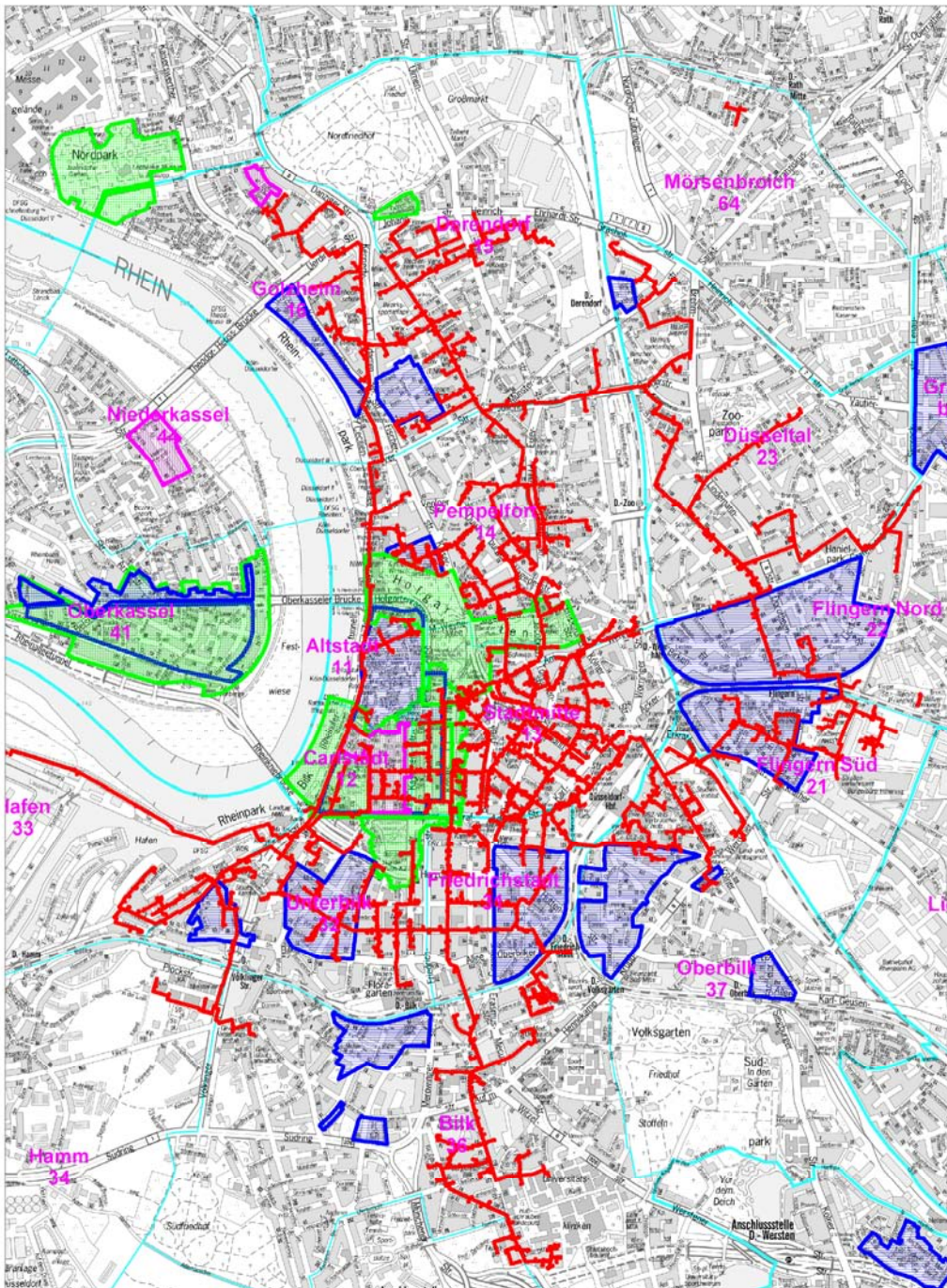


Abbildung 51 Leitungswege Fernwärmenetz (rot) Lausward-Flingern, Umweltamt Landeshauptstadt Düsseldorf 2011a



## 13 Anhang 5: Hintergrundinformationen zur Berechnung des zukünftigen Einsatzes von Grundwasser-Wärmepumpen

Die Bestimmung der Jahresarbeitszahl (JAZ) basiert auf einer Methodik der IDM Energiesysteme (IDM 2001). Die Eingangsgrößen sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 15 Eingangsgrößen zur Bestimmung der JAZ von Grundwasser-Wärmepumpen; eigene Darstellung, IDM 2001

Spreizung Heizung Vorlauf	$\Delta V_B$	7K
Prüfstand - Temperaturdifferenz am Verflüssiger	$\Delta V_P$	5K
Leistungszahl <sup>30</sup> (COP)	$E_M$	4,55
Durchschnittliche Grundwassertemperatur <sup>31</sup>	$T_{Wasserein}$	14,2°C
Korrekturfaktor für Berücksichtigung der Wärmequellenpumpe <sup>32</sup>	$F_P = 1 + \frac{P_P}{P_{WP}}$	1,14
Korrekturfaktor für abweichende Temperaturdifferenz zwischen Prüfstand und Betrieb am Verflüssiger	$F_V$ (abh. von $\Delta V_B, \Delta V_P$ )	0,98
Korrekturfaktor für Grundwasser bei max. VL-Temperatur	$F_{\Delta V}$ (abh. von $T_{Wasserein}, T_{VL,max}$ )	1,144 ( $T_{VL,HZmax}$ ); 0,9305 ( $T_{VL,WWmax}$ )
Warmwasser Vorlauf <sup>33</sup>	$T_{VL,WWmax}$	55°C
Flächenheizung (i.d.R. als Fußbodenheizung) Vorlauf	$T_{VL,HZmax}$	35°C

Die JAZ wird auf Grundlage dieser Eingangsgrößen mit Hilfe folgender Formel bestimmt:

$$\text{Jahresarbeitszahl: } \beta_{WP} = \frac{1}{e_{WP}}; e_{WP} = \frac{F_P}{E_N \times F_{\Delta V} \times F_V}$$

In der Modellierung muss weiter berücksichtigt werden, dass die Wärmebereitung auf unterschiedliche Temperaturniveaus erfolgt. Eine Wärmepumpe arbeitet effizienter, wenn die benötigte Wassermenge auf ein geringes Temperaturniveau angehoben werden muss. Das Modell berücksichtigt vereinfachend zwei benötigte Temperaturniveaus: Warmwasservorlauf und Flächenheizung (i.d.R. als Fußbodenheizung) Vorlauf (siehe Tabelle 15). Entsprechend dem jeweiligen Warmwasser- bzw. Raumwärmebedarf im Betrachtungszeitraum wird die JAZ anteilig berechnet. Tabelle 16 zeigt die Ergebnisse der Berechnung der JAZ für GW-WP im energetisch sanierten Altbau für die Jahre 2007, 2030 und 2050.

<sup>30</sup> Mittelwert aus 3 real gemessenen COPs; ISE 2011 S.37

<sup>31</sup> Mittelwert im Jahr 2007; Geothermie in Düsseldorf - Energiequelle mit wachsender Bedeutung

<sup>32</sup> 1,14 wird für Vorplanung genommen;

Tabelle 16 JAZ Berechnung der JAZ für GW-WP im energetisch sanierten Altbau; eigene Berechnung

(energetisch sanierter Altbau)	2007	2030	2050
<u>Raumwärme</u>			
Bedarf (kWh/m <sup>2</sup> /a)	85	40	30
Anteil	64%	51%	46%
JAZ	4,5	4,5	4,5
<u>Warmwasser</u>			
Bedarf <sup>34</sup> (kWh/m <sup>2</sup> /a)	47,6	38	35
Anteil	36%	49%	54%
JAZ	3,6	3,6	3,6
GESAMT (JAZ)	4,2	4,1	4,0

Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse dieser (theoretischen) Berechnungen der JAZ auf reale Bedingungen übertragen. In "Wärmepumpen Effizienz - Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb" (ISE 2011 S.51) wird die Jahresarbeitszahl für Grundwasserwärmepumpen bei einer Grundwassertemperatur von 11°C mit 3,71 angegeben. Die Berechnung der JAZ mit Hilfe des obigen Verfahrens für eine Grundwassertemperatur von 11°C ergibt einen Wert von 4,1. Die Abweichung zur (theoretischen) Berechnung liegt somit bei knapp 10%. Um zu gewährleisten, dass die Berechnungen realistische Werte ergeben, werden daher 10% von der berechneten JAZ abgeschlagen (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17 Anpassung der (theoretischen) JAZ für GW-WP im energetisch sanierten Altbau an reale Bedingungen; eigene Berechnung

	2007	2030	2050
GESAMT (JAZ)	4,2	4,1	4
GESAMT (JAZ) real <sup>35</sup>	3,8	3,7	3,6

In einem letzten Schritt werden diese Berechnungen auf die prognostizierte (technische) Effizienzsteigerung von Wärmepumpen übertragen (BWP 2009). Die Steigerung der JAZ wird, aufgrund des steigenden Warmwasseranteils (siehe oben), etwas abgeschwächt. Im Ergebnis ist dennoch mit einer starken Steigerung der JAZ zu rechnen (Abbildung 14 S.30).

<sup>34</sup> Leicht sinkend, da der Wohnbedarf pro Einwohner steigt und somit der Warmwasserbedarf pro m<sup>2</sup> sinkt

<sup>35</sup> Einrechnung der Abweichung von Theorie zu Praxis

## 14 Anhang 6: Emissionsminderungsbeiträge

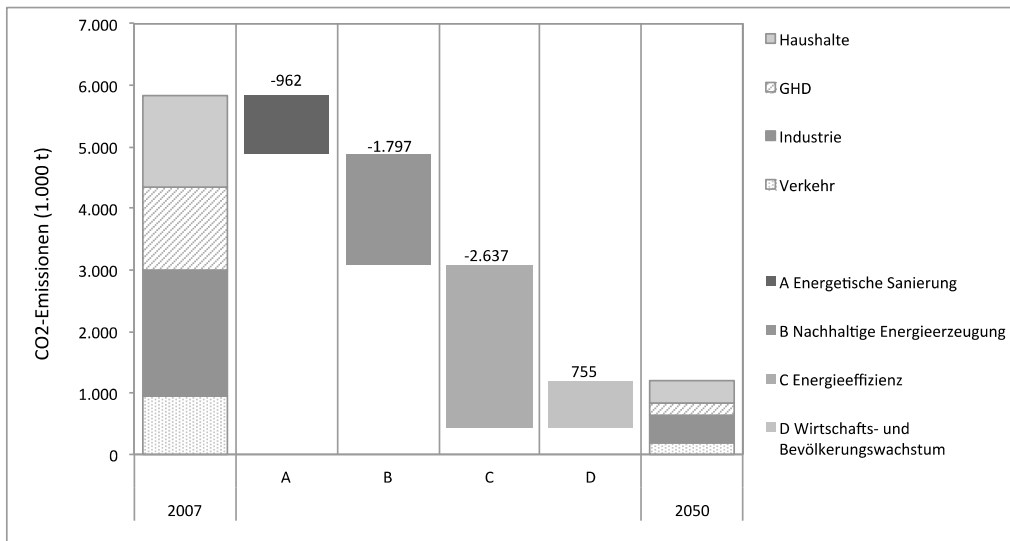
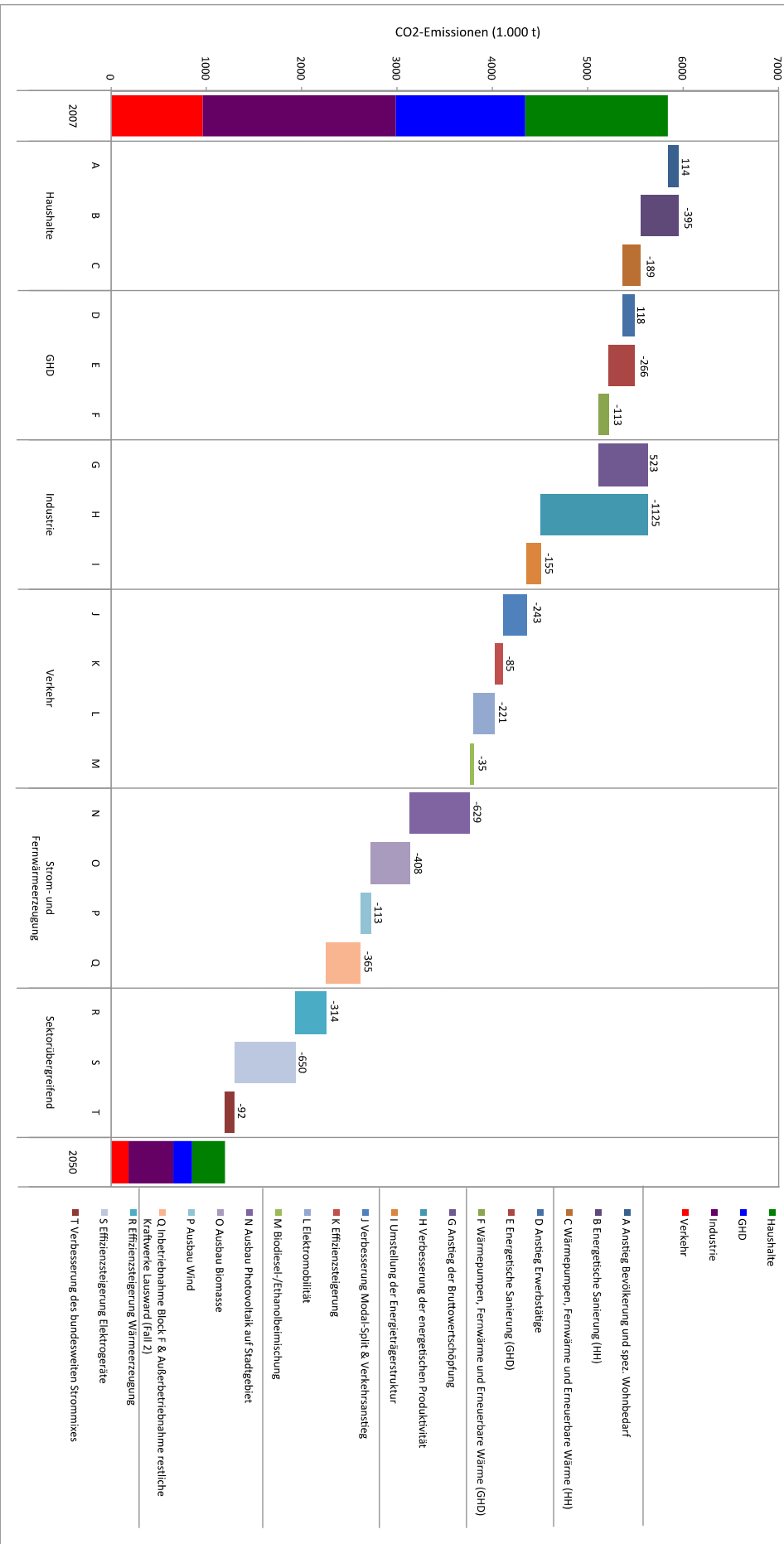


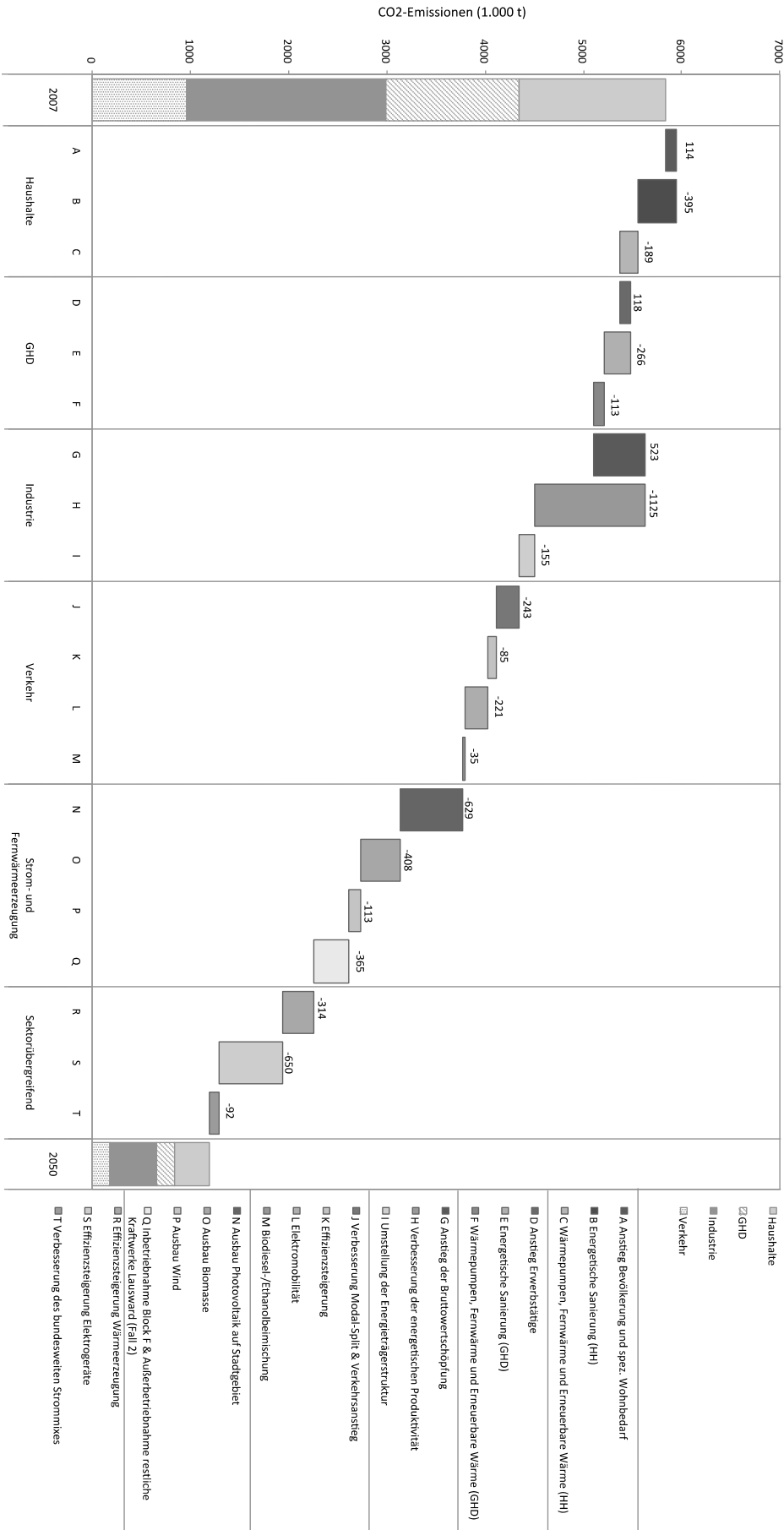
Abbildung 52 Emissionsminderungsbeiträge im Klimaschutzszenario

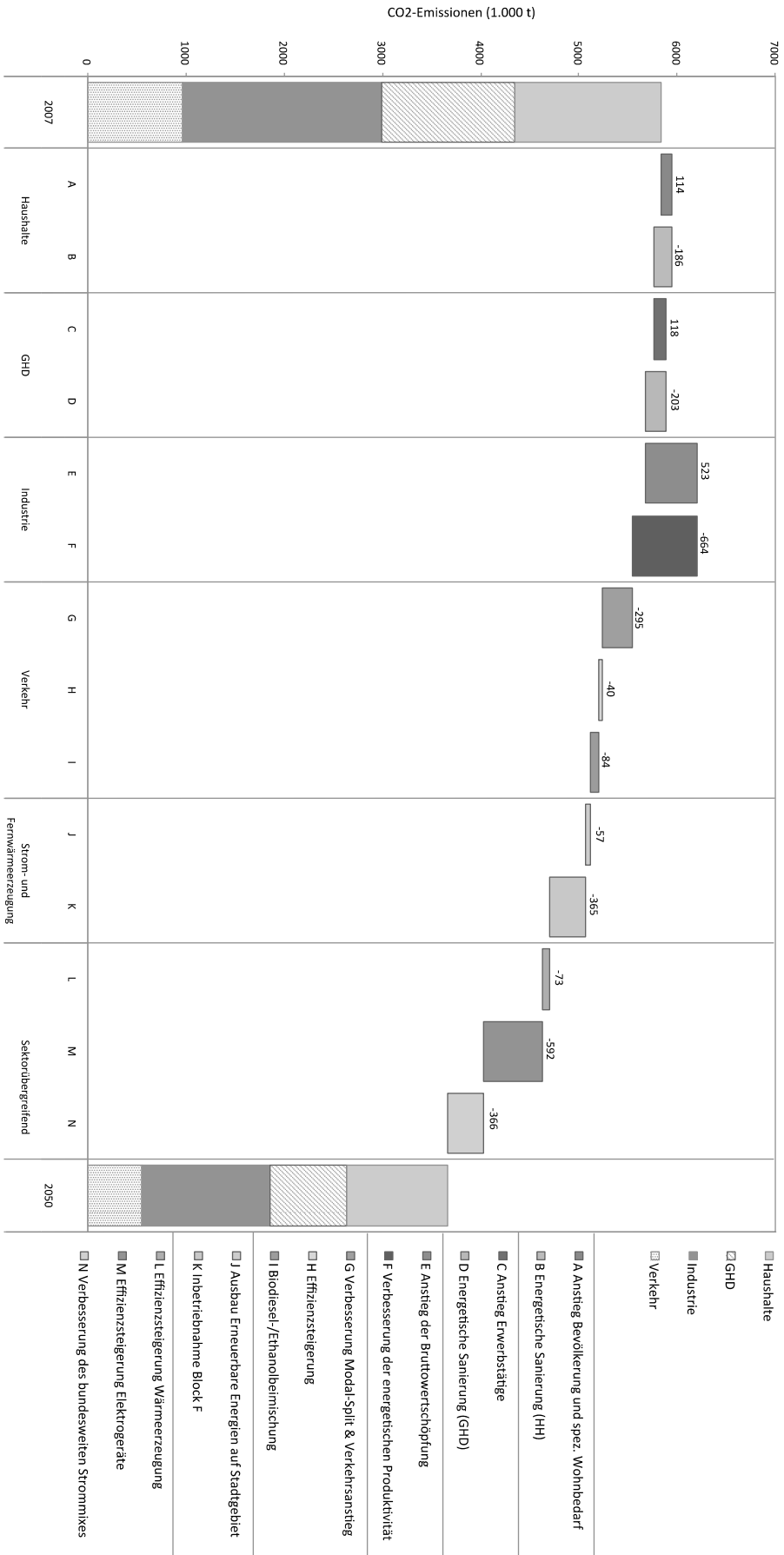
- **Energetische Sanierung:** Energetische Sanierung im GHD und Haushaltssektor, verstärkter Einsatz von Wärmepumpen, erneuerbarer Wärmeerzeugung (Solarthermie und Biomasse) und Steigerung des Fernwärmeabsatzes
- **Nachhaltige Energieerzeugung:** Ausbau erneuerbarer Energien, Inbetriebnahme von Block F und Außerbetriebnahme der restlichen Kraftwerke am Standort Lausward (zwischen 2015 und 2020), Verbesserung des bundesweiten Strommixes
- **Energieeffizienz:** Effizienzsteigerung bei Elektrogeräten, Wärmeerzeugung und Antriebstechnologien, Elektromobilität, Modal Split, Steigerung der energetischen Produktivität
- **Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum:** Anstieg von Bevölkerung und spez. Wohnbedarf, Erwerbstätigen und Bruttowertschöpfung

### Emissionsminderungsbeiträge im Klimaschutzszenario



### Emissionsminderungsbeiträge im Klimaschutzszenario











**Herausgeber**  
Landeshauptstadt Düsseldorf  
Der Oberbürgermeister  
Umweltamt

**Verantwortlich**  
Dr. Werner Görtz

**Layout Umschlag**  
Medienservice, Stadtbetrieb Zentrale Dienste

**Fotos**  
Fotolia, Landeshauptstadt Düsseldorf

gedruckt auf 100% Recyclingpapier

V/12-0.5  
[www.duesseldorf.de/umweltamt](http://www.duesseldorf.de/umweltamt)